ISSN: 1646-9895

risti

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

A b r i l 1 9 • A p r i l 1 9



©AISTI 2019 http://www.aisti.eu

Nº E19

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Edição / Edition
Nº. E19, 04/2019

ISSN: 1646-9895

Indexação / Indexing
Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Index-Copernicus, Index of Information Systems Journals, Latindex, ProQuest, QUALIS, SCImago, SCOPUS, SIS, Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Ownership and Publication
AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Rua Quinta do Roseiral 76, 4435-209 Rio Tinto, Portugal
E-mail: aistic@gmail.com
Web: http://www.aisti.eu

Director
Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra, PT

Coordenadores da Edição / Issue Coordinators
Carmelo Márquez-Domínguez, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Ecuador
Yalitza Therly Ramos-Gil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Ecuador
Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra, Portugal

Conselho Editorial / Editorial Board
Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela, ES
Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro, PT
Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo, ES
Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT

Conselho Científico / Scientific Board
José Aguilar. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Verónica Altamirano. Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Ecuador.
Andrés Arcia. Universidad de Cambridge. Inglaterra.
Stalin Arciniegas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Iris Argüello. Universidad del Zulia. Venezuela.
Julio Armas. Yachay Tech. Ecuador.
Marilena Asprino. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Hernán Astudillo. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile.
César Bravo. Halliburton. Estados Unidos.
Víctor Bravo. CENDITEL. Venezuela.
Carlos Buil. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile.
Alfredo Calderón. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador.
Franklin Camacho. Yachay Tech. Ecuador.

Oscar Camacho. Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ecuador.
Edgar Camargo. PDVSA. Venezuela.
Jeanette Casale. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Claret Giordana Castellanos. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Jairo Darío Castillo Calderón. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
Carlos Castro. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile.
Jhenny Cayambe. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Wilson Chango. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Ecuador.
Palmira Chavero. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO). Ecuador.
Eliezer Colina. Universidad de Cuenca. Ecuador.
Ximena Coronado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Verónica Crespo Pereira. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Jorge Cruz. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador.
Glenda Beatriz Da Silva. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Luis De La Fuente Valentín. Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). España.
Daniel Díaz. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Gerlyn Duarte. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Ruud Duvekot. Centre for Lifelong Learning Services. Holanda.
Pablo Escandón Montenegro. Universidad Andina Simón Bolívar. Ecuador.
Nelson Espinoza. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Leoncio Fernández. Universidad Agraria La Molina. Perú.
Danilo Figueroa. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Alberto Flórez. Accenture. Colombia.
Teresa Freire. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato (PUCESA). Ecuador.
Cristian García. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.
Iván García. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Pascual García. Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Ecuador.

Yohn García. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Bartolomé Gil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Manuel Goyanes. Universidad Complutense de Madrid. España.
Laura Guerra. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Cathy Pamela Guevara Vega. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador.
Montserrat Hernández López. Universidad de La Laguna (ULL). España.
Marco Herrera. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
Francisco Hidrobo. Yachay Tech. Ecuador.
José Ibarra. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Óscar Juanatey Boga. Universidad de la Coruña. España.
Beatriz Legerén Lago. Universidad de Vigo. España.
Hugo Leiva. Yachay Tech. Ecuador.
María de Fátima León. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Galo López. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato (PUCESA). Ecuador.
Mónica López. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Paulo Carlos López. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Xosé López. Universidade de Santiago de Compostela (USC). España.
Sara Esperanza Lucero Revelo. Universidad Mariana. Colombia.
Ronald Maldonado. The Fluoromatics Lab. Suiza.
Carmelo Márquez Domínguez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Valentín Martínez Fernández. Universidad de la Coruña. España.
Vicente Merchán Rodríguez. Universidad de Otavalo. Ecuador.
Calatina Mier Sanmartín. Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Ecuador.
Estilita Molero. Universidad del Zulia. Venezuela.
Jorge Mora Fernández. Universidad Nacional del Chimborazo. Ecuador.
Marysela Morillo. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Samaria Muñoz. Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ecuador.

Luis David Narváez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
María Alejandra Noguera. WSP. Chile.
Paola Ordoñez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Yadira Ordoñez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Miguel Ángel Orosa. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Gustavo Paredes. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Susana Patiño. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Ecuador.
Anna Pérez. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Rubén Pérez. Gas Energy. Venezuela.
Pablo Pico. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Ecuador.
Ernesto Ponsot. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Iván Puentes. Universidade de Vigo. España.
Marco Pusdá. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador.
José Antonio Quiña Mera. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador.
Xavier Quiñonez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Ecuador.
Yalitza Ramos Gil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Edmundo Recalde. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Carlos Rivas. Unidad Doc. de Medicina Familiar y Comunitaria. España.
Francklin Rivas. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile.
Néstor Diego Rivera Campoverde. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
Dulce Rivero. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Francisco Rodríguez. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Magdalena Rodríguez Fernández. Universidad de la Coruña. España.
Ana Isabel Rodríguez Vázquez. Universidade de Santiago de Compostela (USC). España.

Inmaculada Ros Ros. Universidad Católica de Valencia. España.
Xosé Rúas. Universidade de Vigo. España.
Franklin Sánchez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Eva Sánchez Amboage. Universidad de la Coruña. España.
Francesc Sánchez Pérez. Universidad de Valencia. España.
Jaime Sayago. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Ecuador.
José Segnini. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Mauricio Solar. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile.
Ana Belén Souto. Universidad de Vigo. España.
Efstathios Stefos. Universidad Nacional de Educación (UNAE). Ecuador.
Ana Torrealba. General Electric. Estados Unidos.
Elizabeth Torres. Fundación Universitaria Colombo Internacional (Unicolombo). Colombia.
Carlos Toural. Universidade de Santiago de Compostela (USC). España.
Nancy Ulloa. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
Astrid Uzcátegui. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela.
Ana Vaca. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador.
José Valderrama. Centro de Información Tecnológica. Chile.
Juan Diego Valladolid Quitoisaca. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
Andrea Vásquez. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile.
Mary Vergara. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
José Gregorio Viloria. Universidad Andina Simón Bolívar. Ecuador.
Verónica Yépez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
Sonia Zerpa. Universidad de Otavalo. Ecuador.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: xx/xx/2016
Aceitação/Acceptance: xx/xx/2016

Editorial

La Tecnología como herramienta fundamental para el desarrollo de calidad de vida

Technology as a fundamental tool for the development of quality of life

Francklin Rivas Echeverría[1,2,3], Stalin Arciniegas-Aguirre[2], Álvaro Rocha[4]

firivas@inf.utfsm.cl, smarciniegas@pucesi.edu.ec, amrocha@dei.uc.pt

[1] Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

[2] Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100111, Ibarra, Ecuador.

[3] Universidad de Los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

[4] Universidade de Coimbra, Pólo II – Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra, Portugal

Pages: ix–xi

En los momentos actuales, ya adentrados en el siglo XXI y donde la tecnología forma parte de la vida de cada una de las personas, hay que ver el impacto positivo, negativo y los principales retos que tienen los desarrolladores de tecnología para los siguientes años.

La tecnología y la innovación forman parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible promulgados por la *Organización de las Naciones Unidas* (ONU) y por ello es importante definir los elementos que permitan su aplicación efectiva en las actividades necesarias e imprescindibles para garantizar la sustentabilidad en el planeta.

Los avances en la automatización, sistemas informáticos, Inteligencia Artificial e Internet de las cosas, han hecho que prácticamente todas las actividades cotidianas estén de alguna manera influenciadas por esos elementos, y de allí la necesidad de conocer el estado en que se encuentran los desarrollos de la tecnología y la forma en que impacta la vida humana, el entorno, el ambiente y los retos para el futuro.

Una parte de los desarrollos han ido en la dirección de los elementos de telecomunicaciones, permitiendo mayores niveles de conectividad y acceso, pero trayendo retos asociados a

la ciberseguridad y a los elementos humanos y de comunicación relacionados a ese tema. Las personas están más tecnológicamente conectadas, pero por otro lado están más vulnerables en el uso de la información y riesgos informáticos y eso debe irse trabajando para dar la tranquilidad que se merece con la tecnología que se requiere.

Otros adelantos importantes están asociados a la inclusión de personas con discapacidad, y en general a la minimización de brechas a personas con diversidades de cualquier tipo. Sigue quedando mucho por transitar en el área del manejo apropiado de las diversidades y la forma en la cual se logre un mundo más humano y donde se aborden más los temas de coincidencia que los que diferencian a todos dentro de una comunidad.

La Inteligencia Artificial es uno de los temas más controvertidos que se tiene en este momento, y sobre el cual se ha fijado el interés por parte de mandatarios, empresas y organizaciones en general. Son numerosas las técnicas y propuestas que se presentan constantemente para resolver problemas usando la Inteligencia Artificial. Es importante conocer el estado de los desarrollos y conocer las aplicaciones que se están desarrollando en esa área.

Otra área de gran importancia es el manejo de las normas de calidad en todos los aspectos. Existen organizaciones internacionales como la *International Organization for Standardization* (ISO) que busca estandarizar y crear marcos metodológicos para los esquemas de calidad en los desarrollos tecnológicos, debiendo ser utilizada en diversos ámbitos que van desde el diseño y desarrollo ingenieril hasta los entornos académicos.

En el área de sistemas informáticos, se trabaja constantemente en la generación de metodologías que permitan desarrollar sistemas computacionales, robustos, seguros y con calidad, sencillez y reusabilidad. Igualmente hay un énfasis importante en los aspectos educativos relacionados a este tema.

Por último, los aspectos ambientales deben ser una de las prioridades dentro de los desafíos y retos que tiene la tecnología en los próximos años. Poder buscar una armonía entre la automatización, la modernización y la sostenibilidad y calidad de vida en todos los aspectos.

Sobre todos estos temas se ha hecho una cuidadosa selección de 57 artículos que componen este número de la Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información (RISTI) en donde se presentan aplicaciones que están dirigidas a los elementos mencionados y que permiten tener una visión de lo que se está realizando en este momento y los principales retos a tomar en cuenta a futuro en la búsqueda de una vida mejor.

Agradecimientos

Se desea brindar un especial agradecimiento a los miembros del comité científico internacional de este número de la revista por su exhaustiva, cuidadosa y rigurosa revisión de los artículos enviados y seleccionar los mejores que son los que se encuentran compilados en este ejemplar.

Queremos agradecer al II Congreso Internacional de Sistemas Inteligentes y Nuevas Tecnologías (COISINT 2019), a sus universidad organizadoras: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra (PUCESI) - Ecuador, la Universidad Técnica Federico

Santa María (UTFSM) – Chile y la Universidad de Los Andes (ULA) - Venezuela y a los otros organismos que dieron su aval académico como son: La Universidade de Vigo (UVIGO) – España, la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR) – España, Southern Illinois University Edwardville (SIUE) – Estados Unidos, la Red Internacional de Investigación de Gestión de la Comunicación (XESCOM) – España, la Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (AISTI) – Portugal y la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) – Ecuador, por permitir que los mejores trabajos hayan sido sometidos a revisión para seleccionar los trabajos que se encuentra presentados en esta edición y que apuntan al conocimiento asociado al desarrollo de la tecnología y sus aplicaciones.

Índice / Index

EDITORIAL

La Tecnología como herramienta fundamental para el desarrollo de calidad de vida ...ix
Francklin Rivas Echeverría, Stalin Arciniegas-Aguirre, Álvaro Rocha

ARTIGOS / ARTICLES

Saúde ocupacional e ambientes de vida melhorados com recurso à Internet das Coisas 1
Gonçalo Marques, Rui Pitarma

Evaluation of Usability in Raster Data Management Module Integrated to a Geoportal 14
Pablo Landeta, Jorge Vásquez, Pedro Granda, Fausto Lucano, Iván García-Santillán

Impacto de la implementación de ISO 9001 en la universidad: percepción auditor y líder 28
Yurley Medina-Cárdenas, Dewar Rico-Bautista, José Gregorio Arevalo-Ascanio

An Approach for Trajectory Tracking Control of an Underactuated Autonomous Underwater Vehicle Considering Time Delay..... 42
Danilo G. Chavez, Oscar Camacho, José Daniel Guanoluisa, Hugo Leiva

Low Cost Outdoors Climate Monitoring Network Using Zigbee Wireless Technology 56
Alirio Gutierrez, Nathalia Herrera, Laura Castro, Juan M. Fernandez, Felipe Rojas Rodas

Nuevo enfoque de arquitectura para la interoperabilidad de sistemas de información en la gestión de desastres 69
Marcelo Zambrano, Ana Zambrano, Francisco Pérez, Edgar Maya, Paúl Rosero, Eduardo Ortiz

Sistema de localización de personas desaparecidas basado en IoT y Cloud Computing (caso de estudio: Quito)..... 82
Ana Zambrano, Eduardo Ortiz, Xavier Calderón, Marcelo Zambrano, Luis Urquiza-Aguiar

Discriminación de cultivo y malezas en campos de papa utilizando técnicas de visión por computador 95
Iván García-Santillán, Marco Pusdá, Víctor Caranqui, Pablo Landeta, Fausto Salazar, Pedro Granda

Evaluación de la calidad en uso de un sistema web/móvil de control de asistencia a clases de docentes y estudiantes aplicando la norma ISO/IEC 25000 SQuaRe 108
Erika Paola Reina Guaña, Susana Gabriela Patiño Rosado, Fabián Quijosaca

A qualitative framework for resource allocation* 121
Franklin Camacho, Gerardo Chacón, Ramón Pino Peréz

Cooperative control of robotic spheres for tracking trajectories with visual feedback 134
Jorge Buele, John Espinoza, Ronald Bonilla, Edison Salazar-C., Vinicio Pérez-L., Franklin Salazar-L.

Adopción de videojuegos educativos infantiles, monitoreada con tableros de control en la nube 146
Nayeth Solórzano Alcívar, Lissenia Sornoza Quijije, Diego Carrera Gallegos

Desempeño entre los reguladores de Control por Modelo Interno y Pi-Incremental en una planta de segundo orden 161
Andrés Morocho-Caiza, Williams Villalba-Castillo, Iván Sinaluisa-Lozano

Multi-Objective Genetic Algorithms: are they useful for tuning parameters in Agent-Based Simulation? 172
Jorge Párraga-Álava, Gustavo Molina Garzón, Ricardo Vélez Valarezo

Online Model Predictive Control tuning using Kalman algorithm applied to a vertical take-off and landing platform 185
Oscar Gonzales, Marco Herrera, Oscar Camacho, Jorge Luis Rosero

Implementación de un Sistema de Visión Artificial y Seguimiento de Objetivos Humanos, utilizando un cuadricóptero 198
Erick P. Herrera-Granda, Israel D. Herrera-Granda, Leandro L. Lorente-Leyva, Pedro D. Granda-Gudiño, Jorge A. Caraguay-Procel, Iván García-Santillán

Mean-Variance Mapping Optimization for tuning scaling gains of a fuzzy control applied to a Cart-Inverted Pendulum 212
Luis Morales, David Pozo

Management of educative data in university students with the use of big data techniques 227
William Villegas-Ch., Xavier Palacios-Pacheco, Iván Ortiz-Garcés, Sergio Luján-Mora

Gestión del diálogo de un Agente Conversacional Pedagógico para aprender a programar 239
José Miguel Ocaña Ch., Elizabeth Morales-Urrutia, Diana Pérez-Marín, Silvia Tamayo

Educación en TIC: enseñar a usar, enseñar a protegerse y enseñar a crear tecnología 252
Johan Smith Rueda-Rueda, Dewar Rico-Bautista, Éder Flórez-Solano

Scrum **y** *Peopleware*: elementos clave para la gestión en la construcción de *software* 265
Giovanni Hernández, Álvaro Martínez, Robinson Jiménez, Franklin Jiménez

Immersive Virtual Reality App for Mild Cognitive Impairment 278
José Varela-Aldás, Guillermo Palacios-Navarro, Iván García-Magariño

Teleoperación de un manipulador móvil con retroalimentación de fuerzas para evasión de obstáculos 291
Víctor H. Andaluz, José Varela-Aldás, Fernando A. Chicaiza, Washington X. Quevedo[1], Belén Ruales

Navegación autónoma del Robot KUKA Youbot con señalización basada en técnicas de detección de objetos y redes neuronales profundas 305
Patricio Encalada, Carlos Gordón, Henry Lema, Diego León, Dennis Chicaiza

Integración de ROS y detección de objetos en un robot autónomo KUKA Youbot para el rescate de personas..... 317
Carlos Gordón, Patricio Encalada, Henry Lema, Diego León, Dennis Chicaiza

Sistema embebido para movilidad de personas con discapacidad visual 328
Lucía Sandoval-Pillajo, Marco Pusdá, Fernando Garrido, Erick Herrera

Red neuronal convolucional orientado a la gesticulación de un robot social interactivo con aspecto humanoide 341
Edisson Arias, Patricio Encalada, Marcelo García, César Granizo, Franklin Tigre, Myriam Cumbajín

Science and technology in Ecuador: first approach to its current status at national level 353
Juan Salazar-Mera, Catalina Silva-Ordoñez, Ximena Morales-Urrutia, Luis Simbaña-Taipe, Diana Morales-Urrutia, Lilian Morales-Carrasco

Security Analysis Protocol for Android-Based Mobile Applications..... 366
José Palacios, Gabriel López, Franklin Sánchez

Data Harvesting from devices that support the SNMP Protocol: a practical approach 379
Marjury Díaz, Carla Santorum, Franklin Sánchez, Gabriel López

Integración de energías renovables en sistemas de energía eléctrica convencionales basados en confiabilidad computacional 391
Myriam Cumbajín, Lourdes Ramírez, Carlos Gordón

Semáforos inteligentes y tráfico vehicular: un caso de estudio comparativo para reducir atascos y emisiones contaminantes 403
Víctor Samaniego-Calle, Marlon Santiago Viñán-Ludeña, Wilson Jaramillo-Sangurima, Luis Jácome-Galarza, Javier Sinche-Freire

A progressive web application for control and reading of water meters..... 415
William Marcillo, Jorge-Luis Pérez-Medina, Carlos Muñoz

Análisis de posibles evasiones tributarias del impuesto al valor agregado en Ecuador a través de un modelo estocástico no paramétrico 428
Meitner Cadena, Eduardo Morán

Análisis de texturas para medición de forraje verde utilizando imágenes de pastos 439
Víctor Caranqui-Sánchez, Carpio Pineda, Miguel Aragón, Alexandra Jácome

Integral-Optimal Sliding Mode Controller Tuning with Particle Swarm Optimization applied to a Rotary Inverted Pendulum 450
Andrés Cuaycal, Israel Paredes, Marco Herrera, David Pozo

Ranking Online Services by the Core Areas of Trustworthiness 465
Danny S. Guamán, José M. del Alamo, Hristina Veljanova, Anna Haselbacher, Julio C. Caiza

Analítica de Twitter para el estudio de las emociones primarias durante el terremoto de México 2017 479
Julio García García, Patricia Henríquez-Coronel, Jorge Pincay Ponce, Jorge Herrera-Tapia

Indicadores para la detección de ataques *ransomware*..... 493
Freddy Daniel Bazante Veloz, Lorena Isabel Barona López, Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay, Myriam Beatriz Hernández Álvarez

3D reconstruction technologies for using in dangerous environments with lack of light: a comparative analysis 507
David Pozo, Kevin Jaramillo, David Ponce, André Torres, Luis Morales

An approach to Big Data Modeling for Key-Value NoSQL Databases 519
Diana Martinez-Mosquera, Sergio Lujan-Mora, Rosa Navarrete, Tannia Cecilia Mayorga, Henry Rodrigo Vivanco Herrera

Model of Telecommunications Infrastructure for the deployment of Technological Services from the CLOUD to all the Localities of the Ministry of Education in Ecuador 531
Iván Ortiz-Garcés, William Villegas-Ch.

Cadenas Ocultas de Markov y Modelo de Markov de Máxima Entropía: una comparación en POS Tagging con el corpus AnCora 543
Ricardo Cujar, Giovanni Hernández

Propuesta de un sistema de estacionamiento Inteligente con sensores IoT..... 553
Vinicio Ramos Valencia, Ruth Barba Vera, Carmen Mantilla Cabrera, José Guerra Salazar, Estalin Saltos Taipe

Word-embedding-based model to improve the customer' shopping experience 567
Luis Jácome-Galarza, Marlon Santiago Viñán-Ludeña, Javier Sinche-Freire, Jorge Charco-Aguirre, Wilson Jaramillo-Sangurima

Modelo matemático basado en programación lineal y lógica difusa para predicción de tiempos en industrias de ensamble de bicicletas..... 581
Pedro Rodas D., Rodrigo Guamán, Eliezer Colina Morles, Mario Peña, Lorena Siguenza-Guzmán

Dispensador médico de control y monitoreo para el Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl" de la cuidad de Atuntaqui (Ecuador)..... 595
María T. Encalada-Grijalva, Sandra K. Narváez-Pupiales, Ana C. Umaquinga-Criollo, Luis E. Suárez-Zambrano, Diego H. Peluffo-Ordóñez

Machine Learning for Computer Vision: a review of Theory and Algorithms..... 608
Marco E. Benalcázar

Hacia un marco conceptual para medir el impacto del pensamiento computacional en el aprendizaje de matemáticas en estudiantes universitarios..... 619
Saríah López Fierro, Gabriela Montenegro, Claudia López

Adaptación inteligente de rutas tecnológicas para piezas simétricas con cavidades mediante Razonamiento Basado en Casos 632
Alexis Cordovés García, Arlys M. Lastre Aleaga, Leandro L. Lorente Leyva, Alexis Cordovés Rodríguez, Ricardo L. Ávila Rondón, Remberto Rodríguez Crespo

Análisis de la existencia de lógica abductiva en el desarrollo de *software*: estudio de caso 645
César Felipe Henao Villa, David Alberto García Arango, Jovany Arley Sepúlveda-Aguirre, Yeimmi Parra Bohórquez, Óscar Andrés Cuéllar Rojas, Luis Fernando Garcés Giraldo

Sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos empleando realidad virtual para rehabilitación de las extremidades superiores en pacientes con daño cerebral adquirido (DCA) 658
Bryan Guevara, Azucena Martínez, Andrés Gordón, Patricia Constante

Evaluation of the Business Continuity Management of IT areas in the Industrial and Fishing Sector of the city of Manta: 16A earthquake study case 671
Gabriela Velásquez-Moreira, Lohana Lema-Moreta

Sistema electrónico de iluminación inteligente en ambientes académicos 683
Luis David Narváez, Álvaro Francisco Yépez Pita, Stalin Marcelo Arciniegas, Laura Rosa Guerra Torrealba

Agente adaptativo para la enseñanza en ambientes inteligentes 694
Dulce M. Rivero-Albarrán, Nancy G. Ulloa-Erazo, Laura R. Guerra T., Bryan Arellano, Stalin M. Arciniegas A.

Diseño de una red con Tecnología *Sensor Cloud* aplicada en prevención de accidentes de tránsito 708
Santiago Quishpe-Morales, Darwin Pillo-Guanoluisa, Nelson Salazar-Chávez, Santiago Meneses-Narváez, Paola Tirira-Caluquí

SETMAT (*Software Engineering Teaching Method and Theory*): una teoría para la enseñanza de Ingeniería de *Software* 721
María Clara Gómez-Álvarez, Carlos Mario Zapata Jaramillo, Hernán Astudillo

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 22/11/2018
Aceitação/Acceptance: 02/01/2019

Saúde ocupacional e ambientes de vida melhorados com recurso à Internet das Coisas

Gonçalo Marques[1], Rui Pitarma[2]

goncalosantosmarques@gmail.com, rpitarma@ipg.pt

[1,2] Polytechnic Institute of Guarda, 6300–559 Guarda, Portugal.

Pages: 1–13

Resumo: O crescente desenvolvimento de dispositivos que suportam tecnologias de comunicação sem fios continua a impulsionar a nova era da Internet e das telecomunicações. De acordo com a visão para a Internet das Coisas (IoT) várias "coisas", que incluem não apenas dispositivos de comunicação, mas também todos os outros objetos físicos do planeta, vão ser conectadas e controladas através da Internet. O conceito IoT atraiu a atenção significativa de muitos investigadores nos últimos anos. As incessantes inovações científicas tornam possível a construção de dispositivos inteligentes com elevado potencial sensorial e de comunicação, permitindo o crescimento do paradigma da IoT nomeadamente para ambientes de vida melhorados e sáude ocupacional. Este documento apresenta uma revisão sobre IoT analisando as aplicações, arquiteturas, elementos, qualidade de serviço (QoS) e problemas relacionados com especial enfâse à sua aplicação na área da saúde. Tem também como principal objetivo apresentar os conceitos chave sobre IoT bem como transmitir várias aplicações e problemas associados na área da saúde.

Palavras-chave: Ambientes de vida assistida (AAL); Ambientes de vida melhorados; Computação Móvel; Internet das Coisas (IoT); Saúde Ocupacional

Occupational health and enhanced living environments through Internet of Things

Abstract: The development of smart devices supporting wireless technologies continues to drive a new era of the Internet and telecommunications. The Internet of Things (IoT) idea supports that those various "things," which are not only communication devices, but also all other physical elements of the planet, will be connected and controlled through the Internet. The concept of IoT has attracted significant attention from numerous researchers in recent years. Continuous scientific innovations make possible the development of intelligent devices with great sensory and communication capabilities, allowing the growth of the IoT paradigm for enhanced living environments and occupational health. This document presents a review of IoT, investigating the applications, architectures, elements, quality of service (QoS), and related open issues particularly in healthcare. It also has the objective to present the fundamental IoT concepts, applications, and related issues in the healthcare field.

***Keywords**:* Ambient Assisted Living (AAL); Enhanced Living Environments; Internet of Things (IoT); Mobile computing; Occupational Health.

1. Introdução

A ideia base da Internet das Coisas (IoT) é a presença generalizada de uma extensa variedade de objetos com capacidade de interação e cooperação para alcançar um objetivo comum (Giusto, Iera, Morabito & Atzori, 2010).

Espera-se que a IoT tenha um grande impacto em vários aspetos da vida quotidiana e este conceito será utilizado em muitas aplicações, tais como domótica, vida assistida, e-saúde e é também uma tecnologia emergente adequada para fornecer novos dados evolutivos e recursos computacionais para criar aplicações de software revolucionárias (Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami, 2013).

Como apresentado na Figura 1, os sistemas baseados na IoT interagem através de tecnologias de comunicação sem fios tais como RFID (Radio-Frequency Identification), NFC (Near Field Communication), ZigBee, WSN (Wireless sensor network), DSL (Digital Subscriber Line), WLAN (wireless local area network), WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), GPRS (General Packet Radio Service) e LTE (Long-Term Evolution).

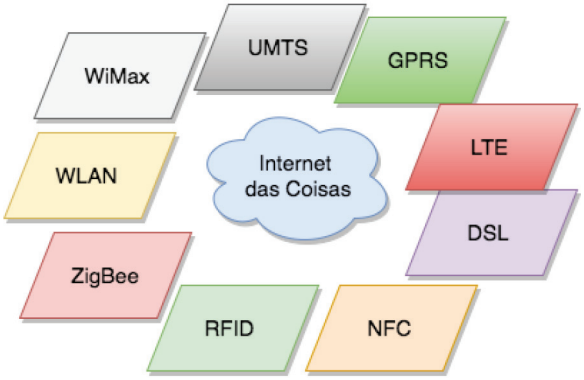


Figura 1 – Tecnologias de comunicação sem fios que suportam IoT

A IoT apresenta vários desafios a serem resolvidos, tais como segurança e privacidade, problemas relacionados com Big Data e questões de arquitetura de sistemas, além dos conhecidos desafios de WSN, incluindo eficiência energética, protocolos e Qualidade de Serviço (QoS) (Gubbi et al., 2013).

Aplicações industriais, monitorização e controlo de água, casas inteligentes, previsão de desastres naturais, aplicações médicas, aplicações de agricultura, sistemas de transporte e cidades inteligentes são exemplos de aplicações de IoT (Khan, R., Khan, S. U., Zaheer & Khan, S., 2012).

Este documento está organizado da seguinte forma. Este parágrafo conclui a introdução na seção 1. Os elementos essenciais do IoT são objeto de discussão na secção 2. Na seção

3 é abordado o uso de arquiteturas IoT na área da saúde. Na secção 4 são introduzidos aspetos importantes sobre questões de qualidade de serviço em IoT bem como os desafios existentes nas temáticas da segurança e privacidade. Por último, as conclusões são apresentadas na seção 5.

2. Elementos do paradigma da Internet das Coisas

Esta seção revê os elementos da IoT como identificação, sensing (recolha de dados do ambiente em que o dispositivo IoT está inserido), comunicação, computação, serviços e semântica (Figura 2).

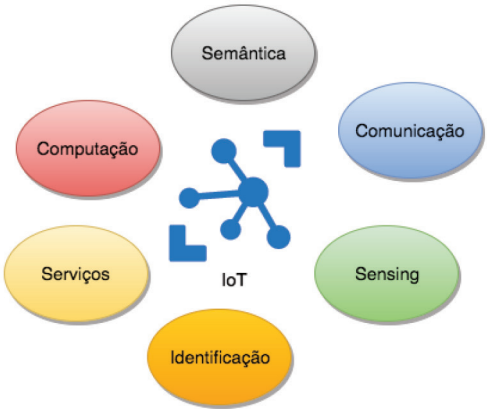


Figura 2 – Elementos da IoT

A identificação é essencial para o desenvolvimento do IoT e é importante para garantir o correto reconhecimento dos objetos, a fim de fazer corresponder os serviços com a sua procura. Existem vários métodos de identificação, tais como EPC - Electronic Product Codes e uCode- ubiquitous Code.

A identificação dos objetos refere-se ao seu nome ou designação e o endereçamento refere-se ao seu endereço IP para comunicação em rede. Atualmente existe uma grande variedade de métodos de endereçamento tais como IPv4, IPv6 e 6LoWPAN que fornece compressão em cabeçalhos IPv6 (Jara, Zamora & Skarmeta, 2012). Com o grande espaço de endereçamento fornecido pelo IPv6, todos os requisitos de endereçamento da IoT encontram-se preenchidos.

Em IoT, “sensing” refere-se à aquisição de dados do ambiente e o seu envio para uma base de dados, remota ou Cloud. Como exemplo de sensores em IoT podem-se definir sensores inteligentes, atuadores ou sensores wearable.

A comunicação é parte integrante de todos os dispositivos IoT, sendo esta limitada pela natureza das próprias tecnologias, como por exemplo, a duração da bateria ou a reduzida gama de transmissão de dados. Protocolos como WiFi, ZigBee, GSM, GPRS, UMTS, 3G, LTE e 5G (Jermyn, Jover, Murynets, Istomin & Stolfo, 2015) fornecem capacidade adequada para comunicação entre os dispositivos IoT. O padrão IEEE 802.15.4e foi

lançado pelo IEEE em 2012 para melhorar e adicionar funcionalidades ao padrão anterior 802.15.4, de forma a atender às necessidades emergentes de aplicações industriais embebidas (De Guglielmo, Anastasi & Seghetti, 2014). Há também outras tecnologias de comunicação usadas para comunicações de proximidade como RFID (Falk, Kohlmayer & Köpf, 2015), NFC (Curran, Millar & Mc Garvey, 2012) e BLE (Bluetooth Low Energy) (Gomez, Oller & Paradells, 2012). Um protocolo para computação simplificada na identificação de colisões em comunicações por radiofrequência (RFID) denominado por CWT+ foi proposto por (Garcia Zuazola, Bengtsson, Perallos & Landaluce, 2014). O uso de tags NFC flexíveis e de baixo custo permitem que objetos do quotidiano comuniquem com smartphones e computadores de forma a participarem ativamente em ecossistemas IoT (Raza, Misra, He & Voigt, 2015).

O protocolo BLE (Bluetooth) oferece recursos adequados para tecnologias de comunicação de baixa tensão em IoT e podem ser aplicados em redes 6LoWPAN (Raza et al., 2015).

O IoT é implementado usando várias plataformas de hardware como Arduino (Doukas, 2012), Intel Galileo (Ramon, 2014, p. 2), Raspberry Pi (Upton & Halfacree, 2016) ou ESP8266 (Raspaile & Keswani, 2015). As plataformas de computação em nuvem também constituem uma parte computacional importante no paradigma IoT porque conferem vantagens no armazenamento e/ou processamento de dados online.

Os diferentes serviços de IoT podem ser categorizados como serviços identificação, serviços de agregação de informação, serviços colaborativos e serviços ubíquos (Gigli & Koo, 2011). Os serviços de identificação são focados na identificação de objetos, enquanto os serviços de agregação recolhem dados sensoriais e enviam-nos para a aplicação de backend. Além disso, os serviços colaborativos são usados para transformar os dados obtidos numa decisão que deverá resultar numa ação, enquanto os serviços ubíquos visam fornecer serviços colaborativos a qualquer momento, a qualquer pessoa e em qualquer lugar.

A semântica corresponde à capacidade de extrair conhecimento de dispositivos IoT para o fornecimento de serviços. Assim, como exemplos de tecnologias da Semântica Web podem ser referidos o Resource Description Framework (RDF) e a Ontology Web Language (OWL) (McGuinness & Van Harmelen, 2004). Em 2011, o consórcio World Wide Web (W3C) adotou o formato Efficient XML Interchange (EXI) (Peintner, Kosch & Heuer, 2009) como uma recomendação. O EXI converte mensagens XML em binário para reduzir a largura de banda e minimizar o tamanho de armazenamento necessário.

3. A Internet das Coisas na área da Saúde

A IoT é uma abordagem adequada para construir sistemas de suporte aos cuidados de saúde, com base nos avanços tecnológicos que permitem definir novos métodos como por exemplo tele-monitorização e teleconsulta que visam contribuir para a melhoria da prevenção do diagnóstico e do tratamento de várias doenças (Chui, Loffler & Roberts, 2010) (Figura 3).

Uma solução para o tratamento e monitorização de diabetes baseada em IoT é proposta por (Jara et al., 2011). Esta solução possibilita a gestão de perfil de um paciente com

base em etiquetas RFID. Permite também uma conectividade global entre o dispositivo pessoal do paciente baseado em 6LoWPAN e aplicação Desktop para enfermeiros/ médicos que permite gerir registos de saúde pessoais, mas também um sistema de informação de índice glicémico estruturado e um portal Web para consulta do paciente.

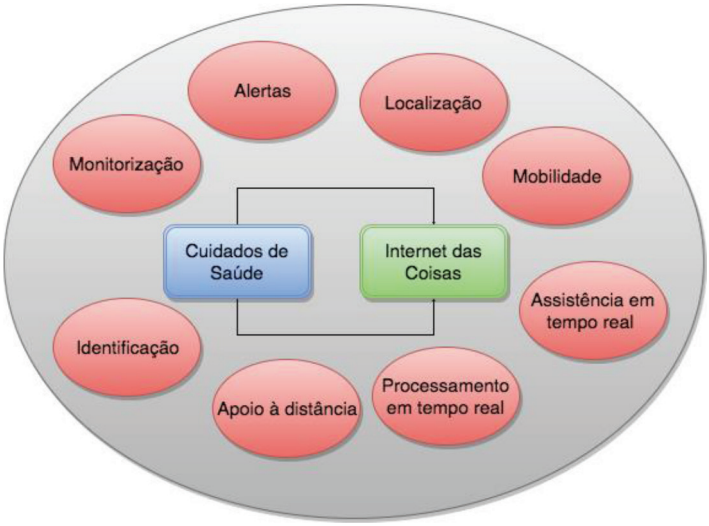


Figura 3 – IoT aplicada aos cuidados de saúde

Os sistemas IoT são também usados para a transmissão em tempo real de informações fisiológicas. Desde 2009, tem sido propostos vários projetos de aplicações remotas de saúde que visam melhorar a inteligência da recolha e processamento de dados com o objetivo de promover as aplicações de IoT na indústria médica (Luo, Chen, Tang & Luo, 2009).

Apesar do potencial do paradigma da IoT e das tecnologias para os sistemas de saúde, ainda há muitos desafios a serem resolvidos. O impacto do IoT na economia ainda está por apurar, para além de que existem barreiras à adoção imediata e omnipresente de produtos e serviços IoT (Swan, 2012).

Além disso, as tecnologias IoT proporcionam muitos benefícios no domínio da saúde em atividades como localização de objetos, pacientes e funcionários, identificação e autenticação de pessoas e recolha automática de dados (Atzori, Iera & Morabito, 2010). Assim, o IoT oferece uma solução considerável para aplicação na área da saúde podendo ser utilizada como uma plataforma para o atendimento omnipresente. Para tal, podem ser utilizados sensores portáteis para recolha de dados que são posteriormente armazenados em servidores bem como smartphones para comunicação com recurso ao protocolo BLE como interface de sensores que medem parâmetros fisiológicos (Gubbi et al., 2013).

Atualmente existem também várias soluções IoT para monitorização da qualidade do ar interior com vista à melhoria da saúde ocupacional que recorrem a tecnologias de código aberto e sensores de baixo custo para armazenamento e disponibilidade de dados

de supervisão em tempo real (Marques, Ferreira & Pitarma, 2019; Marques, Ferreira & Pitarma, 2018; Marques & Pitarma, 2019; Gonçalo Marques & Pitarma, 2016; Pitarma, Marques & Ferreira, 2017). Estes sistemas assumem especial relevância quando sabemos que passamos cerca de 90% do tempo em ambientes interiores. Assim é possível fornecer dados em tempo real que permitem ao gestor do edifício realizar de forma mais eficiente e ponderada a gestão e manutenção do edifício, proporcionando espaços de trabalho seguros e saudáveis, mas também ambientes confortáveis e produtivos com vista à melhoria da saúde ocupacional. Alguns destes sistemas tem como trabalho futuro criar formas seguras de acesso a estes dados por parte dos profissionais de saúde para que os mesmos possam vir a ser utilizados para suporte ao diagnóstico de problemas de saúde.

Contudo em especial as aplicações de cuidados de saúde devem incorporar vários mecanismos de segurança com o objetivo de assegurar a privacidade de informações pessoais e/ou sensíveis.

A interconexão de diferentes sistemas IoT permite uma melhoria da intervenção dos profissionais de saúde na deteção e prevenção de más condições ambiente em tempo real com o objetivo de melhorar a saúde e bem-estar dos pacientes (Miorandi, Sicari, De Pellegrini & Chamlatac, 2012).

De fato, existem vulnerabilidades de segurança nas comunicações *Machine-to-Machine* (M2M) e devem ser criados métodos que garantam o acesso adequado às entidades certas no momento certo e que sejam suportadas por uma arquitetura segura. Outro grande desafio é que os dispositivos M2M/IoT podem não possuir recursos suficientes para executar métodos de criptografia no próprio dispositivo (Lake, Milito, Morrow & Vargheese, 2014). Este desafio deve ser resolvido de forma a criar sistemas de saúde seguros baseados em IoT.

O Health-IoT (serviço de saúde baseado em tecnologias IoT) tem perspetivas promissoras sendo que apresenta uma arquitetura para a integração de dispositivos e serviços de saúde em casa baseados em IoT contudo existem ainda deficiências ao nível da interoperabilidade (Pang et al., 2015).

São necessárias arquiteturas baseadas em IoT que facilitem a melhoria da eficiência energética, permitindo a utilização dinâmica de sensores e o uso de IPv6 em redes de área pessoal sem fios de baixa potência (6LoWPAN) como proposto para conexão de dispositivos WPAN por (Hassanalieragh et al., 2015).

O paradigma IoT especifica uma forma de monitorização, armazenamento e utilização de dados relacionados à saúde e ao bem-estar 24 horas por dia, 7 dias por semana (Dohr, Modre-Opsrian, Drobics, Hayn & Schreier, 2010; Marques, 2019) ao mesmo tempo que fornece serviços ubíquos e personalizados para necessidades pessoais (Domingo, 2012; Miorandi et al., 2012).

Um exemplo, é a implementação de um sistema de monitorização de saúde remoto baseado em IoT que inclui uma demonstração de um Smart Health Gateway chamado UT-GATE (Rahmani et al., 2015). O UT-GATE oferece serviços locais para aplicações de monitorização de saúde, como repositório local, compressão, processamento de sinal, padronização de dados, servidor WebSocket, tradução de protocolos, firewall, mineração de dados e notificações.

4. Internet das Coisas: Segurança e QoS

A IoT apresenta vários desafios de QoS tais como disponibilidade, confiabilidade, mobilidade, desempenho, escalabilidade e interoperabilidade (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari & Ayyash, 2015; Miorandi et al., 2012) (Figura 4).

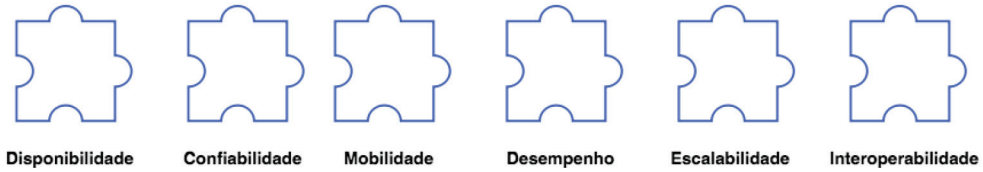


Figura 4 – Problemas de qualidade de serviço

Disponibilidade em IoT refere-se à capacidade de fornecer serviços aos clientes em qualquer hora e em qualquer local. Para tal, os sistemas IoT devem apresentar compatibilidade com o maior número possível de dispositivos e seguir protocolos como IPv6, 6LoWPAN. Por outro lado, a confiabilidade refere-se aos objetivos destes sistemas e a mobilidade refere-se à conexão de utilizadores aos serviços continuamente, mesmo enquanto estiverem em movimento. É necessário que os sistemas IoT não apresentem situações de interrupção quando os dispositivos de transferência de dados transitam de um gateway para outro. Uma arquitetura baseada em IoT para apoiar a mobilidade e segurança em ambientes médicos é proposta por (Valera, Zamora & Skarmeta, 2010).

É de referir que o desempenho dos serviços IoT assume um importante desafio. Sendo que um sistema depende de todas as suas partes é necessário melhorar todos componentes dos sistemas IoT de forma a que todos eles possam cumprir os requisitos das aplicações.

A escalabilidade em IoT refere-se à capacidade de adicionar novos dispositivos, serviços e funções sem afetar a qualidade do serviço. Na existência de um número enorme de plataformas de hardware e protocolos de comunicação adicionar novas operações e suportar novos dispositivos assume-se como sendo um desafio importante na afirmação deste paradigma.

O problema mais implicativo na implementação em larga escala de sistemas IoT centra-se na existência tecnologias que não fornecem interoperabilidade. Assim sendo, interligar diferentes plataformas constitui um desafio importante para a implementação de soluções IoT (Liu & Zhou, 2012). O problema da interoperabilidade deve ser devidamente estudado pelos investigadores e fabricantes de produtos de forma a permitir a compatibilidade entre todas as plataformas de hardware.

Há que citar que a segurança é também um desafio de extrema importância para as aplicações de IoT, e deve ser cuidadosamente estudada tendo em conta o contexto da aplicação principalmente em áreas tão importantes como a da saúde. Os sistemas IoT devem ter em conta o efeito da fragmentação de pacotes na segurança, com especial atenção aos possíveis ataques de DoS (Denial of Service) (Heer et al., 2011).

Na implementação de arquiteturas IoT é importante refletir não só sobre os problemas técnicos, mas também analisar devidamente os problemas de planeamento,

infraestrutura, gestão e principalmente de segurança. Na camada de rede, os sistemas IoT devem usar criptografia e aumentar a capacidade contra os ataques de DoS (Gan, Lu & Jiang, 2011).

Em 2008, foram criadas as normas tais como ISO (International Organization for Standardization)/IEC (International Electrotechnical Commission) de forma a prever a utilização de criptografia para dispositivos de baixos recursos computacionais sendo que a criptografia contribui para a segurança das redes de objetos inteligentes (Katagi & Moriai, 2008).

Os ataques a sistemas IoT podem ser categorizados como ataques físicos, ataques de side channel, ataques de criptoanálise, ataques de software e ataques de rede (Babar, Stango, Prasad, N., Sen & Prasad, R., 2011). Os ataques físicos referem-se a ataques em que existe acesso físico ao hardware. Os ataques de side channel recorrem ao uso de informações para recuperar a chave utilizada pelo dispositivo. Os ataques de criptoanálise focam-se no estudo do texto cifrado com o objetivo de quebrar a criptografia. Os ataques de software exploram vulnerabilidades nos sistemas através da sua própria interface de comunicação.

Embora muitas pesquisas tenham sido feitas para aumentar a segurança no IoT, permanecem ainda vários problemas e desafios a vários níveis, como a criptografia, protocolos de rede, gestão de dados, identidade e privacidade do utilizador (Roman, Najera & Lopez, 2011).

Existem diversos estudos que visam a melhoria dos níveis de segurança em IoT, tais como os propostos por (Li & Xiong, 2013; Mukherjee, 2015; Ning, Liu & Yang, 2013; Raza et al., 2013; Sethi, Kortoci, Di Francesco & Aura, 2015). Uma visão geral sobre os problemas de segurança na camada física de baixa complexidade é proposta por (Mukherjee, 2015). Uma nova arquitetura denominada por U2IoT é proposta por (Ning et al., 2013) com o objetivo de resolver problemas de segurança em IoT. Outra arquitetura de segurança que suporta autenticação em duas vias para IoT baseado nos padrões da Internet existentes, especialmente o protocolo DTLS (Datagram Transport Layer Security) é proposto por (Kothmayr, Schmitt, Hu, Brunig & Carle, 2012). A possibilidade de reduzir a sobrecarga de DTLS por meio de compressão de cabeçalho 6LoWPAN é proposta por (Raza et al., 2013).Uma solução de segurança para integrar WSNs no paradigma da IoT é também proposta por (Li & Xiong, 2013).

5. Conclusões

Os principais elementos da IoT são identificação, sensing, comunicação, computação, serviços e semântica e existem vários exemplos de aplicações fascinantes como previsão de desastres naturais, aplicações na indústria, design de casas inteligentes, aplicações de saúde, aplicações agrícolas, design inteligente de sistemas de transporte, design cidades de inteligentes e aplicações importantes na área da saúde.

Os sistemas que visam a melhoria da saúde ocupacional e os destinados a ambientes de vida assistida continuam a ser desenvolvidos lado a lado contribuindo mutuamente em progressos científicos que permitam reduzir o custo destes sistemas bem como a melhorar a qualidade de vida da população.

As plataformas IoT devem suportar dispositivos heterogêneos, fusão e partilha de dados, privacidade e segurança, interoperabilidade e padronização. Existem hoje várias plataformas para IoT e apesar da constante evolução tecnológica e da investigação científica continuam a existir vários desafios tais como a normalização, segurança, privacidade, eficiência energética, autonomia, inteligência, metodologia de integração, Big Data, custo, armazenamento, rede de comunicações, escalabilidade e flexibilidade.

A IoT continua a ter vários problemas de QoS, tais como disponibilidade, confiabilidade, mobilidade, desempenho, escalabilidade e interoperabilidade. Estes desafios devem ser resolvidos de forma a tornar sólida e robusta a utilização destes sistemas na área da saúde com maior foco nos aspetos de segurança e privacidade dos dados.

Este artigo apresentou uma visão geral dos conceitos da IoT, tais como arquitetura, visão, elementos, principais aplicações tais como casas inteligentes e sistemas de saúde, problemas de QoS e questões de segurança e tem por objetivo proporcionar uma visão transversal das tecnologias da IoT com especial ênfase na área da saúde.

Existe uma clara tendência na investigação de soluções tecnológicas para a melhoria da saúde ocupacional com recurso ao potencial da IoT. Consequentemente este documento aborda também diversas investigações sobre IoT na área da saúde. Os elementos da IoT são descritos com o objetivo enquadrar a visão apresentada acerca dos contínuos avanços a nível de dispositivos de saúde, sensores, tecnologias de comunicação, métodos de identificação e recolha de dados. Um grande número de projetos de pesquisa e desenvolvimento foram realizados para promover a informatização de serviços de assistência médica baseados em IoT. O presente documento apresenta várias implementações de soluções para monitorização de condições ambiente e de dados fisiológicos em tempo real, sistemas de localização de objetos, pacientes e funcionários, identificação e autenticação de pessoas baseados em IoT.

Dada a importância da privacidade, confidencialidade e segurança dos dados nomeadamente na área da saúde, este documento aborda vários requisitos e problemas de segurança que devem ser resolvidos no decorrer do desenvolvimento de sistemas IoT para a saúde.

Espera-se que o presente documento seja uma fonte de dados importante para a discussão de vários problemas na arquitetura IoT a nível de segurança, tecnologias de comunicação, modelos de negócio, qualidade de serviço e proteção de dados de saúde. Além disso pretende-se que sirva como um documento base de consulta para pesquisas adicionas sobre sistemas e serviços na área da saúde baseados em IoT.

Em suma, espera-se que os resultados desta pesquisa sejam úteis para investigadores, engenheiros, profissionais de saúde e formuladores de políticas que trabalham na área das tecnologias IoT e de assistência médica.

Referências

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*(4), 2347–2376. DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, *54*(15), 2787–2805. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010

Babar, S., Stango, A., Prasad, N., Sen, J., & Prasad, R. (2011). Proposed embedded security framework for Internet of Things (IoT). In 2011 2nd International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE) (pp. 1–5). Chennai, India: IEEE. DOI: 10.1109/WIRELESSVITAE.2011.5940923

Chui, M., Loffler, M., & Roberts, R. (2010, March). The Internet of things. *McKinsey Quarterly*. Recuperado do https://www.mckinseyquarterly.com/The_Internet_of_Things_2538

Curran, K., Millar, A., & Mc Garvey, C. (2012). Near Field Communication. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 2*(3). DOI: 10.11591/ijece.v2i3.234

De Guglielmo, D., Anastasi, G., & Seghetti, A. (2014). From IEEE 802.15.4 to IEEE 802.15.4e: A Step Towards the Internet of Things. In S. Gaglio & G. Lo Re (Eds.), Advances onto the Internet of Things (Vol. 260, 135–152). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-03992-3_10

Dohr, A., Modre-Opsrian, R., Drobics, M., Hayn, D., & Schreier, G. (2010). The Internet of Things for Ambient Assisted Living. In 2010 Seventh International Conference on Information Technology: New Generations (pp. 804–809). Las Vegas, NV, USA: IEEE. DOI: 10.1109/ITNG.2010.104

Domingo, M. C. (2012). An overview of the Internet of Things for people with disabilities. *Journal of Network and Computer Applications, 35*(2), 584–596.

Doukas, C. (2012). Building internet of things with the Arduino: V1.1 [Arduino V.10 ready! ; covers: communication with wired and wireless networks, android communication, cloud communication and more!]. S.l.: CreateSpace.

Falk, R., Kohlmayer, F., & Köpf, A. (2015). Device and method for providing RFID identification data for an authentication server. Google Patents.

Gan, G., Lu, Z., & Jiang, J. (2011). doi:10.1109/ITAP.2011.6006307. In 2011 International Conference on Internet Technology and Applications (pp. 1–4). Wuhan, China: IEEE. DOI: 10.1109/ITAP.2011.6006307

Garcia Zuazola, I. J., Bengtsson, L., Perallos, A., & Landaluce, H. (2014). Simplified computation in memoryless anti-collision RFID identification protocols. *Electronics Letters, 50*(17), 1250–1252. DOI: 10.1049/el.2014.1552

Gigli, M., & Koo, S. (2011). Internet of Things: Services and Applications Categorization. *Advances in Internet of Things, 01*(02), 27–31. DOI: 10.4236/ait.2011.12004

Giusto, D., Iera, A., Morabito, G., & Atzori, L. (Eds.). (2010). The Internet of Things. New York, NY: Springer New York. DOI: 10.1007/978-1-4419-1674-7

Gomez, C., Oller, J., & Paradells, J. (2012). Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. *Sensors, 12*(9), 11734–11753. DOI: 10.3390/s120911734

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems, 29*(7), 1645–1660. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010

Hassanalieragh, M., Page, A., Soyata, T., Sharma, G., Aktas, M., Mateos, G., … Andreescu, S. (2015). Health Monitoring and Management Using Internet-of-Things (IoT) Sensing with Cloud-Based Processing: Opportunities and Challenges. In 2015 IEEE International Conference on Services Computing (pp. 285–292). New York City, NY, USA: IEEE. DOI: 10.1109/SCC.2015.47

Heer, T., Garcia-Morchon, O., Hummen, R., Keoh, S. L., Kumar, S. S., & Wehrle, K. (2011). Security Challenges in the IP-based Internet of Things. *Wireless Personal Communications, 61*(3), 527–542.

Jara, A. J., Zamora, M. A., & Skarmeta, A. F. G. (2011). An internet of things–based personal device for diabetes therapy management in ambient assisted living (AAL). *Personal and Ubiquitous Computing, 15*(4), 431–440. DOI: 10.1007/s00779-010-0353-1

Jara, A. J., Zamora, M. A., & Skarmeta, A. F. G. (2012). Glowbal IP: An adaptive and transparent IPv6 integration in the Internet of Things. *Mobile Information Systems*, (3), 177–197. DOI: 10.3233/MIS-2012-0138

Jermyn, J., Jover, R. P., Murynets, I., Istomin, M., & Stolfo, S. (2015). Scalability of Machine to Machine systems and the Internet of Things on LTE mobile networks. In 2015 IEEE 16th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM) (pp. 1–9). Boston, MA, USA: IEEE. DOI: 10.1109/WoWMoM.2015.7158142

Luo, J., Chen, Y., Tang, K., & Luo, J. (2009). Remote monitoring information system and its applications based on the Internet of Things. In 2009 International Conference on Future BioMedical Information Engineering (FBIE) (pp. 482–485). Sanya, China: IEEE. DOI: 10.1109/FBIE.2009.5405813

Katagi, M., & Moriai, S. (2008). Lightweight cryptography for the internet of things. Sony Corporation, 7–10.

Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. In 2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (pp. 257–260). Islamabad, Pakistan: IEEE. DOI: 10.1109/FIT.2012.53

Kothmayr, T., Schmitt, C., Hu, W., Brunig, M., & Carle, G. (2012). A DTLS based end-to-end security architecture for the Internet of Things with two-way authentication. In 37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops (pp. 956–963). Clearwater, FL, USA: IEEE. DOI: 10.1109/LCNW.2012.6424088

Lake, D., Milito, R. M. R., Morrow, M., & Vargheese, R. (2014). Internet of things: Architectural framework for ehealth security. *Journal of ICT Standardization, 1*(3), 301–328.

Li, F., & Xiong, P. (2013). Practical Secure Communication for Integrating Wireless Sensor Networks Into the Internet of Things. *IEEE Sensors Journal, 13*(10), 3677–3684. DOI: 10.1109/JSEN.2013.2262271

Liu, Y., & Zhou, G. (2012). Key Technologies and Applications of Internet of Things. In 2012 Fifth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (pp. 197–200). Zhangjiajie, Hunan, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICICTA.2012.56

Marques, G. (2019). Ambient Assisted Living and Internet of Things. In P. J. S. Cardoso, J. Monteiro, J. Semião, & J. M. F. Rodrigues (Eds.), Harnessing the Internet of Everything (IoE) for Accelerated Innovation Opportunities (pp. 100–115). Hershey, PA, USA: IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-5225-7332-6.ch005

Marques, G., Ferreira, C. R., & Pitarma, R. (2019). Indoor Air Quality Assessment Using a CO2 Monitoring System Based on Internet of Things. *Journal of Medical Systems, 43*(3). DOI: 10.1007/s10916-019-1184-x

Marques, G., & Pitarma, R. (2019). A Cost-Effective Air Quality Supervision Solution for Enhanced Living Environments through the Internet of Things. *Electronics, 8*(2), 170. DOI: 10.3390/electronics8020170

Marques, G., Ferreira, R. C., & Pitarma, R. (2018). A System Based on the Internet of Things for Real-Time Particle Monitoring in Buildings. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(4), 821. DOI: 10.3390/ijerph15040821

Marques, G., & Pitarma, R. (2016). Health informatics for indoor air quality monitoring. In Information Systems and Technologies (CISTI), 2016 11th Iberian Conference on (pp. 1–6). AISTI.

McGuinness, D. L., & Van Harmelen, F. (2004). OWL web ontology language overview. *W3C Recommendation, 10*(10), 2004.

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks, 10(7), 1497–1516. DOI: 10.1016/j.adhoc.2012.02.016

Mukherjee, A. (2015). Physical-Layer Security in the Internet of Things: Sensing and Communication Confidentiality Under Resource Constraints. *Proceedings of the IEEE, 103*(10), 1747–1761. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2466548

Ning, H., Liu, H., & Yang, L. T. (2013). Cyberentity Security in the Internet of Things. *Computer, 46*(4), 46–53. DOI: 10.1109/MC.2013.74

Pang, Z., Zheng, L., Tian, J., Kao-Walter, S., Dubrova, E., & Chen, Q. (2015). Design of a terminal solution for integration of in-home health care devices and services towards the Internet-of-Things. *Enterprise Information Systems, 9*(1), 86–116. DOI: 10.1080/17517575.2013.776118

Peintner, D., Kosch, H., & Heuer, J. (2009). Efficient XML Interchange for rich internet applications. In 2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (pp. 149–152). IEEE.

Pitarma, R., Marques, G., & Ferreira, B. R. (2017). Monitoring Indoor Air Quality for Enhanced Occupational Health. *Journal of Medical Systems, 41*(2). DOI: 10.1007/s10916-016-0667-2

Rahmani, A.-M., Thanigaivelan, N. K., Tuan Nguyen Gia, Granados, J., Negash, B., Liljeberg, P., & Tenhunen, H. (2015). Smart e-Health Gateway: Bringing intelligence to Internet-of-Things based ubiquitous healthcare systems. In 2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) (pp. 826–834). Las Vegas, NV, USA: IEEE. DOI: 10.1109/CCNC.2015.7158084

Ramon, M. C. (2014). Intel Galileo and Intel Galileo Gen 2. In M. C. Ramon, Intel® Galileo and Intel® Galileo Gen 2 (pp. 1–33). Berkeley, CA: Apress. DOI: 10.1007/978-1-4302-6838-3_1

Raspaile, P., & Keswani, V. (2015). Integrating Wireless Sensor Network with Open Source Cloud for application of Smart Home. *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology, 5*(4), 425–428.

Raza, S., Misra, P., He, Z., & Voigt, T. (2015). Bluetooth smart: An enabling technology for the Internet of Things. In 2015 IEEE 11th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob) (pp. 155–162). Abu Dhabi, United Arab Emirates: IEEE. DOI: 10.1109/WiMOB.2015.7347955

Raza, S., Shafagh, H., Hewage, K., Hummen, R., & Voigt, T. (2013). Lithe: Lightweight secure CoAP for the internet of things. *IEEE Sensors Journal, 13*(10), 3711–3720.

Roman, R., Najera, P., & Lopez, J. (2011). Securing the Internet of Things. *Computer, 44*(9), 51–58. DOI: 10.1109/MC.2011.291

Sethi, M., Kortoci, P., Di Francesco, M., & Aura, T. (2015). Secure and low-power authentication for resource-constrained devices. In 2015 5th International Conference on the Internet of Things (IOT) (pp. 30–36). Seoul, South Korea: IEEE. DOI: 10.1109/IOT.2015.7356545

Swan, M. (2012). Sensor Mania! The Internet of Things, Wearable Computing, Objective Metrics, and the Quantified Self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator Networks, 1*(3), 217–253. DOI: 10.3390/jsan1030217

Upton, E., & Halfacree, G. (2016). *Raspberry Pi user guide* (4th edition). Chichester: Wiley.

Valera, A. J. J., Zamora, M. A., & Skarmeta, A. F. G. (2010). An Architecture Based on Internet of Things to Support Mobility and Security in Medical Environments. In 2010 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (pp. 1–5). Las Vegas, NV, USA: IEEE. DOI: 10.1109/CCNC.2010.5421661

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/12/2018
Aceitação/Acceptance: 28/02/2019

Evaluation of Usability in Raster Data Management Module Integrated to a Geoportal

Pablo Landeta[1], Jorge Vásquez[2], Pedro Granda[3], Fausto Lucano[4], Iván García-Santillán[5]

palandeta@utn.edu.ec, **jwvasquez**@utn.edu.ec, pdgranda@utn.edu.ec, fblucanoc@utn.edu.ec, idgarcia@utn.edu.ec

[1,2,3,4,5] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

Pages: 14–27

Abstract: The raster data are very important in Geographic Information Systems (GIS) because they allow to show satellite images and be combined with vector data to display the information in a better way in several fields, such as medicine, agriculture, tourism, so on. The objective of the research was to measure the usability quality of raster data management module included in a geoportal, which is an improvement in the geoportal previously developed in a university. This module was subjected to a software quality analysis with the use of the ISO / IEC 25010: 2011 standard in the Usability feature and sub features of Operability and Learnability. To achieve this purpose, the GQM (Goal - Question - Metrics) methodology was used with which it has allowed to establish the goal that is a correct functionality of the raster data management software module; the questions were elaborated based on the SUS questionnaire (System Usability Scale) and has developed metrics to measure the quality in Operability and Learnability. The data obtained were analyzed statistically through the Levene's test for equality of variances and means, and Spearman correlation. The results show that there is a moderate and positive correlation between both factors Operability and Learnability, which means that the greater the perception of operability, the greater the perception in learnability.

Keywords: Raster Data; ISO 25010; Usability; GQM; SUS questionnaire.

1. Introduction

1.1. Problem statement

Geospatial data are available in both geospatial vector (raw data) and raster formats (elaborated data). Raster data represent the world as a surface with its geographic information which varies continuously (Danehpash, 2015), which represents the importance of using this kind of data, because this will allow the future to show these variations and contrast the information on a map.

The previous works presented in Landeta, Vásquez, Saltos & Rea (2018) and Landeta, Vásquez, Rea & García-Santillán (2019), have kept adding new functionalities in order to achieve a quality product. One of the last functionalities added was the raster data management module. This module is important in the geoportal because it allows to

manage the raster data, this data can be combined with vector data to create thematic maps, and finally these maps can be displayed correctly. It was considered necessary to evaluate the quality of this software module using quality standards provided by ISO/IEC, this is the main objective of this research. The most recent model for software quality assessment is the ISO/IEC 25010 model. This standard proposes to assess the software quality as a function of eight characteristics, each of which is a function of several sub-characteristics (total 31 sub-characteristics) (Hovorushchenko & Pomorova, 2016). This study refers to the ISO/IEC 25010:2011 SQuaRE (Systems and software Quality Requirements and Evaluation) (ISO/IEC, 2011) as the guide in investigating the operability and learnability sub-criteria under the usability criteria. It is important to evaluate these two aspects because their analysis will show how easy it is for users to learn the operation and manipulation of the software.

To establish a measurement, the GQM (Goal-Question-Metrics) model has been used (Park, Goethert, & Florac, 1996); this paradigm is defined as a process that helps organizations to concentrate their measurement activity based on their goals. The questions that were used to comply with this methodology were taken from SUS questionnaire (System Usability Scale) (Brooke, 2013), which is a methodological tool very similar to the Likert Scale and is used to measure the usability of an object, device or application.

The contribution made by this research is the combination of the standards and methodologies described above in order to measure the usability quality considering operability and learnability.

1.2. Related works

Falih, Hendradjaya & Sunindyo (2016) contributed studying the quality evaluation of Web GIS using object-oriented development method based on ISO 25010 by linking the characteristics of Web GIS and object oriented with eight specific quality factor. Also, GQM is used to characterize the metrics.

In addition to this, there are others research that are using the same standard to stablish software metrics, for example, the strategic plan of an institution is used as a reference to measure functional suitability of the Academic Information System used to have meet institution goals when using goal oriented approach (Puspaningrum, Rochimah & Akbar, 2017).

An important study (Henzen, 2018), proposed an adapted usability pattern concept for web applications in spatial data infrastructures to map and categorize usability problems and best practice solutions and enable a geoinformation context-specific creation and discovery of these problems and solutions. He developed pattern types, relationships, and rules on how to use the relationships for the different pattern types to support software engineers in designing a GI web application with a consistent user interface and interaction concept. Similar to this, (Hoover, Sutton, Anderson, & Keller, 2014) used a usability focus group, expert review of content and pilot test of a prototype GIS application to gather empirical evidence on effectiveness for informing users of a significant water quality issue. Results suggested that the designed and deployed GIS application was appropriate for the target audience. Usability testing and expert review confirmed the importance of these evaluation measures to ensure a high-quality GIS prior to deployment.

The research (Lew, Zhang, & Olsina, 2010) focused on the modelling framework 2Q2U (internal/external Quality, Quality in use, actual Usability and User experience) to evaluate the external quality for a GIS application. They considered learnability with an aim toward improving the user experience. Moreover, (Mahmoud, 2017) proposed a methodology to assess the usability of the Spatial Data Infrastructure through users' perspective within the local government (municipalities) in The Netherlands. Equally (Danehpash, 2015), presented two techniques to design a geoportal compatible with WCS (Web Coverage Service), which defines a geospatial web service to render geospatial raster data such as flux maps in any desired subset in space and time.

Finally, Yahaya & Deraman (2010) proposed a Pragmatic Quality Factors (or PQF) as a software quality measurement and metrics that includes both aspects of quality considering only the functional characteristics suitability, accuracy and interoperability. Moreover, the quality of geographic data is considered or decision-making processes (Talhofer, Hošková-Mayerová, & Hofmann, 2019).

The existing previous investigations are important because they allow to have a base to establish new objectives and combine different methodologies and standards to improve the measurement of software quality in usability considering the operability and learnability.

The difference of this tool with others reviewed in the state of the art, is that it integrates vector and raster layers and includes statistical indicators. Such software is necessary because it allows analyzing data from a geographical point of view.

In conclusion, this study contributes to the state of the art because it shows a quality analysis of the Raster module of the UTN Geoportal from a usability point of view, which strengthens this tool because of its usefulness and importance to contribute to local and regional development.

1.3. Theoretical foundations

Web Gis: These offer to users, great mobility and the capacity to interact with GIS anywhere that has Internet access. The functionality varies greatly form simple web-querying and mapping accessed through commonly used browsers to more comprehensive spatial data location, data analysis and integration capabilities. Most of the new-based solutions comply with Open GIS Consortium specifications and protocols for WMS, WFS, etc. (Burrough, McDonnell, & Lloyd, 2015).

Raster Data: Consist of data about sites within a region. Examples include satellite images, digitised aerial photographs and quadrant samples. The region is divided into a grid of cells (or pixels), each representing an area of the land surface. The layers contain attributes for each cell. For instance, in a satellite image, the attributes might be a set of intensity measurements at different light frequencies or a classification of the land features within the cell (e.g. forest, farmland, water) (Bossomaier & Hope, 2015).

*ISO/IEC2500 SQuaRE: C*onsists of the following divisions: Quality Management Division (ISO/IEC 2500n), Quality Model Division (ISO/IEC 2501n), Quality Measurement Division (ISO/IEC 2502n), Quality Requirements Division (ISO/IEC 2503n), Quality

Evaluation Division (ISO/IEC 2504n), SQuaRE Extension Division (ISO/IEC 25050 – ISO/IEC 25099.

ISO/IEC 2501n–Quality Model Division: The International Standards that form this division present detailed quality models for computer systems and software products, quality in use, and data. Practical guidance on the use of the quality models is also provided. The product quality model categorizes product quality properties into eight characteristics (functional suitability, reliability, performance efficiency, usability, security, compatibility, maintainability and portability)(ISO/IEC, 2011).

System Usability Scale (SUS): Provides a "quick and dirty", reliable tool for measuring the usability. SUS is a standardized, inexpensive and reliable low-cost usability scale for system or product usability assessment (Brooke, 2013). It consists of a ten-item questionnaire with five response options for respondents; from strongly agree to strongly disagree. It allows to evaluate a wide variety of products and services, including hardware, software, mobile devices, websites and applications. SUS has become an industry standard, with references in over 1300 articles and publications. There is an empirical systematic evaluation of SUS studies of over 10 years found the tool to be useful as a quick and easy method of measuring system usability (Bangor, Kortum, & Miller, 2008; Mujinga, Eloff, & Kroeze, 2018).

Next, the design and methodology of the proposal is presented.

2. Materials and methods

2.1. Tools

Geoportal UTN project (Landeta, Vásquez, Saltos & Rea, 2018) was used as platform base to develop raster data management. The architecture is the same, and it´s described in Figure 1.

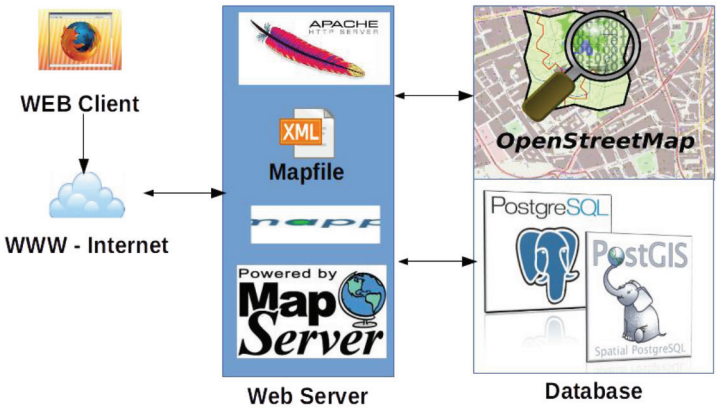


Figure 1 – Architecture of the Geoportal UTN (Landeta, Vásquez, Saltos, & Rea, 2018)

As shown in Figure 1, open source tools were used, which is a policy of the Ecuadorian government described in Executive Decree No. 1014 issued in 2008 (Presidencia de la República del Ecuador and Subsecretaría de Informática, 2009). This policy establishes that public administration to use open source software.

When uploading a raster layer, the alphanumeric information is stored in the database, and the raster images are stored in an operating system location. This is done because storing the images to the database would require additional time to complete the process and this could affect the performance of the application. Figure 2 shows the process to upload a raster layer to the Geoportal UTN.

Currently, the software module for raster data management is functional and accessible with administrator access in (Universidad Técnica del Norte & Carrera de Software, 2018). Figure 3 show the interface to deploy new raster information and its pre-visualization.

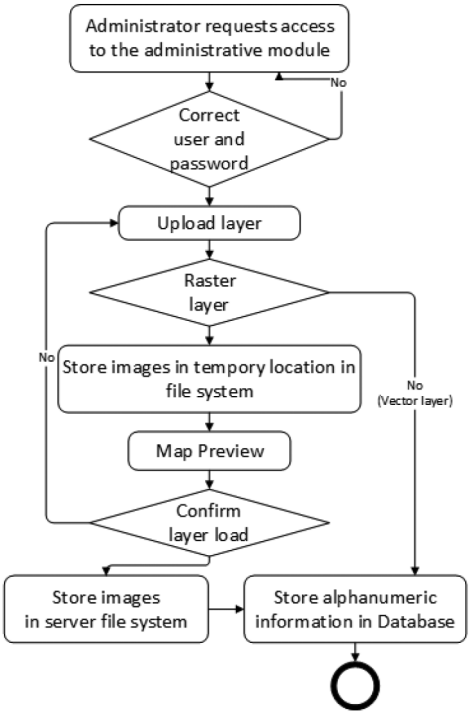


Figure 2 – Process to upload a raster layer to the Geoportal UTN

Once a layer with raster information has been deployed, it is possible to access this information from the main viewer. In this tool, it is possible to combine several vector and raster layers to create a thematic map that also allows to display the alpha numeric information included in the layers. This is shown in Figure 4.

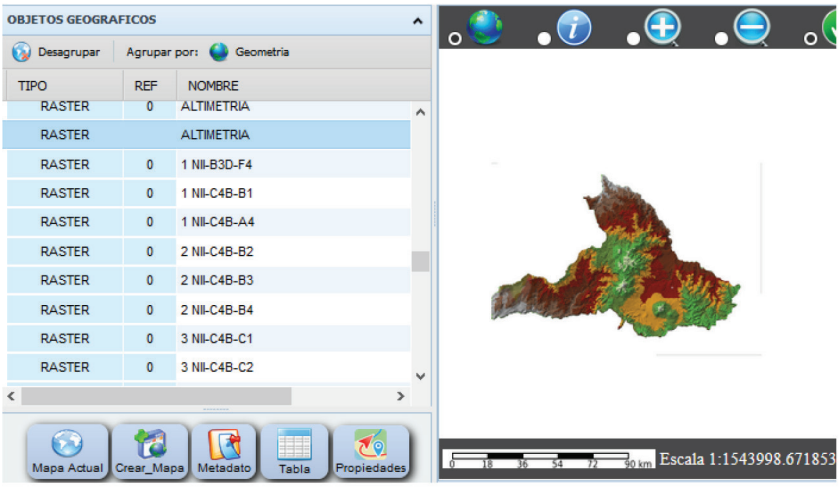


Figure 3 – Raster data management software module integrated into the Geoportal UTN (Landeta, Vásquez, Saltos, & Rea, 2018)

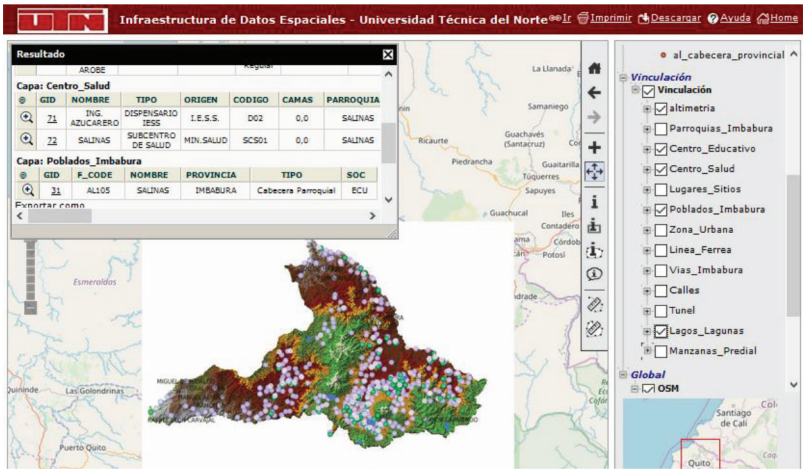


Figure 4 – Map resulting from a combination of vector and raster data

2.2. Methods

The research methodology is presented in Figure 5, witch it´s based in Puspaningrum, Rochimah & Akbar (2017).

According to ISO/IEC 25010:2011, Usability characteristic has the following sub characteristics: appropriateness recognizability, learnability, operability, user error protection, user interface aesthetics and accessibility (ISO/IEC, 2011). The study of usability from the point of view of ISO 25010 is very extensive and includes

the use of several metrics(Nakai, Tsuda, Honda, Washizaki, & Fukazawa, 2016). Based on the study (Baloh, Zupanc, Košir, Bosnić, & Scepanovic, 2015), operability and learnability have shown to be related to each-other to a high enough degree to warrant an quality analysis. To delimit this research, only considered two of this sub characteristics: operability and learnability. These metrics fit properly to the objective of the proposed study. Other sub characteristics may be considered future work.

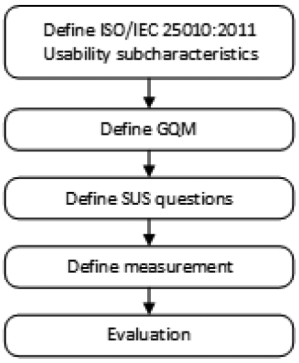


Figure 5 – Research methodology based on (Puspaningrum, Rochimah, & Akbar, 2017)

GQM definition begins by identifying organization business goals. The main goal of this research is checking the correct operation of the raster data management module of Geoportal UTN on the operability and learnability sub-criteria under the usability criteria. The steps of defining GQM are shown in Figure 6, witch it´s based in the work (Puspaningrum, Rochimah, & Akbar, 2017).

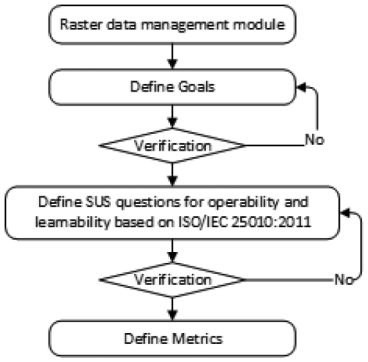


Figure 6 – GQM Steps based on Puspaningrum, Rochimah & Akbar (2017)

This research used a quantitative approach to identify a set of sub-characteristics used for functional suitability measurement of raster management functionality. Data was collected from the questionnaire using SUS (Brooke, 2013).

To establish a measure of SUS statements, a 5-level Likert scale was used with scored from 1 to 5 which represents from strongly disagree to strongly agree, respectively as shown in Table 1.

Likert scale degree	Strongly disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly agree
Scale position	1	2	3	4	5

Table 1 – Measure of SUS statements using 5 -level Likert scale

In order to avoid responses biases, SUS questionnaire must be with an alternation between positive and negative statements. Questions 1,3,5, 7 and 9 are positive and 2,4, 6, 8 and 10 are negative (Brooke, 2013).

To establish a measurement, odd statements were scored by subtracting 1 from the user's response, and even statements were scored by subtracting the user's response from 5. The final score of the SUS was obtained by multiplying the sum of all the individual scores previously obtained by 2.5, with this a score in the range of 0 to 100 was obtained (Brooke, 2013). Finally the mean SUS score of all valid system evaluation responses gave an indication of the overall system usability (Mujinga, Eloff, & Kroeze, 2018).

Figure 7 shows how the adjective ratings compare to both the school grading scale and the acceptability ranges (Bangor, Kortum, & Miller, 2009). The most relevant of this investigation concludes with the following statement. The 0 to 100 scale is intuitive to understand, however, letter grade scale instead of an adjective scale could be an alternate way to understand the absolute meaning of a SUS score.

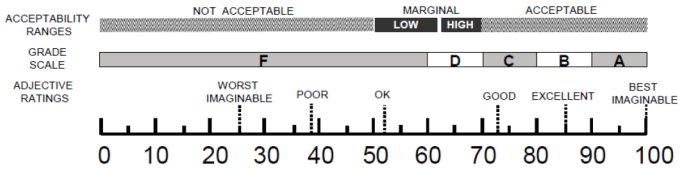


Figure 7 – A comparison of the adjective ratings, acceptability scores, and school grading scales, in relation to the average SUS score (Bangor et al., 2009)

SUS actually has two factors Usability (8 items) and Learnability (2 items), and it is based in a factor analysis of two independent SUS data sets (Lewis & Sauro, 2009). It considers that the items 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, and 9 aligned with the first factor, and the Items 4 and 10 aligned with the second factor. They recognize that is possible to decompose the Overall SUS score into its Usability and Learnability components.

For this research, Operability sub-characteristic was used instead of Usability characteristic. It was done because Operability is more specific than Usability, and it was required to use the terminology of ISO/IEC 25010:2011 standard.

To obtain the data, the next experimental protocol was used with twenty-one Ecuadorian students of the fourth semester of the Computer Systems Engineering career at Universidad Técnica del Norte.

1. In the first 20 minutes, they receive a process pre-experimental with an explication about the use of raster data management module.
2. Afterwards, the participants were asked to use the software in the specific functionality.
3. Finally, the SUS questionnaire was administered to the participants.

The data obtained in this investigation are presented below.

3. Results and Discussion

Total SUS score obtained was **75.2**, which means a scale grade of C qualified as acceptable according to the scale presented in Figure 7. (Bangor, Kortum & Miller, 2009). Considering two factor analysis proposed in (Lewis & Sauro, 2009), Operability score obtained was **77.4**, resulted in grade C qualified as acceptable and Learnability factor was scored **66.7**, resulted in grade D considered marginal (high) in the same reference proposed scale. These results are shown on Table 2.

	Result	**Adjective Ratings**	**Grade scale**	**Acceptability ranges**
Total SUS score	75.2	Good	C	Acceptable
Operability score	77.4	Good	C	Acceptable
Learnability score	66.7	Ok	D	Marginal (high)

Table 2 – Adjective ratings, acceptability scores, and school grading scales, in relation to the average SUS scores based on (Bangor , Kortum & Miller, 2009).

A test of normality was done to assess the distribution of SUS scores. Table 3 shows the results of the Kolmogorov-Smirnov test (Julie, 2013). The non-significant result of 0.131 for Operability is a greater value than 0.05 indicating data normality. However, the result of 0.042 for Learnability is less than 0.05 indicating non-normality of data. This aspect will be considered for a correlation analysis later.

	Kolmogorov-Smirnov[a]		
	Statistic	**Df**	**Sig.**
Operability	0.167	21	0.131
Learnability	0.192	21	0.042

a. Lilliefors Significance Correction

Table 3 – Test of Normality

The results of two independent samples t-tests, Levene's test for equality of variances and the t-test for equality of means (Meyers, Gamst, & Guarino, 2016), are illustrated in Table 4. The results showed that the *p-value* of Levene's test was 0.00, which is minor than the threshold value of 0.05, so we accepted the null hypothesis that there was no significant difference between the means of Levene's test and concluded that the variance in SUS scores for Operability and Learnability was similar. Hence, the difference was statistically insignificant, and the output of equal variance assumed was considered in order to test for equality of means.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Score	Equal variances assumed	16.649	0.00	1.675	40	0.102	10.728	6.405	-2.216	23.673
	Equal variances not assumed			1.675	26.421	0.106	10.728	6.405	-2.427	23.884

Table 4 – Levene's test for equality of variances and the means

Figure 8 shows that the mean for operability with its 95% confidence interval (CI) overlaps the mean corresponding to learnability. In the analysis of means, operability is greater than learnability and its confidence intervals are smaller; the estimate of the operability mean may be more accurate than the learnability estimate.

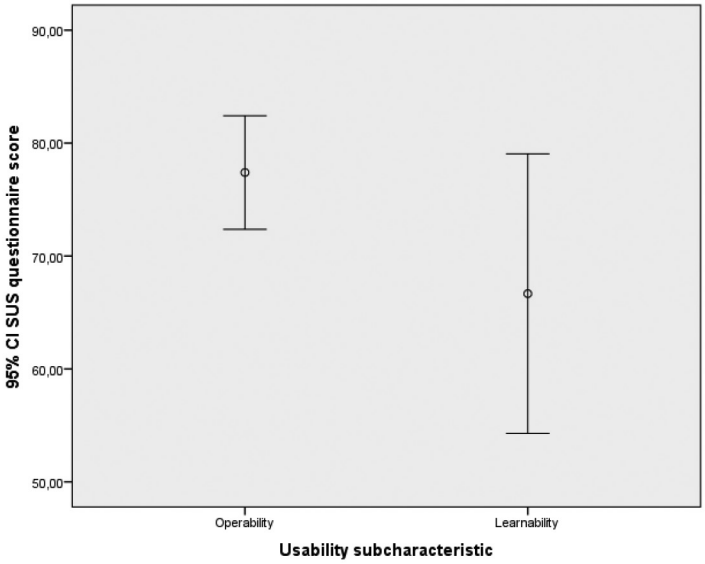


Figure 8 – Sub-characteristics means (Operability and Learnability) as result of t-test analysis by using a box-plot

To investigate the relationship between Operability and Learnability scores, Spearman correlation was conducted. This type of analysis was used because two quantitative continues variables (learnability and operability scores) with non-normal distribution

had to be correlated (Julie, 2013) as explained above. The results are shown in Table 5. This revealed that Learnability is associated with Operability (r_s=0.555, n=21, p=0.009). Specifically, there is a moderate, positive correlation between the two variables, which means that the greater the perception of quality in Operability, the perception in Learnability will also be greater.

			Learnability	**Operability**
Spearman's rho	Learnability	Correlation Coefficient	1.000	0.555**
		Sig. (2-tailed)	.	0.009
		N	21	21
	Operability	Correlation Coefficient	0.555**	1.000
		Sig. (2-tailed)	0.009	.
		N	21	21

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Table 5 – Spearman Correlation between Operability and Learnability sub characteristics

According to the results obtained, the application has an acceptable quality considering the correlated factors Operability and Learnability. When analyzing the general SUS score, in the same way the overall SUS score has an acceptable quality.

The work made by Falih, Hendradjaya & Sunindyo (2016) analyzed several characteristics and sub-characteristics, therefore it uses several metrics that could be confusing when applying them. This method of analysis is also used in Yahaya & Deraman (2010). In other work (Puspaningrum, Rochimah, & Akbar, 2017) proposed another method to analyze the data using weights for the sub features and establish a relationship between the results obtained with the weights of the sub features.

4. Conclusions

This study presents a software quality analysis based on the ISO 25010:2011 standard to evaluate usability and its sub-characteristics operability and learnability; to achieve this, the GQM methodology has been used in combination with the SUS questionnaire.

It is important to perform very thorough analyzes, since the results obtained may reflect weaknesses of the application to improve it in the future. The use of previously validated methodologies is important, in this case the GQM methodology has been used, which has allowed to establish an objective, define a questionnaire and apply it to participants to obtain metrics that allow measuring quality. Regarding the questions asked, it has been important to use a questionnaire already tested as SUS, which has allowed to establish the right questions, in this way, the end users have been able to respond in a very objective way.

With these data it has been possible to establish a test of normality to assess the normality of the distribution of scores (Table 3). A statistical analysis (Table 4) was done, from the quantitative point of view, this analysis showed that the Raster Data Management Module has the quality in usability required considering operability and learnability.

Based on Levene's analysis (Table 4), it can be concluded that there is no significant difference between the sub-characteristics operability and learnability. The analysis of means with the 95% confidence interval (Figure 8) shows similar qualifications of the participants for the two variables.

The Spearman correlation analysis (Table 5) showed that there is a moderate positive correlation between operability and learning variables, which means that if perceptions of operability vary among participants, the perception of learnability also varies.

As future work, it is proposed to measure other characteristics and sub-characteristics and investigate the appropriate methodologies to be applied to each case.

References

Baloh, M., Zupanc, K., Košir, D., Bosnić, Z., & Scepanovic, S. (2015). A quality evaluation framework for mobile learning applications. In *2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 280–283). DOI: 10.1109/MECO.2015.7181923

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J. Usability Studies*, *4*(3), 114–123.

Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *Int. J. Hum. Comput. Interaction*, *24*, 574–594. DOI: 10.1080/10447310802205776

Bossomaier, T., & Hope, B. A. (2015). *Online GIS and Spatial Metadata, Second Edition*. CRC Press.

Brooke, J. (2013). SUS: A Retrospective. *J. Usability Studies*, *8*(2), 29–40.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). *Principles of Geographical Information Systems* (Third edition). Oxford: Oxford University Press.

Danehpash, S. (2015). Evaluation of standards and techniques for retrieval of geospatial raster data: a study for the ICOS Carbon Portal. *LUP Student Papers*. Retrieved from http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8166797

Falih, N., Hendradjaya, B., & Sunindyo, W. D. (2016). Quality measurement for Web GIS using object-oriented development. In *2016 6th International Annual Engineering Seminar (InAES)* (pp. 144–149). DOI: 10.1109/INAES.2016.7821923

Henzen, C. (2018). Building a Framework of Usability Patterns for Web Applications in Spatial Data Infrastructures. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(11), 446. DOI: 10.3390/ijgi7110446

Hoover, J. H., Sutton, P. C., Anderson, S. J., & Keller, A. C. (2014). Designing and evaluating a groundwater quality Internet GIS. *Applied Geography*, *53*, 55–65. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.06.005

Hovorushchenko, T., & Pomorova, O. (2016). Evaluation of mutual influences of software quality characteristics based ISO 25010:2011. In *2016 XIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (pp. 80–83). DOI: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589874

ISO/IEC. (2011). ISO/IEC 25010:2011(en), Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. *ISO*. Retrieved from https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:25010:ed-1:v1:en

Julie, P. (2013). *Spss Survival Manual*. London: McGraw-Hill Education.

Landeta, P., Vásquez, J., Rea, X., & García-Santillán, I. (2019). Edition, Publication and Visualization of Geoservices Using Open-Source Tools. In M. Botto-Tobar, L. Barba-Maggi, J. González-Huerta, P. Villacrés-Cevallos, O. S. Gómez, & M. I. Uvidia-Fassler (Eds.), *Information and Communication Technologies of Ecuador (TIC.EC)* (pp. 266–280). Springer International Publishing.

Landeta, P., Vásquez, J., Saltos, T., & Rea, X. (2018). Geoportal with thematic displays for the visualization of Geospatial information of Ecuador, *1*(1), 31–40.

Lew, P., Zhang, L., & Olsina, L. (2010). Usability and user experience as key drivers for evaluating GIS application quality. In *2010 18th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1–6). DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567803

Lewis, J. R., & Sauro, J. (2009). The factor structure of the system usability scale. *Human Centered Design*, In Kurosu M. (eds.) *Human Centered Design. HCD 2009. Lecture Notes in Computer Science*, *5619* (pp. 94-103). Berlin: Springer.

Mahmoud, B. A. (2017). *Assessing the Usability of Municipal Spatial Data Infrastructure* (Master thesis). *Utrecht University*. Retrieved from http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/354081

Meyers, L. S., Gamst, G., & Guarino, A. J. (2016). *Applied Multivariate Research: Design and Interpretation* (Third edition). California: SAGE Publications.

Mujinga, M., Eloff, M. M., & Kroeze, J. H. (2018). System usability scale evaluation of online banking services: A South African study. *South African Journal of Science*, *114*(3–4), 1–8. DOI: 10.17159/sajs.2018/20170065

Nakai, H., Tsuda, N., Honda, K., Washizaki, H., & Fukazawa, Y. (2016). A SQuaRE-based software quality evaluation framework and its case study. In *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (pp. 3704–3707). DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848750

Park, R. E., Goethert, W. B., & Florac, W. A. (1996). *Goal-Driven Software Measurement. A Guidebook*. (No. CMU/SEI-96-HB-002). *Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Software Engineering Inst*. Retrieved from https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA313946

Presidencia de la República del Ecuador and Subsecretaría de Informática. (2009). Subsecretaría de Informática.: Decreto Ejecutivo No. 1014 (Executive Decree No. 1014). *Presidencia de la República*. Retrieved from https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fcti.gobiernoelectronico.gob.ec%2Fayuda%2Fmanual%2Fdecreto_1014.pdf&pdf=true

Puspaningrum, A. S., Rochimah, S., & Akbar, R. J. (2017). Functional Suitability Measurement using Goal-Oriented Approach based on ISO/IEC 25010 for Academics Information System. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, *3*(2), 68–74. DOI: 10.20473/jisebi.3.2.68-74

Talhofer, V., Hošková-Mayerová, Š., & Hofmann, A. (2019). Quality of Digital Geographic Data and Information. In V. Talhofer, Š. Hošková-Mayerová, & A. Hofmann (Eds.), *Quality of Spatial Data in Command and Control System* (pp. 9–38). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-94562-0_2

Universidad Técnica del Norte, & Carrera de Software. (2018). IDE UTN. *UTN Geoportal*. Retrieved from http://geoportal.utn.edu.ec/ide_utn/

Yahaya, J. H., & Deraman, A. (2010). Measuring unmeasurable attributes of software quality using Pragmatic Quality Factor. In *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology* (Vol. 1, pp. 197–202). DOI: 10.1109/ICCSIT.2010.5564077

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 09/11/2018
Aceitação/Acceptance: 10/01/2019

Impacto de la implementación de ISO 9001 en la universidad: percepción auditor y líder

Yurley Medina-Cárdenas[1], Dewar Rico-Bautista[2], José Gregorio Arevalo-Ascanio[3]

ycmedinac@ufpso.edu.co, dwricob@ufpso.edu.co, jgarevaloa@ufpso.edu.co

[1,2,3] Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña Sede Algodonal, 546551, Ocaña, Colombia.

Pages: 28–41

Resumen: El implementar y mantener un sistema de gestión de calidad bajo la ISO 9001, ha sido la preocupación de muchas organizaciones empresariales, similar preocupación coexiste en las instituciones de educación superior; en cualquiera de los casos se busca obtener un impacto positivo en la prestación de productos y/o servicios a los clientes y partes interesadas, sin embargo persiste la duda en cuanto a la efectividad de dicha norma para alcanzar las intenciones trazadas con su implementación. En este artículo se exponen los métodos y deducciones de investigación asociados a los proyectos: aproximación al perfil productivo del municipio de Ocaña Grupo de Investigación (GIDSE) y el proyecto métodos de gestión académico administrativos para el mejoramiento organizacional del Grupo de Investigación (INGAP), de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia. El objetivo fue el de analizar el impacto de los beneficios percibidos por los auditores internos y líderes de proceso, derivados de la implementación y la posterior certificación del Sistema de Gestión de la Calidad bajo la ISO 9001:2015. Los resultados obtenidos, ponen de manifiesto los beneficios apreciados y las brechas existentes en cuanto a los conceptos de productividad y competitividad que determinan el impacto a partir de la implementación de la norma. Así mismo, las dos perspectivas coinciden en el impacto positivo del sistema de gestión de la calidad en la Universidad.

Palabras-clave: ISO 9001:2015; calidad; impacto; productividad; competitividad.

Impact of the implementation of ISO 9001 in the university: perception auditor and leader

Abstract: The implementation and maintenance of a quality management system under ISO 9001, has been the concern of many business organizations, similar concern coexists in higher education institutions; in any of the cases it is sought to obtain a positive impact in the provision of products and / or services to the clients and interested parties, however doubt remains as to the effectiveness of said norm to achieve the intentions outlined with its implementation. In this article we expose the research methods and deductions associated with the projects: approach to the productive profile of the municipality of Ocaña Research Group (GIDSE) and the administrative academic management methods project for the

organizational improvement of the Research Group (INGAP), from the Francisco de Paula University Santander Ocaña - Colombia. The objective was to analyze the impact of the benefits perceived by internal auditors and process leaders, derived from the implementation and subsequent certification of the Quality Management System ISO 9001:2015. The results obtained show the benefits appreciated and the existing gaps in terms of productivity and competitiveness concepts that determine the impact from the implementation of the standard. Likewise, the two perspectives coincide in the positive impact of the quality management system in the University.

***Keywords**:* ISO 9001.2015; quality; impact; productivity; competitiveness.

1. Introducción

Hablar de un sistema de gestión de calidad (SGC) para una organización, es referirse a una herramienta que ayuda a planear, ejecutar y controlar las actividades requeridas para convertir la misión y la visión en una realidad, mediante la prestación de servicios, con altos estándares de calidad. Por otro lado, su implementación en una organización educativa trae consigo beneficios tales como una mejor administración de los procesos sustantivos, control en las áreas clave, medición de sus procesos y un mayor involucramiento del personal en sus actividades diarias, lo cual propone una motivación y por ende una mayor productividad entre muchos otros (Yzaguirre Peralta, 2005). En tal sentido, a pesar de la existencia de estos sistemas al interior de las universidades, se genera la pregunta acerca del beneficio que representan en términos de mejoramiento continuo de los procesos, que garanticen la calidad de los servicios prestados a la academia y a la comunidad universitaria (Âlvarez et al., 2012). Existen algunas investigaciones adelantadas con relación al impacto de estos sistemas, que permiten tener una visión más clara de su impacto. El trabajo de Benzaquende y Convers (2015), muestra el impacto de tener un SGC bajo la ISO 9001 en las empresas Colombianas, con base en nueve factores de éxito usados para medir la implementación de la Administración de la Calidad Total (TQM); para dicho propósito se analizaron 207 empresas y los resultados confirman los efectos positivos de la certificación en el nivel de calidad de las empresas evaluadas. El informe de Puerta y Rodríguez (2015), evalúa el impacto de la implementación del SGC en la empresa Wireless y Mobile, encontrándose que dicha implementación benefició a la organización, en cuanto a la formalización de los procesos y su estructura, la incorporación de procedimientos, instructivos, manuales de funciones, realización de actividades control y seguimiento y cultura de revisiones por la dirección, junto con la implementación indicadores de gestión que ayudaron a controlar los procesos. El estudio de Osorio et al. (2015), midió el impacto de la certificación ISO 9001 en las clínicas de la ciudad de Cali, en Colombia, enfocándose principalmente en los aspectos de calidad y competitividad. Se destaca que todas las clínicas participantes del proceso obtuvieron un impacto positivo en sus indicadores a partir de la certificación. Robles (2014), elaboró un estudio en el que se analiza el desempeño de las empresas de Barrancabermeja y su área de influencia, a la luz del efecto propiciado por la implementación de los SGC, en el cual pudo establecer que las empresas que opten por este tipo de sistemas tendrán mejores índices de productividad, y competitividad. En el artículo de Âlvarez et al. (2013), se abordan los resultados del estudio empírico llevado a cabo en 186 de las 566 empresas de alojamiento turístico en España certificada con la marca “Q de Calidad Turística”. El objetivo del estudio fue analizar el

impacto de los beneficios percibidos por las empresas, derivados de la implantación y la posterior certificación de un SGC. En el trabajo desarrollado con las empresas de la zona industrial de Mamonal en Cartagena, Morelos et al. (2013) presentan los resultados de evaluación de indicadores de productividad de las empresas certificadas en ISO 9001 y su incidencia en la utilidad financiera. Santoyo (2012), hace un detallado diagnóstico, frente al cual es posible medir el nivel de gestión enfocado en la calidad de servicios y productos elaborados por parte de las fábricas de queso en el departamento de Boyacá. En el artículo de Fontalvo et al (2012), se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto "Evaluación del impacto de los sistemas de gestión de la calidad en la liquidez y rentabilidad de las empresas de la Zona Industrial Vía 40", concluyeron que la certificación en calidad ISO 9001 incide positivamente en los indicadores financieros. En el documento de (Fajardo et al. 2012), se analiza el impacto de la gestión de calidad en la estructura organizativa y en la innovación en tres ingenios azucareros colombianos. Rodríguez (2012), en su trabajo titulado "Incidencia de la norma ISO 9000 en Colombia y en algunas empresas en el mundo", explica cómo ha incidido la implementación y la certificación de la norma en el desempeño organizacional de las empresas; para dicho propósito se revisan algunas experiencias a nivel mundial con respecto a tal incidencia (Medina-Cárdenas y Rico-Bautista, 2016). En el trabajo orientado por Iñaki (2009), se evalúa el impacto de las herramientas para la gestión de la calidad en la competitividad de las organizaciones y cómo la utilización de estas herramientas de mejora de la calidad incide realmente sobre la capacidad competitiva y el rendimiento de las empresas. Forero et al. (2018), analizan los diferentes estudios académicos realizados acerca de la relación calidad - rentabilidad, dentro de las conclusiones más importantes de este trabajo, se presenta que la calidad impacta de manera positiva la rentabilidad de la organización, y el principal indicador financiero en el cual se evidencia dicho impacto es el ROA – Rentabilidad Operativa del Activo. Por su parte, González y Pinedo (2007) señalan que la experiencia de la certificación permitió establecer las bases para el desarrollo organizado de la calidad, productividad y competitividad. Finalmente, el estudio de Marín (2005), muestran que las empresas certificadas con la norma ISO 9001 implantan prácticas TQM en mayor medida que las empresas no certificadas, y asimismo obtienen mejores resultados de la calidad.

En tal sentido, este artículo busca ilustrar sobre el impacto percibido por los auditores internos y los líderes de proceso de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña con la implementación del SGC bajo la norma ISO 9001:2015. Una vez conocidos algunos estudios relacionados y sus resultados, a continuación se presenta la estructura metodológica que se siguió en el proyecto, la cual se fundamentó en una investigación descriptiva, con un enfoque cuantitativo soportada por los instrumentos de análisis utilizados. Posteriormente, se presenta el análisis de los resultados, en los que se pone de manifiesto la percepción desde el punto de vista del auditor interno y del líder de proceso de la Universidad objeto de estudio, frente a la implementación del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015 y por último, se exponen las principales conclusiones de la investigación.

2. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, se definió el concepto de impacto a partir de su orientación hacia la productividad, relacionada con el rendimiento organizacional y hacia

la competitividad relacionada con la capacidad de innovación. Se evaluó la percepción desde el punto de vista del auditor interno y del líder de proceso, a fin de analizar su apreciación sobre el mejoramiento que ha tenido la IES a partir de la apropiación del concepto de la calidad. Las siguientes son las etapas aplicadas.

2.1. Caracterización de la población y muestra

La población total de la investigación estuvo conformada por 39 funcionarios, tomando para la muestra el 51% correspondiente a 20 encuestas; de las cuales se obtuvo para el auditor interno el 42% de participación y para el líder de proceso el 58%. Para ambos casos la experiencia en el cargo oscila entre los 5 y 10 años. Así mismo, la complejidad de la IES estudiada está determinada como "alta" teniendo en cuenta su tamaño (más de 500 empleados) y es de carácter público. Durante el análisis, se extrajeron los resultados con referencia al impacto de la implementación del sistema de gestión de calidad cuya línea base considera un tiempo de implementación del sistema de gestión de calidad de más de 5 años y además está certificada en la norma ISO 9001:2015.

2.2. Definición del tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva - concluyente con un enfoque cuantitativo soportado por los instrumentos de análisis. Se definen los aspectos que han impactado la calidad de la unidad de análisis (IES), a través de la implementación de un SGC a partir de la perspectiva de los auditores internos y líderes de proceso, como participantes fundamentales del proceso evolutivo de mejoramiento. Además, de forma comparativa, se conceptúa sobre las variables que intervienen en los principios de gestión y se estima el grado en el que se considera la productividad y la competitividad de la empresa.

2.3. Definición de criterios

Para definir el impacto de la implementación del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015, en la IES analizada; se tomaron los conceptos de productividad y competitividad y su relación con la efectividad de la organización a partir de la capacidad para generar valor agregado de sus actividades, procesos, productos y servicios. Al respecto, Morelos y Gazabón (2013), en su estudio sobre la incidencia de la certificación ISO 9001 en los indicadores de productividad y utilidad financiera, aseguran que los conceptos para medir el impacto están estrechamente relacionados con el desarrollo económico de la empresa, el bienestar de los individuos que la componen y su capacidad de gestión. Sila (2007) confirma el uso de diferentes indicadores para estimar los grados de competitividad y productividad en las empresas; principalmente al considerar que el impacto no está dado solo por un aspecto, sino por el conjunto de ellos. Para el presente estudio, los autores definieron los criterios teniendo en cuenta, en la Tabla 1 se puede ver un ejemplo:

- La efectividad organizacional a partir de la apropiación de los conceptos de productividad y competitividad,
- los principios de la gestión de calidad asociados a estos dos conceptos, y
- siete (7) perspectivas organizacionales (clientes, financieras, medio ambiente, innovación, talento humano, procesos, social) articuladas a los principios de gestión.

Impacto en	Principio de gestión	Perspectiva
Productividad	Enfoque en el cliente	Clientes
Competitividad	Mejora	Procesos

Tabla 1 – Criterios de impacto

A partir de esta articulación, se formularon las preguntas para ser evaluadas por el auditor interno y el líder de proceso. De esta manera, se pudo valorar el grado en el que cada perspectiva y principio de gestión ha impactado la unidad de análisis. La cobertura que se buscó con las diferentes preguntas, tiene coherencia con lo que argumentan Terlaak & King (2006) acerca de que una organización puede tener atributos deseables superiores, esté o no certificada, y que puede observarse entonces, a partir de la implementación. Para el impacto en la productividad, se formularon 23 preguntas, dentro de las cuales, 7 corresponden al principio de enfoque al cliente, y 16 al liderazgo. Para el impacto en la competitividad se formularon 23 preguntas, dentro de las cuales 7 corresponden al principio participación del personal, 11 corresponden al enfoque por procesos, la mejora continua y la toma de decisiones basada en evidencia, y finalmente, 5 corresponden a la gestión de las relaciones.

2.4. Diseño del instrumento

Se utilizó una plantilla tipo encuesta por bloques que agrupaba las diferentes preguntas teniendo en cuenta la productividad y la competitividad. El modelo para evaluar la percepción del impacto y el posterior análisis de la información, fue adaptado del estudio realizado sobre el impacto de la certificación ISO 9001 en clínicas de Cali (Colombia); en donde Osorio et al. (2015) diseñaron una escala en la que se respondía en términos de aumento o disminución sobre el elemento contenido en cada pregunta (con intervalos de 10%, tanto en incremento como en decremento), como se aprecia en la Figura 1.

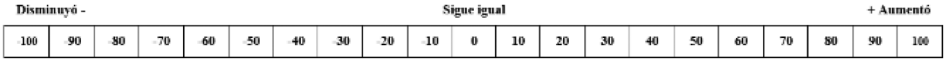


Figura 1 – Escala de respuestas

La encuesta iniciaba con el texto: “Señale en qué grado se encuentran los siguientes aspectos, una vez implementado el sistema de gestión de calidad. (Señale solo un valor)”. De las 46 preguntas formuladas, 6 hacían referencia a una disminución favorable para la empresa, por ejemplo: “1. El número de quejas y reclamos recibidos”. Adicional a las preguntas de impacto, la encuesta contó con un bloque o encabezado principal que consistió en diligenciar una serie de información para caracterizar la empresa. Gil y Paula (2001) consideran que los procesos de mejora continua, productividad e innovación deben buscar la aceptación social para afrontar los desafíos que se presentan de manera pertinente y oportuna. Estos datos, permitieron ampliar el análisis frente al comportamiento organizacional percibido teniendo en cuenta los tipos de partes interesadas que interactuaban con ella.

2.5. Validación del instrumento

Se procedió a realizar una validez de contenido a través del juicio de expertos. En tal sentido, se entregó el instrumento a un grupo de 6 personas que han ejercido o ejercen los roles seleccionados, buscando semejanzas y discrepancias sobre la interpretación de las preguntas y su coherencia con el objetivo de la encuesta. El grado de conveniencia fue satisfactorio frente a las variables evaluadas, haciendo énfasis en la reformulación de 2 preguntas cuyo resultado negativo reflejaba un impacto positivo; en tal sentido, fue necesario ampliar la definición de las mismas. Una vez aplicado el instrumento al total de expertos e indagar sobre la claridad metodológica del proceso investigativo, se constató su pertinencia para evaluar el impacto en los dos conceptos planteados.

2.6. Recopilación y análisis de los datos

Para el procesamiento de los datos, se continuó con el modelo adoptado aplicando algunas variaciones, teniendo en cuenta la cantidad de información recopilada y de personas encuestadas por cada rol analizado, ya que se entrevistó más de una persona para un mismo proceso abarcando todos los procesos institucionales. En tal sentido, el valor del impacto positivo, negativo o no hubo impacto, se obtuvo de considerar las calificaciones otorgadas al grupo de preguntas por individual y en promedio para los aspectos: Niveles valoración cualitativa, Productividad y competitividad, Principios de calidad y Perspectivas del negocio.

Siguiendo con la adaptación del modelo, el resultado del porcentaje de impacto fue obtenido de asignar una escala Likert de 1 a 7 que permitiera cuantificar la apreciación del evaluador, como se muestra a continuación, ver figura 2. La asignación de números enteros a los rangos de porcentajes facilitó el análisis de datos acerca del impacto obtenido desde el punto de vista de los encuestados. Por una parte el auditor interno es una persona que por su rol de verificador conoce ampliamente la organización y su desempeño, además se permite retroalimentar los procesos y las formas de trabajo con una orientación de mejora continua; por la otra, el líder de proceso es la persona que por sus habilidades, experiencia, formación y nivel de responsabilidad tiene la capacidad para validar, cuestionar y conceptuar sobre los niveles de desempeño, logro de metas y desarrollo de la empresa.

Cuando la disminución del indicador representa un resultado negativo

-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1			**2**			**3**			**4**			**5**			**6**			**7**		

Cuando la disminución del indicador representa un resultado positivo

-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
7			**6**			**5**			**4**			**3**			**2**			**1**		

Figura 2 – Equivalencia entre la escala de respuesta de la encuesta (porcentajes) y la escala Likert (números enteros)

Como ya se mencionó, Osorio et al. (2015) Resaltan la escala utilizada en esta fase de análisis asimilando la calificación numérica en una valoración cualitativa, esto fue pertinente para el

estudio ya que por ejemplo la agrupación de preguntas por perspectivas de direccionamiento estratégico permitió obtener resultados significativos frente al desempeño de la unidad de análisis con respecto al contexto financiero, tecnológico y social en el que se ubica. En la Tabla 2, la descripción de la escala cuantitativa y cualitativa propuesta.

Rango de calificaciones	Valoración cualitativa
1	Definitivamente ha desmejorado
1-2	Desmejoró bastante
2-3	Desmejoró
3-4	Sigue igual
4-5	Mejoró
5-6	Mejoró bastante
6-7	Definitivamente ha mejorado

Tabla 2 – Equivalencia de calificación numérica y cualitativa

3. Resultados y discusión

A continuación, se presenta el análisis de los resultados considerando el impacto a partir del rendimiento organizacional (productividad) y la capacidad de innovación (competitividad). Cabe destacar que siendo la unidad de análisis una IES, dentro de los factores de desarrollo que fueron tenidos en cuenta para el contexto de los encuestados se encuentran, la cobertura estudiantil, el desarrollo investigativo, el incremento en matriculas, la capacidad de respuesta a las necesidades de sus clientes y partes interesadas, la cualificación docente y administrativa, el crecimiento físico y tecnológico entre otros.

3.1. Impacto desde la percepción del auditor interno

Los auditores encuestados consideraron que la productividad de la institución ha mejorado en un 70,3% asociándolo a un mejor aprovechamiento de recursos, mayor cobertura y esfuerzos orientados a la innovación; mientras que la competitividad lo ha hecho en un 69% principalmente en la consolidación de procesos, aumento en la capacidad de respuesta, organización procedimental y uso de nuevas tecnologías de la información, para un impacto global del 69,67% (ver Figura 3) cuya calificación cualitativa predominante es “Definitivamente ha mejorado”.

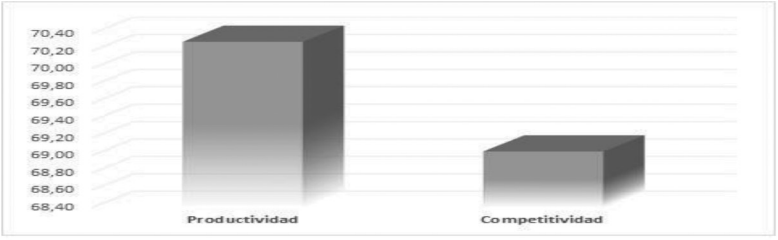


Figura 3 – Impacto desde la percepción del auditor interno

Asimismo, mencionaron que el sistema de gestión de calidad implementado ha sido fundamental en la apropiación de los principios de la calidad, donde se resaltan las interacciones positivas con las partes interesadas externas como el enfoque a clientes con un 74% y la gestión de las relaciones con un 76,8% (ver Figura 4).

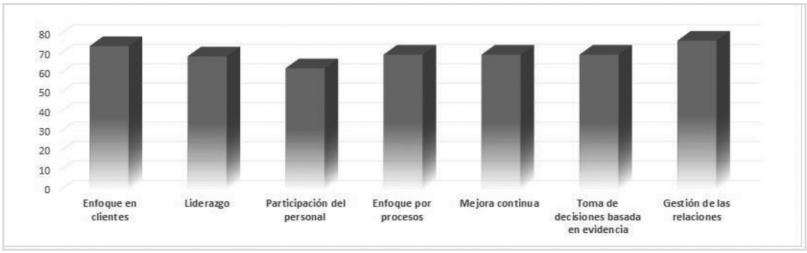


Figura 4 – Principios de calidad desde la percepción del auditor interno

Por otro lado, argumentan que el direccionamiento estratégico de la Universidad ha sido impactado en mayor proporción desde las perspectivas cliente y social por encima del 72%, mientras que la perspectiva talento humano solo alcanzó un 62,6% (ver Figura 5).

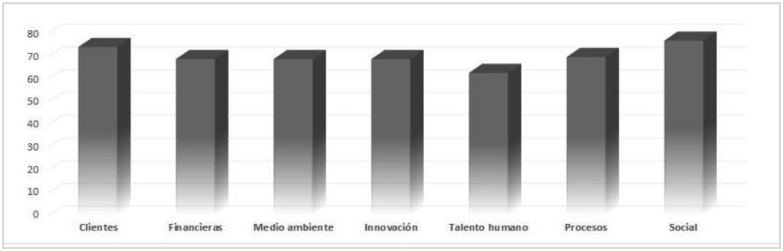


Figura 5 – Perspectivas estratégicas desde la percepción del auditor interno

El factor social es uno de los más relevantes en cuanto al impacto logrado, al respecto Rodríguez (2009), trata la influencia del entorno en el direccionamiento estratégico organizacional y la necesidad de analizar este tipo de factores que garantiza la pertinencia al contexto y el aporte social que instituciones como ésta tienen en sus funciones sustantivas.

3.2. Impacto desde la percepción del líder de proceso

Los líderes de proceso manifestaron que en cuanto a productividad y competitividad, el impacto del sistema de gestión de calidad ha sido muy similar, obteniendo un 45% y 44,3% de favorabilidad respectivamente. Su percepción además de equilibrada en el concepto cualitativo como “Mejoró”, se destacó en el principio y la perspectiva relacionada con los clientes para los cuales se otorgó un “Mejoró bastante” (ver Figura 6).

El modelo de formulación estratégica definido por Acevedo, Linares y Cachay (2010) considera el mejoramiento como el estado inicial de una organización que evoluciona

a un estado futuro a partir de su capacidad de análisis y proyección, estos niveles de mejoramiento se alcanzan mediante la madurez y conocimiento adquirido en un periodo de tiempo. Sobre los principios de gestión de calidad, el impacto más alto es del 50% para el enfoque al cliente, relacionado con la productividad en el aumento de la cobertura y para la gestión de las relaciones articulado a la competitividad institucional, para temas de participación ciudadana e impacto a la comunidad en la solución de problemas sociales; mientras que el más bajo es la participación del personal con un 40% (ver Figura 7).

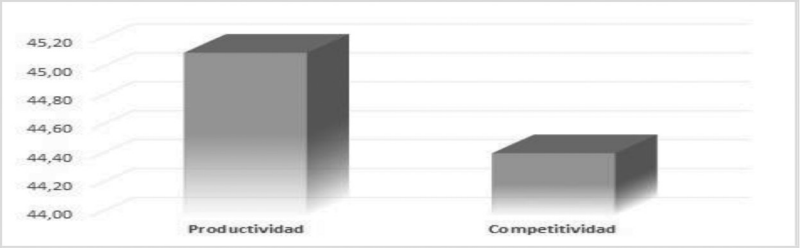


Figura 6 – Impacto desde la percepción del líder del proceso

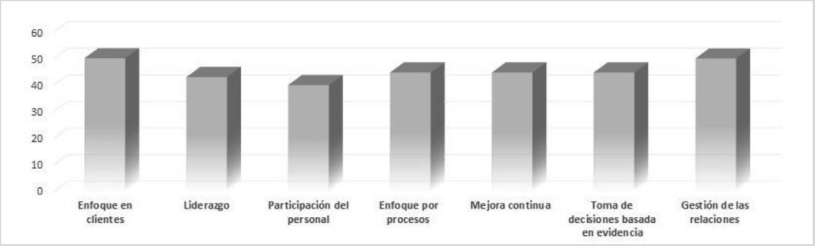


Figura 7 – Principios de calidad desde la percepción del líder de proceso

Acerca del impacto sobre el direccionamiento estratégico institucional, se observó que los líderes de proceso fueron unánimes al considerar que las perspectivas clientes, procesos y social han mejorado ostensiblemente, mientras que el talento humano no ha logrado obtener los resultados esperados con tan solo un 40% de favorabilidad (ver Figura 8). Rodríguez y Pedraja (2013), mencionan que en un direccionamiento estratégico pertinente deben considerarse las capacidades organizacionales y su evolución como un elemento que impacta fundamentalmente la calidad de las Universidades. Estos elementos deben considerarse para que el impacto se alcance de forma consolidada en este factor. Vargas y Guillén (2005) resaltan la necesidad de que se transformen los procesos de la organización mediante la innovación continua y para lograrlo es fundamental el talento humano.

3.3. Impacto organizacional desde los dos puntos de vista

Tanto los auditores internos como los líderes de proceso coinciden en el impacto positivo del sistema de gestión de la calidad en la Universidad, concediendo un 13% al concepto de “Mejoró bastante”. No se obtuvo evaluaciones por debajo del rango de mejoramiento.

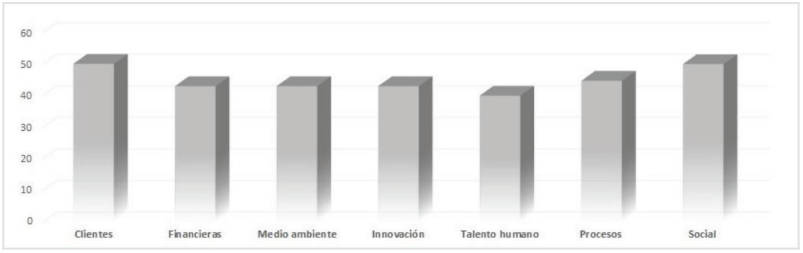


Figura 8 – Perspectivas estratégicas desde la percepción del líder de proceso

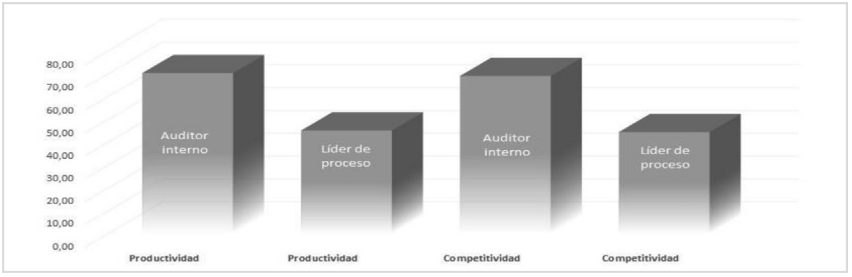


Figura 9 – Impacto desde la percepción auditor interno y líder de proceso

Los líderes de proceso consideraron que el impacto global ha sido de un 44,7%, ver figura 9. Se destacan el enfoque al cliente y la gestión de las relaciones como aquellos elementos de mayor apropiación y cambio durante los últimos años (ver Figura 10).

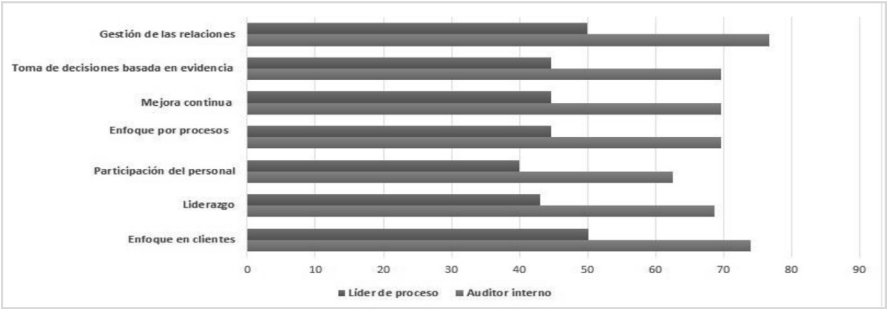


Figura 10 – Principios de la gestión de la calidad las dos percepciones

Incluso, ambos coinciden en que la participación del personal es el elemento que menos ha sido impactado por el sistema de gestión, ya que si bien ha mejorado aún persisten variables que deben ser optimizadas, principalmente en los mecanismos de selección, mejoramiento de competencias y relaciones con la alta dirección Medina-Cárdenas, Rico-Bautista y Areniz-Arévalo (2015a) y López y Vargas (2012), explican la necesidad de que la organización y objetivos estén alineados a los intereses del personal para poder

consolidarlos. Este aspecto también es compartido por Valencia (2013), ya que determina la importancia del talento humano considerando su influencia en el direccionamiento estratégico y los objetivos de la organización; este sería entonces, un principio de calidad a fortalecer dados los resultados arrojados. Por otro lado, las perspectivas estratégicas clientes y social evidencian un comportamiento similar entre ambos roles con alto impacto de favorabilidad, mientras que nuevamente se observa el talento humano en menor proporción (ver Figura 11).

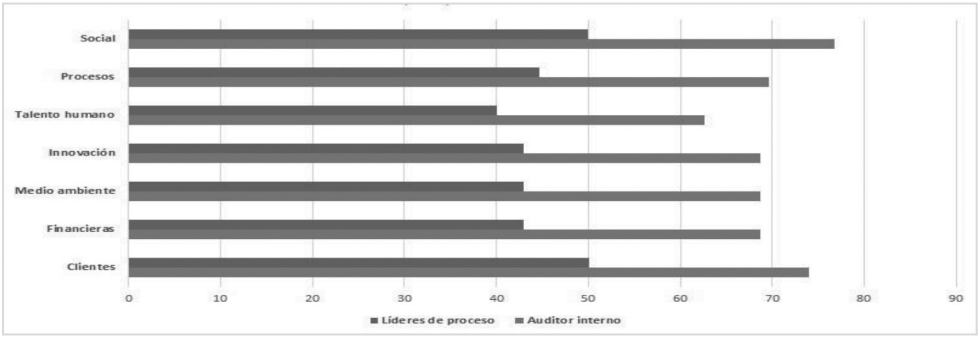


Figura 11 – Perspectivas estratégicas las dos percepciones

Se observa que la brecha entre las percepciones de estos dos roles es amplia al considerar el nivel de impacto, aunque este sea favorable en los mismos principios y perspectivas de gestión. Estas capacidades son claramente reconocidas por Contreras (2013) para quienes toman decisiones en una organización en este caso los líderes de proceso, ya que esto afecta directamente la productividad y la competitividad teniendo en cuenta que son quienes administran, asignan y gestionan todo tipo de recursos. A su vez, Zapata (2008) converge estas variables en elementos como la capacitación y formación del personal en todos sus niveles y roles para alcanzar el éxito de la organización en su desempeño, visto desde el logro de sus objetivos y metas.

4. Conclusiones

La experiencia de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña que ha implementado el sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015, puede servir de orientación para aquellas otras universidades de la región y del país que están planteándose implementar la norma o ya la tengan implementada. De esta forma, la alta dirección de estas instituciones al conocer y entender los beneficios que pueden obtener de la implementación, les servirá de base para la incorporación de un sistema de mejoramiento continuo de los procesos administrativos, que incluya elementos de evaluación, medición, documentación y control para garantizar la calidad de los servicios prestados a la academia y a la comunidad. Dentro de los resultados encontramos que los auditores internos consideraron que tanto la productividad como la competitividad han mejorado en un 70,3% y en un 69% respectivamente, lo cual se evidencia en un mejor aprovechamiento de recursos, aumento en la capacidad de respuesta, organización procedimental y uso de nuevas tecnologías de la información, entre otros (Medina-Cárdenas, Rico-Bautista y Areniz-Arévalo, 2016;

Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, y Guerrero, 2019). Del lado de los líderes de proceso, su percepción es de favorabilidad respecto a la implementación del sistema, en ellos se destacó la perspectiva relacionada con los clientes para los cuales se otorgaron un "Mejoró bastante". Tanto los auditores internos como los líderes de proceso coinciden en el impacto positivo del sistema de gestión de la calidad en la Universidad, ambos puntos de vista están de acuerdo en construir una institución que establezca relaciones cordiales con la comunidad académica, que incorpore valor agregado a la experiencia de sus estudiantes, docentes y administrativos, que disponga de los ambientes apropiados y que genere una gestión de la calidad y una consolidación de la eficacia a través de un mejoramiento continuo (Medina-Cárdenas, Rico-Bautista y Areniz-Arévalo, 2015b). En general se puede afirmar, que con base en los resultados obtenidos los beneficios percibidos por estos dos grupos de interés de la Universidad, son bien valorados, con lo que se concluye que los favores derivados de la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001 en una institución de educación superior, trascienden en el mejoramiento de los aspectos internos y además supone mejoras significativas en el desempeño de los distintos integrantes de la comunidad universitaria y de la sociedad en general. Finalmente, a manera de recomendación, se deja de manifiesto la posibilidad de ampliar esta investigación a otras instituciones de educación superior, pero además incluir a otro tipo de organizaciones que hayan implementado sistemas de gestión de calidad.

Referencias

Acevedo, A., Linares, C., y Cachay, O. (2010). Modelo de análisis y formulación estratégica. Empleando herramientas matriciales. *Industrial Data, 13*(1), 9–17.

Âlvarez, J., Fraiz, J., y Del Rìo, M. (2012). Beneficios percibidos por el sector de alojamiento turístico español de la implantación de un sistema de gestión de la calidad. *Revista Galega de Economía, 21*(2), 1–25.

Alvarez, J., Fraiz, J., y Del Río, M. (2013). Implantación de un sistema de gestión de la calidad: beneficios percibidos. *Revista Venezolana de Gerencia,* 379–407.

Benzaquende, J., y Convers, J. (2015). El ISO 9001 y TQM en las empresas de Colombia. *Globalización, Competitividad y Gobernabilidad,* 107–128.

Contreras, E. (2013). El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica. *Pensamiento y Gestión,* (35), 152–181.

Gil, A. y Paula, L. (2001). La gestión de los grupos de interes: una reflexión sobre los desafios a los que se enfrentan las empresas en la búsqueda de la sostenibilidad empresarial. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa,* 71–90.

González, J., y Pinedo, K. (2007). *Estudio de impacto de la certificación ISO 9001:2000 en el sector de la industria metalmecánica de la ciudad de Cartagena*. Cartagena: s.n.

Iñaki, H. (2009). Impacto competitivo de las herramientas para la gestión de la calidad. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa,* 7–35.

López, J., y Vargas, J. (2012). Ambiguedad organizacional en la planeación estratégica. *FACES Journal, 11*(2), 44–67.

Marín, L. (2005). *La influencia de la certificación ISO 9000 sobre los resultados: una evidencia empírica en el sector del mueble*. s.l.: s.n.

ADDIN Mendeley Bibliography CSL_BIBLIOGRAPHY Medina-Cárdenas, Y. C., y Rico-Bautista, D. (2016). Alineación estratégica bajo un enfoque organizacional de gestión tecnológica: ITIL y ISO 20000. *Tecnura, 20,* 82–94. DOI: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.SE1.a06

Medina-Cárdenas, Y., Rico-Bautista, D., y Areniz-Arévalo, Y. (2015a). La apropiación del direccionamiento estratégico: una cuestión de competencias organizacionales. *Revista Face, 15*(2), 71–80. DOI: 10.24054/01204211.v2.n2.2015.1617

Medina-Cárdenas, Y., Rico-Bautista, D., y Areniz-Arévalo, Y. (2015b). Mejoramiento continuo en la educación superior. Autoevaluación: perspectiva del estudiante. *Hojas y Hablas, 12*(1), 52–60. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6628758

Medina-Cárdenas, Y., Rico-Bautista, D., y Areniz-Arévalo, Y. (2016). *Modelo estratégico para la gestión tecnológica en la organización: plan táctico de la calidad (ITIL y ISO 20000)*. DOI: 10.22430/9789585414006

Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., y Guerrero, C. D. (2019). Smart University: A Review from the Educational and Technological View of Internet of Things. In *Information Technology and Systems Proceedings of ICITS 2019* (pp. 427–440). DOI: 10.1007/978-3-030-11890-7_42

Morelos, J. y Gazabón, F. (2013). Análisis multivariado de la productividad y rendimientos financieros de empresas industriales en Cartagena, Colombia. *Estudios gerenciales, 32*, 99–109.

Puerta, A. y Rodríguez, M. (2015). *Evaluación del impacto de la implementación del sistema de calidad certificado Wireless y Mobile*. Bogotá: s.n.

Robles, V. R. M. (2014). Estudio para la medición del impacto de la implementación de sistemas de gestión de calidad bajo el estándar NTC ISO 9001:2008 en las empresas de los diferentes sectores económicos de Barrancabermeja y su área de influencia. *Citecsa,* 9–48.

Rodríguez, A. (2009). Influencia del entorno en el desarrollo del direccionamiento estratégico. *Cuadernos de Administración,* (42), 1–18.

Rodríguez, E., y Pedraja, L. (2013). Dirección Estratégica y Calidad de las Universidades: Un estudio exploratorio desde Chile. *Interciencia, 38*(1), 35–41.

Rodríguez, F. (2012). Incidencia de la norma ISO 9000 en Colombia y en algunas empresas en el mundo. *Ciencias Estratégicas,* 149–159.

Santoyo, R. (2012). Análisis para la evaluación de la gestión de calidad en fábricas procesadoras de lácteos. In *Vestigium Ire,* pp. 27–36.

Sila, I. (2007). Examining the effects of contextual factors on TQM and performance through the lens of organizational theories: An empirical study. *Journal of Operations Management,* 83–109.

Terlaak, A., & King, A. (2006). The effect of certification with the ISO 9000 Quality Management Standard: A signaling approach. *Journal of Economics Behavior y Organization, 60,* 579–602.

Valencia, M. (2013). Generación y transferencia de conocimiento. *Ingeniería industrial, 34*(2), 178–187.

Vargas, J. y Guillén, I., 2005. Los procesos de transformación esratégica en relación con la evolución de las organizaciones. E*studios Gerenciales,* (94), 1–5.

Yzaguirre Peralta, L. E. (2005). Calidad educativa e ISO 9001-2000 en México. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 3*(1), 421–431.

Zapata, R. (2008). Lineamientos metodológicos para la formulación del plan de desarrollo estratégico y prospectivo. *Ciencias Estratégicas, 16*(19), 147–173.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/12/2018
Aceitação/Acceptance: 15/02/2019

An Approach for Trajectory Tracking Control of an Underactuated Autonomous Underwater Vehicle Considering Time Delay

Danilo G. Chavez[1], Oscar Camacho[2], José Daniel Guanoluisa[3], Hugo Leiva[4]

danilo.chavez@epn.edu.ec, oscar.camacho@epn.edu.ec, jose.guanoluisa@epn.edu.ec, hleiva@yachaytech.edu.ec

[1,2,3] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[4] Universidad Yachay Tech, 100115, Urcuquí, Ecuador.

Pages:42–55

Abstract: This paper studies the design of a Sliding Mode Controller (SMC) based on a Smith Predictor for the control of an Unmanned Underwater Vehicle (UUV) considering time delay. The study is performed by simulations using a Remote Environmental Monitoring Unit (REMUS) type submarine torpedo model. Different controllers are designed for trajectory tracking, showing the adverse effects of the time delay. In addition, the performance of the controllers is compared by means of ISE (Integral of Squared Error) index. Finally, different results are shown in the V-REP simulator, which allows the creation of several simulation environments and supports the exchange of information with different programming languages through its external Application Programming Interface (API).

Keywords: Underwater Vehicle; REMUS; delay time; SMC; Smith Projector; V-REP.

1. Introduction

The United States of America navy designed and developed the first Unmanned Underwater Vehicle (UUV) in 1958 to military applications, then in 1963 it was used for searching the USS Thresher, a nuclear submarine, and in 1966 to recover a hydrogen bomb lost at the coast of Spain. The first commercial use of the UUV started with the discovery of oil and gas fields in the North Sea. Today, it is used in exploration and inspection of submarine structures and fiber optic lines, as well as, in seabed analysis and marine environment observation. Autonomous Underwater Vehicles (AUV) are classified by their shape in: torpedo and bull's eye as the main ones. Due to advances in underwater vehicles, the Woods Hole Oceanographic Institute designed the low-cost torpedo-type vessel called REMUS (Remote Environmental Monitoring Units) to carry out different exploration, surveying and mapping tasks. These tasks require a high precision trajectory tracking. Consequently, there is a notable interest in the development of advanced control methods for movement in submersible vehicles. Although the problem of tracking trajectories in land vehicles is well studied, this does not happen in marine vehicles because for dynamics movement in water it is required

the development of robust controllers that keep the performance of the AUV in the presence of these nonlinearities. This contrasts with land vehicles, the controller is based on the vehicle kinematics, ignoring the dynamics. Underwater torpedo-type vehicles have a non-linear and coupled model which complicate the design of classic controllers. The model in 6 DOF (Degree of Freedom) can, in many cases, be divided into two noninteracting subsystems: lateral and longitudinal. This decomposition is accepted in symmetrical bodies as: airplanes, missiles, torpedoes and submarines or so-called "flying vehicles". Many systems are designed using linear reference models for trajectory generation, which implies consistency with the dynamic model of the vehicle, therefore, it is important to take into account the physical limitations of speed and acceleration, obtained from time-differentiation of a smooth time-varying trajectory ($\eta_d(t)$).

Different approaches in trajectory tracking have been studied (Fossen 1994, Repoulias & Papadopulos 2005) using several control systems such as: PID, Neural Networks (Fossen, 2012) and Sliding Mode Control (Fossen, 1994). Wen-Yan Gan et al (2017) presents an overview for six trajectory tracking control, they are: PID, Fuzzy control, adaptive control, sliding mode, backstepping and neural network control. Among the controllers mentioned, Sliding Mode Control offers several advantages when compared to traditional control schemes.

This work studies the design of a Sliding Mode Controller (SMC) based on a Smith Predictor for the control of an Unmanned Underwater Vehicle (UUV) considering time delay. In order to design the controller, a Second Order Plus Dead Time (SOPDT) model is used along the Smith Predictor (SP) scheme. To our knowledge this mixing approach using reduced order model and SP is novel in the trajectory tracking control of AUV. Besides, a fixed delay time caused by preprocessing, post processing and data transport is added for analysis.

This paper presents the following structure. Section 1 provides a brief introduction. In section 2, the equations of motion for underwater vehicles and a review about the controllers are described. Section 3 shows the development of a Sliding Mode Controller Based on a Smith Predictor. Section 4 describes the simulation results and the implementation in V-REP. Finally, section 5 presents the final comments.

2. Fundamentals

2.1. Vehicle Kinematics

The vehicle position and orientation are described with regard to the inertial reference frame, while the vehicle linear and angular speeds are expressed about to the body-fixed reference frame. Table 1 shows the Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME) notation (Fossen, 1994) that describes the vehicle movements in 6 DOF. Euler angles (ϕ, θ, ψ) were used to calculate the speeds in relation to the inertial reference frame. The following coordinate transform relates translational and rotational velocities between body-fixed and inertial coordinates.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = J_1(n_2).\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = J_2(n_2).\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (1)$$

Where $J_1(n_2)$ y $J_2(n_2)$ are transformation matrix:

$$J_1(n_2) = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & -s\psi c\theta + c\psi s\theta s\phi & s\psi s\phi + c\psi c\phi s\theta \\ s\psi c\theta & c\psi c\phi + s\phi s\theta s\psi & -c\psi s\phi + s\theta s\psi c\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix}, J_2(n_2) = \begin{bmatrix} 1 & s\phi t\theta & c\phi t\theta \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi/c\theta & c\phi/c\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

With: s= sin (.), c= cos (.), t= tan (.).

DOF	Forces and Torques	Linear & angular velocities	Position & Orientation
Motions in the x direction (surge)	*X*	*u*	*x*
Motions in the y direction (sway)	*Y*	*v*	*y*
Motions in the z direction (heave)	*Z*	*w*	*z*
Rotation about the x axis (roll)	*K*	*p*	*φ*
Rotation about the y axis (pitch)	*M*	*q*	*θ*
Rotation about the z axis (yaw)	*N*	*r*	*ψ*

Table 1 – SMAME notation for marine vessels

2.2. Vehicle Dynamics

Submarine vehicles have a coupled and non-linear dynamic model, which is difficult to obtain due to hydrodynamic coefficients. The submarine vehicle equations of motion in 6 DOFs relative to the body-fixed reference frame can be written as:

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(n) = \tau \quad (3)$$

For the analysis of underwater vehicles, the above equation can be divided into two noninteracting or lightly interacting subsystems (Fossen, 1994).

- Longitudinal subsystem: states u, w, q and θ
- Lateral subsystem: states v, p, r and ψ

This decomposition is applied for slender symmetrical bodies or so-called flying vehicles that move at low speeds (u <2.5 m / s). For simplicity, it is assumed that higher-order damping can be neglected. The dynamics becomes:

Longitudinal subsystem

$$\begin{bmatrix} \mathrm{M} - \mathrm{X}_{\dot{u}} & -\mathrm{X}_{\dot{w}} & \mathrm{mz}_g - \mathrm{X}_{\dot{q}} \\ -\mathrm{X}_{\dot{w}} & \mathrm{m} - \mathrm{Z}_{\dot{w}} & -\mathrm{mx}_g - \mathrm{Z}_{\dot{q}} \\ \mathrm{mz}_g - \mathrm{X}_{\dot{q}} & -\mathrm{mx}_g - \mathrm{Z}_{\dot{q}} & \mathrm{I}_y - M_{\dot{q}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{w} \\ \dot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(\mathrm{m} - \mathrm{X}_{\dot{u}})u \\ 0 & (\mathrm{Z}_{\dot{w}} - \mathrm{X}_{\dot{u}})u & \mathrm{mx}_g u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} -\mathrm{X}_u & -\mathrm{X}_w & -\mathrm{X}_q \\ -\mathrm{Z}_u & -\mathrm{Z}_w & -\mathrm{Z}_q \\ -\mathrm{M}_u & -\mathrm{M}_w & -\mathrm{M}_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ W\,\overline{BG_z}\sin(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_3 \\ \tau_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{prop}\mathrm{u}_p \\ Z_{\delta_s}\delta_s \\ M_{\delta_s}\delta_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

Lateral subsystem

$$\begin{bmatrix} \mathrm{m}-\mathrm{Y}_{\dot{v}} & -\mathrm{m}z_g-Y_{\dot{p}} & \mathrm{m}x_g-Y_{\dot{r}} \\ -\mathrm{m}z_g-Y_{\dot{p}} & \mathrm{I}_x-K_{\dot{p}} & -\mathrm{I}_{zx}-K_{\dot{r}} \\ \mathrm{m}x_g-Y_{\dot{r}} & -\mathrm{I}_{zx}-K_{\dot{r}} & \mathrm{I}_z-N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & (\mathrm{m}-\mathrm{X}_{\dot{u}})u \\ 0 & 0 & 0 \\ (\mathrm{X}_{\dot{u}}-\mathrm{Y}_{\dot{v}})u & 0 & \mathrm{m}x_g u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ p \\ r \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} -\mathrm{Y}_v & -\mathrm{Y}_p & -\mathrm{Y}_r \\ -\mathrm{K}_v & -\mathrm{K}_p & -\mathrm{K}_r \\ -\mathrm{N}_v & -\mathrm{N}_p & -\mathrm{N}_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ p \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ W\,\overline{BG_z}\sin(\phi) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_2 \\ \tau_4 \\ \tau_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{\delta_r}\delta_r \\ K_{prop}\mathrm{u}_p \\ N_{\delta_r}\delta_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

The force vector $\tau_{1\ldots6}$ represents the control forces, and $\mathrm{u}_p, \delta_r, \delta_s$ are the control inputs corresponding to the propeller, timon and inmersion fins respectively.

2.3. Sliding Mode Control

This control technique is oriented for complex systems that require robust controllers operating under uncertainty conditions. It eliminates the necessity of exact modeling. First, a sliding surface must be designated. Once it reaches the sliding surface, the plant dynamics are restricted due to the equations of the surface. Second, a control law must be designed to have convergence in the system. In this way, the sliding surface must be reached in a finite time (De la Cruz and Camacho, 2015). The system moving on the surface is called Sliding Mode. The following equation is called sliding condition:

$$\frac{dS(t)}{dt} = 0 \quad (6)$$

Once the sliding surface is chosen, the focus goes to the control law that leads the variable to its reference value and satisfies the sliding condition. The control law of an SMC consists of two parts: a continuous and a discontinuous part.

$$U(t) = Uc(t) + U_D(t) \quad (7)$$

The continuous part ($Uc(t)$) is a function of inputs and outputs, it is obtained by combining the model and the sliding condition (Herrera et al., 2015). On the other hand, the discontinuous part represents the non-linear part and the switching function of the control law. The discontinuous part is designed to drive the sliding variable to zero and it allows changes in the structure at an infinite hypothetical speed. In order to solve the chattering problem, approximate implementations of sliding mode control techniques have been suggested, hence the discontinuous part is replaced by a continuous smooth approximation:

$$U_D(t) = K_D \frac{S(t)}{|S(t)|+\delta} \quad (8)$$

Where K_D is the responsible for reaching the sliding surface and delta (δ) is a parameter to reduce the chattering phenomenon.

2.4. Empirical modeling of a Second Order Plus Dead Time process

There are several methods that allow obtaining first order and second order models plus dead time FOPDT and SOPDT respectively (De La Cruz and Camacho, 2015). Modeling a second order process is based on 3 points of the reaction curve for obtaining the model. The Stark method considers the points at 15% (t_{15}), 45% (t_{45}) and 75% (t_{75}) of the final value. Its identification procedure is given by:

With:

$$x = \frac{t_{45} - t_{15}}{t_{75} - t_{15}} \tag{9}$$

$$\xi = \frac{0.0805 - 5.547(0.475 - x)^2}{x - 0.356} \tag{10}$$

$$f_2(\xi) = 0.708(2.811)^2 \text{ for: } \xi \leq 1.0 \tag{11}$$

$$f_2(\xi) = 2.6\xi - 0.60 \text{ for: } \xi > 1.0 \tag{12}$$

$$\omega_n = \frac{f_2(\xi)}{t_{75} - t_{15}} \tag{13}$$

$$f_3(\xi) = 0.922(1.66)^{\xi} \tag{14}$$

$$t_0 = t_{45} - \frac{f_3(\xi)}{\omega_n} \tag{15}$$

The gain:

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{16}$$

With the above data a SOPDT model is obtained as follows:

$$G_m(s) = \frac{K_p \cdot w^2{}_n}{s^2 + 2\xi \cdot w_n s + w^2{}_n} e^{-t_0 s} \tag{17}$$

2.5. V-REP simulator

V-rep is a free robot simulator which is based on a distributed control architecture where each object or model can be individually controlled via script, ROS, BlueZero Node or a remote API client. This platform could be used for safe monitoring, hardware control, fast prototyping and verification, robotics related to education and product presentation (Coopelia, 2018).

V-rep supports many formats for the shape import with the extension OBJ.DFX, .3DS and .STL. This shape can be modeled in drawing applications like AutoCAD and SolidWorks to be imported. Moreover, V-rep is a hybrid simulator that combines kinematics and dynamics to obtain a good performance. The dynamic module allows the implementation of forces and moments and the interaction between different objects.

V-rep simulator offers a remote API allowing to control the simulation form external applications or a remote hardware. The remote API is composed approximately by one hundred functions that can be called from C/C++, Python, Java, Lua or Matlab, it works

with two separate entities that interact via communication socket (Coppelia R, 2018). The client is an application like Matlab and the server is V-REP, the communication needs an operation mode since the remote API function has to travel via socket communication to the server, and executes the task and return to the client. The operation mode works in a similar way that UDP, TCP and Broadcast protocols.

2.6. Underwater Wireless Comunication

Despite there being has been great progress in wireless communication systems for terrestrial mobile robots, there is still the need of research focused on marine wireless networks. Underwater wireless communications can enable many applications such as: environmental monitoring, oil exploration, piper monitoring, assisted navigation and mine reconnaissance. Wireless acoustic networking is the enabling technology for underwater applications that cover large distances (>100m), whereas for short distance radio and optical waves could be used (Pompilli, 2009). The unique characteristics of the underwater acoustic communication channel require new and trusted data communication protocols that overcome challenges such as:

- Propagation delay is five orders higher than in electro-magnetic terrestrial channels due to the sound speed in the water.
- Time-varying multipath and fading.
- The acoustic bandwidth depends on the transmission distance due to high environmental noise at low frequencies and high-power absorption at high frequencies (Pompilli, 2009).
- Losses of connectivity and bit error.

3. Controller Design

Figure 1 shows the system architecture in a block diagram for the xy plane and Figure 2 is the block diagram for the system in the z plane (depth).

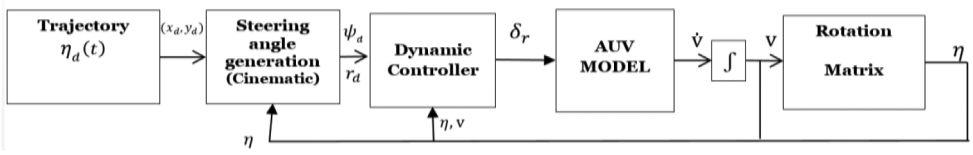


Figure 1 – System block diagram for the xy plane

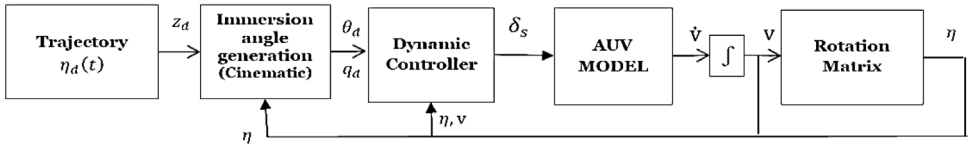


Figure 2 – Block diagram of the system for the z-plane

The controller is designed by taking into account (4) and (5) of the lateral and longitudinal systems obtaining a representation in state spaces given by:

$$\dot{x} = Ax + bu \tag{18}$$

3.1. Sliding Mode Control design for process with time delay

The analysis is based on the standard architecture of the Smith Predictor shown in Figure 3. In this way, a robust controller with the ability to compensate processes with elevated time delay can be obtained.

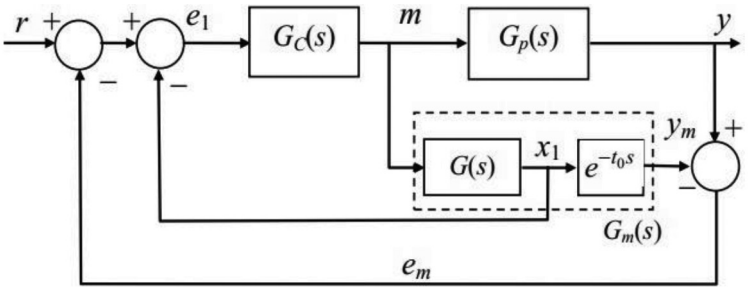


Figure 3 – Smith Predictor Block Diagram

Considering the reaction curve of the submarine vessel to a step input on the rudder fin, we have the following response in the angular velocity r to a step input in Figure 4. Based on the equations in section 2.4, the constants obtained from the process are shown in Table 2 as follows:

Parameter	Value	Units
x	0.371	meter
ξ	1.371	-
$f_2(\xi)$	2.963	-
ω_n	29.22	1/sec
t_0	0.99	sec
K	0.35	in/out

Table 2 – Values obtained from the model

The reaction curve for a step input in δ_r (rudder fin inclination) causes a constant angular velocity r, as shown in Figure 4. The Smith Predictor is applied only to the plane xy due to, the velocity and depth could be considered constants and the main problem is tracking the desired trajectory (x_d, y_d).

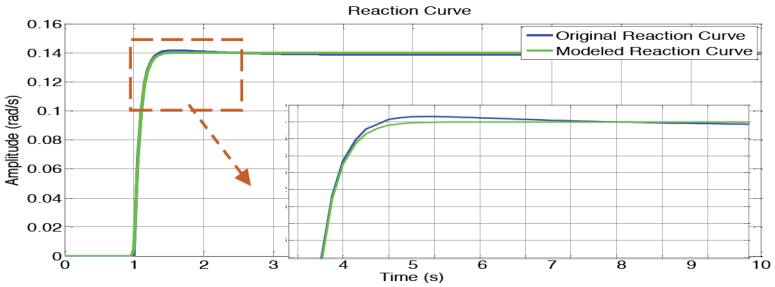


Figure 4 – Reaction curves: In blue the nonlinear AUV, in green the SOPDT.

The controller design was briefly described in section 2.3. The first part to design a SMC is the process model, therefore the modeled transfer function presented in (17) is used, as follows:

$$\frac{r(s)}{\delta_R(s)} = \frac{k}{s^2+a_1.s+a_2} \tag{19}$$

$$\ddot{r} = k\delta_r - a_1\dot{r} - a_2 r \tag{20}$$

Designing a SMC –SP

Firstly, a sliding surface is defined by:

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^n \int e(t)dt \tag{21}$$

Where n represents the order of the model, in this case 2, thus:

$$s = \dot{e} + k_1 e + k_2 \int e \tag{22}$$

Where:

$$\int e = \psi_d - \psi,\ e = r_d - r,\ \dot{e} = \dot{r}_d - \dot{r},\ \ddot{e} = \ddot{r}_d - \ddot{r} \tag{23}$$

Due to the equivalent control procedure (Herrera et al, 2015), it is obtained:

$$\dot{s} = 0 = \ddot{e} + k_1\dot{e} + k_2 e \tag{24}$$

Replacing (23) in (24) yields:

$$0 = (\ddot{r}_d - \ddot{r}) + k_1(\dot{r}_d - \dot{r}) + k_2(r_d - r) \tag{25}$$

Substituting the model equation obtained from the design (20) in (25), it becomes:

$$(\ddot{r}_d - (k\delta_r - a_1\dot{r} - a_2 r)) + k_1(\dot{r}_d - \dot{r}) + k_2(r_d - r) = 0 \tag{26}$$

Taking into consideration that $\ddot{r}_d = 0$ and $k_1 = a_1$, it's obtained the continuos part of the controller, it is given by:

$$U_C = \delta_r = \frac{1}{k}(k_1\dot{r}_d + a_2 r + k_2(r_d - r)) \tag{27}$$

The discontinuous function U_D was defined in (8), consequently the complete control law is as follows:

$$U = \delta_r = \frac{1}{k}(k_1\dot{r}_d + a_2 r + k_2(r_d - r)) + K_D\frac{S(t)}{|S(t)|+\delta} \tag{28}$$

To assure a critically or over damped sliding surface $k_2 \leq a_2$ and $k_1 \leq a_1$. For the simulation is assumed that $k_1 = a_1$ and $k_2 \approx a_2$.

Speed subsystem

Similarly, for the speed system, neglecting the interactions of *v, w, p, q* and *r*, therefore, the speed equation can be written as follows:

$$(m - X_{\dot{u}})\dot{u} + X_u u = \tau \tag{29}$$

Clear $\dot{u}$ and get:

$$\dot{u} = a_1 u + b_2 \tau \tag{30}$$

Where the controlled output is the velocity u and the control input is τ (propeller force). A PI controller is taken as a sliding surface to suppress the position error:

$$s = k_p e + k_i \int_0^t e\, dt \tag{31}$$

Where

$$e = u_d - u, \tag{32}$$

Bearing in mind the Sliding condition and $\dot{u}_d = 0$:

$$0 = k_p\dot{e} + k_i e \tag{33}$$

$$0 = k_p(-\dot{u}) + k_i(u_d - u) \tag{34}$$

Replace (30) in (34):

$$0 = k_p(-a_1 u - b_2 \tau) + k_i(u_d - u) \tag{35}$$

Clear τ and get:

$$\tau = c_2 u + c_3(u_d - u) \tag{36}$$

Where $c_{1.2.3}$ are constants obtained from the speed model, getting the control law as follows:

$$U = c_2 u + c_3(u_d - u) + \frac{S(t)}{|S(t)| + \delta} \tag{37}$$

Depth control is designed in a similar way.

3.2. 3D Implementation

In order to implement a visual model, SolidWorks, 3D graphical program is selected due to its tools and options to design different and complex shapes. First, it is necessary the vehicle hull shape to be implemented according to Table 3, the hull shape implemented in the graphical program is shown in Figure 11.

Parameter	Value	Units	Description
a	+1.91e-01	*m*	Nose length
a_{offset}	+1.65e-02	*m*	Nose offset
b	+6.54e-01	*m*	Center length
c	+5.41e-01	*m*	Tail Length
c_{offset}	+3.68e-02	*m*	Tail offset
θ	+4.36e-01	*rad*	Tail angle
d	+1.91e-01	*m*	Diameter
l	+1.33e+00	*m*	Total length

Table 3 – Remus hull parameters (Prestero, 2001)

4. Results

Underwater vehicles have considerable time delays in the communications channel, because the environment in which they are surrounded is water, making communication with these vehicles a real challenge. The trajectories are considered with a time delay of 0.5 second in sending and receiving data from the vehicle. Two types of trajectories are presented: linear and curved, to observe the performance of the different controllers (SMC and SMC + SP). Also the implementation in V-REP is presented. V-REP is used to

watch the UAV movements. The results obtained in Matlab will be transferred to V-REP by means of the remote API functions.

4.1. Linear Trajectory

It is considered a triangular trajectory as seen in Figure 5. Each triangle side has a simulation time of 200 seconds, it is considered a reference speed $u = 0.7\ m/s$ and a constant depth of 25 meters. The tracking involves both the speed control and the steering angle, which drastically changes at the corners of the trajectory, the vehicle is submitted to a constant lateral disturbance.

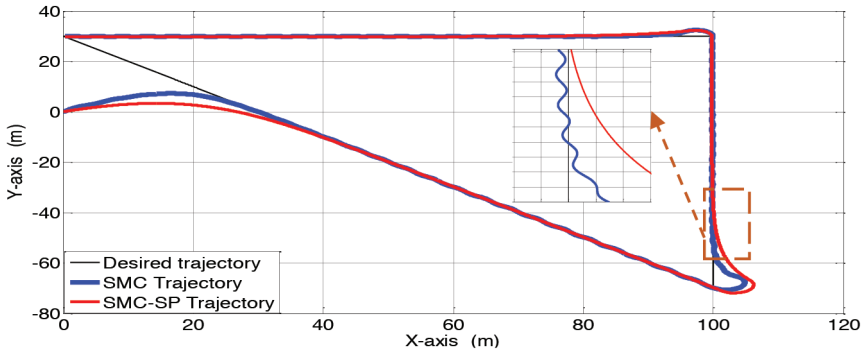


Figure 5 – Triangular trajectory, in blue the SMC controller and red the SMC-SP controller

The orientation angle in yaw (ψ) is shown in Figure 6 for a SMC controller and the SMC-SP controller, the speed control is shown in section 3.1.

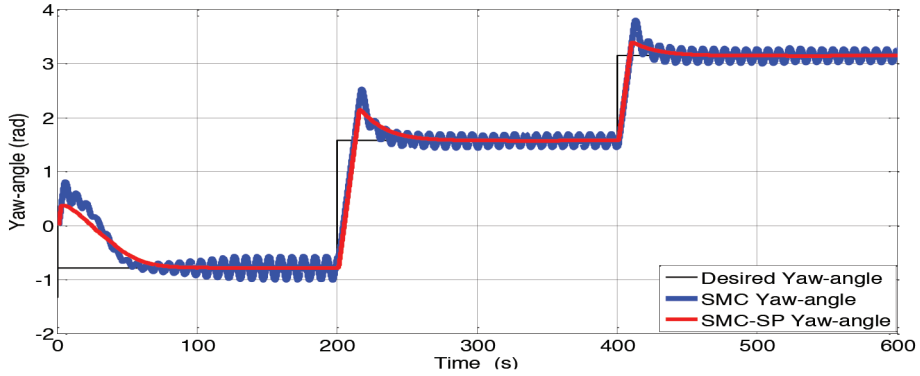


Figure 6 – *Angle in Yaw (ψ), in Blue SMC and in red SMC-SP.*

The controller performance is analyzed based on the ISE parameter shown in Table 4.

Despite of the controller, without a time delay compensation, presents oscillations as shown in Figure 6, tis scheme is able to follow the desired trajectory, but the actuator could be affected due to these oscillations.

Controller	ISE for X-Y axis	ISE for Yaw angle
SMC	*1.4234e+04*	*88.2001*
SMC-SP	*1.8801e+04*	*69.7201*

Table 4 – Values of ISE for lineal trajectory

4.2. Curve trajectory

A curved sinusoidal trajectory parameterized in time is taken as reference:

$$x = 30 * wt \qquad y = 35 * \cos(wt) \tag{38}$$

Similarly, the speed is calculated based on the derivatives of the previous equation ($\dot{x}$,$\dot{y}$). Figure 7 shows the sinusoidal path to follow of the 2 controllers.

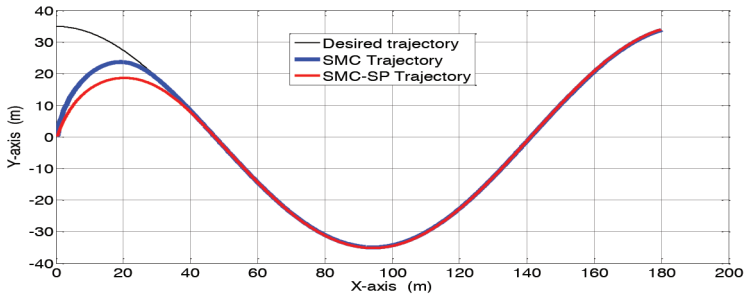


Figure 7 – Sinusoidal trajectory, in blue the SMC controller and in red the SMC-SP controller

The vehicle starts at a position (0, 0), its steering angle varies according to the trajectory. The control signal is the tilt of the rudder fin; this signal is shown in Figure 8.

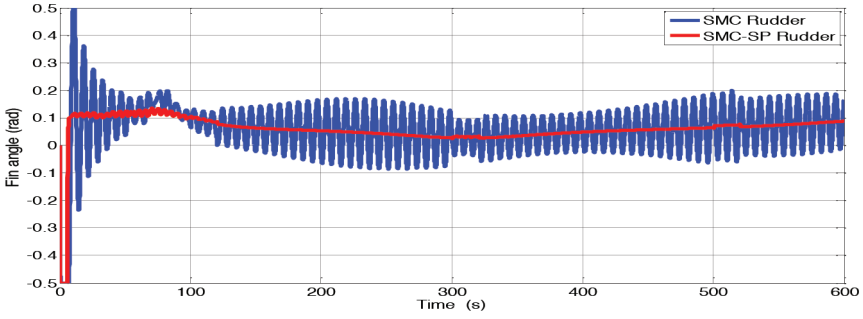


Figure 8 – Fin angle obtained from the controllers

The controller performance is analyzed based on ISE parameter shown in Table 5.

Controller	ISE for X-Y axis	ISE for Yaw angle
SMC	*3.3189e+04*	*115.9601*
SMC-SP	*3.6584e+04*	*86.2361*

Table 5 – Values of ISE for curve trajectory

In a similar way to the linear trajectory case, the SMC controller without a compensation time delay scheme could track the trajectory, but as it is shown in the Figure 8 the controller output is an oscillating signal that could damage the fins, in the other hand, the controller signal for the SMC-SP controller is smooth.

4.3. V-REP implementation

The simulation is performed in both Matlab and V-REP environment. V-REP is used to watch the vehicle movements and Matlab to implement the model and controllers. The simulator allows the introduction of external models in different formats such as:*. obj, *.dxf and *.stl. The graphical application SolidWorks allows to export files in many formats including DXF and STL.

The results obtained in Matlab will be transferred to V-REP by means of the remote API functions. Matlab transfers the positions and the orientation angles obtained from the simulation in Simulink as shown in Figure 9.

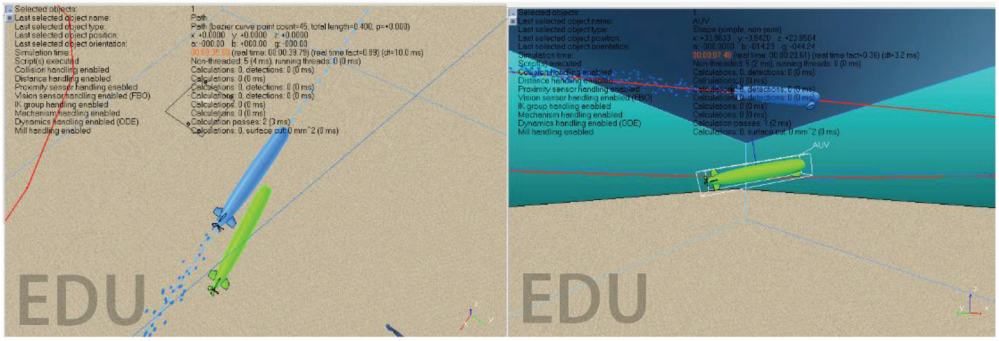


Figure 9 – Blue vehicle represents the desired position and orientation; the green vehicle represents the AUV designed

5. Final comments

In this paper, time delays in the control loop for an AUV are considered. The performance of the SMC controllers was shown for tracking different trajectories considering periodic and constant disturbances of marine currents. Even though the SMC controller without a compensation scheme shows better performance indices for the x-y axes, this controller revealed an oscillating behavior in the presence of time delay. The SMC-SP scheme anticipates the behavior of the plant, avoiding the large oscillations in the control signal protecting the actuators from the fins.

The AUV was implemented, on the V-REP environment, including the propeller and fins movement. The desired trajectory was represented showing how the controllers track the desired trajectory.

Acknowledgements

Authors thank to Robotic and Intelligent Systems Laboratory (LARSI) of EPN for its sponsorship in this work. DC and OC thank to projects PIJ 17-10, PIS-17-04 and PIS-17-05 of EPN for their support in this work.

References

Coppelia, R. (2018). V-REP. *Coppelia Robotics GmbH*. Retrieved from http://www.coppeliarobotics.com/index.html.

De la Cruz, F., and Camacho, O. (2015). Controlador de Modos Deslizantes basado en Predictor de Smith y Modelo de Segundo Orden para Procesos con Elevado Retardo, *Revista Politécnica*, *35*, 18–24

Fossen, T. *(1994). Guidance and Control of Ocean Vehicles*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons. New York

Fossen, T. *(2012). Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons. New York

Gan, W-Y., Zhu, D-Q., Xu, W-L., & Sun, B. (2017). Survey of Trajectory Tracking control of Autonomus Underwater vehicles. Journal of Marine Science and Technology, *25*(6) 722–731. DOI: 10.6119/JMST-017-1226-13.

Herrera, M., Gómez, A., Chamorro, W., & Camacho, O. (2015). Sliding Mode Control: An approach to Control a Quadrotor, *Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Enginnering*, 314–319

Pompilli, D. (2009). Overview of Networking Protocols for Underwater Wireless Communication. *IEEE Communications Magazine*, *47*, 97–102.

Prestero, T. (2001). *Verification of a Six-Degre of Freedom Simulation Model for the Remus Autonomous Underwater Vehicle*. M.S thesis. Boston: Massachusetts Institute of Technology.

Repoulias, F., Papadopoulos, E. (2005). Trajectory Planning and Tracking Control of Underactuated AUVs. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, *1*, 1610–1615.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 16/11/2018
Aceitação/Acceptance: 09/01/2019

Low Cost Outdoors Climate Monitoring Network Using Zigbee Wireless Technology

Alirio Gutierrez[1], Nathalia Herrera[2], Laura Castro[3], Juan M. Fernandez[4], Felipe Rojas Rodas[5]

agutierrez@uco.edu.co, nherrera@uco.edu.co, cslauris12@gmail.com, juanmanuel.zoo@outlook.com, felipe-r@hotmail.es

[12,3,4,5] Universidad Católica de Oriente, 054040, Rionegro, Colombia.

Pages: 56–68

Abstract: Global warming probably will be the most challenging change we have to face after the dinosaur extinction and is going to change the way we live. Getting real time climate data is necessary to make decisions and diminish the negative effects of climate change. In this experiment, we constructed a climate monitoring network using ZigBee wireless technology. Six ZigBee devices (E1, E2, E3, E4, E5, and E6) and a Gateway were placed outdoors at Universidad Católica de Oriente (UCO) during a year, to measure the climate variables temperature, relative humidity and luminosity. Results did not show statistical differences between E2, E4, and E4, E6 for temperature; and E5, E4, and E2, E1 for humidity, and showed differences between E1, E3, E5, E6; and E3, E6 for the same parameters ($p<0.05$). Nevertheless, all the devices showed significant statistical differences with control station type Davis C1. In conclusion, this ZigBee network showed to be an effective system to sense and broadcast real time climate data, durable in the long term for outdoors purposes, and the price was a fraction, if the network was constructed with commercial weather stations.

Keywords: ZigBee technology, climate change, wireless communication, essential climate variables, microclimate

1. Introduction

Global climate is changing and finally the scientific community have a high confidence that global temperature will continue to rise for the decade to come. According to the Fourth National Climate Assesment Report, Wuebbles et al, (2017) global climate is projected to continue increasing over this century and beyond. Air temperature will change and will not be uniform or smooth anymore, different models predict a global rise of 5°C by the end of the century. Frost-free season will be lengthened, affecting ecosystems and agriculture. Patterns in precipitation will change, increasing heavy precipitation events; more droughts and heat waves are expected to occur, increasing temperatures during summer. Hurricanes will become stronger and more intense. Sea level will rise 1-4 feet by year 2100, high tides could combine with high sea level to increase flooding in many regions. Moreover, the Artic region is expected to become ice-free during summer season, before mid-century (Wuebbles et al, 2017, Reidmiller et al,

2018). These changes are going to modify the way we live. In this sense, acquisition and analysis of real time weather data are important to make early decisions and prevent the destructive effects of climate change.

Different technologies have been utilized to obtain meteorological data. Satellite and Doppler radar technologies, radiosondes, automated surface observing systems (ASOS), automatic weather stations (AWS) and geographical information system (GIS) count for the most commonly used (World Meteorological Organization, 2002; Eden, 2009). These technologies have some limitations, poor geographical distribution, giving incomplete weather information; are not customizable, being sold as a closed product; static computer interface for data visualization or manipulation that not allow communication with different software; and high price according to the system complexity.

Wireless sensor networks (WSN) could help to improve these limitations. Currently three standard technologies are available for WSN, Wi-Fi, Bluetooth and Zigbee (Ruiz-Garcia et al., 2009; Chen & Chang, 2012). These technologies belong to 802.15 protocols and have some similarities and differences. All of them operate within the Industrial Scientific and Medical (ISM) band of 2.4 GHz, which provides license free operations, huge spectrum allocation and worldwide compatibility. However, transmission distance is different, in Bluetooth and WiFi is less than 0.1km and Zigbee between 0.1 and 1.5km, maximum nodes in Bluetooth is 8, WiFi 32 and ZigBee 65536, power consumption of Bluetooth and Wifi is high and ZigBee is low, as well as price (Chen & Chang, 2012). In this sense, ZigBee technology could be more convenient when stablishing a weather WSN.

ZigBee technology is a bidirectional wireless communication technology of short distance, low complexity, low cost, long range, low power consumption, and low data rate, mainly used in automatic control (Chen & Chang, 2012). In 1998, different technology companies got gather to develop the communication standard of ZigBee, and was published in IEEE, 2003. The ZigBee standard is built on top of the IEEE 802.15.4 standard. The IEEE 802.15.4 standard defines the physical and MAC (Medium Access Control) layers for low-rate wireless personal area networks. The physical layer supports three frequency bands with different gross data rates: 2,450 MHz (250 kbs^{-1}), 915 MHz (40 kbs^{-1}) and 868 MHz (20 kbs^{-1}) (Ruiz-García et al., 2009; Rohitha et al., 2012; Kulkarni et al., 2014; Chavan & Karande, 2014; Zhu et al., 2014). There are several reasons to use ZigBee technology, reliable and self-healing, supports large number of nodes, easy to deploy, long battery life, secure and low cost, can be used worldwide, open standard protocol, chipsets available for multiple sources, remotely upgradeable firmware, low maintenance (Jah & Gupta, 2015). Additionally, ZigBee technology supports star, cluster tree and mesh network architectures, and supports complex network topologies making possible the communication between nodes by different routes (Chen & Chang, 2012; Yadav et al., 2014; Jah & Gupta, 2015).

This technology has been used to monitor weather variables. Wang, (2013) and Zhu, (2014) developed an environmental monitoring system based on ZigBee wireless sensors; Chavan & Karande, (2014) used ZigBee technology to monitor soil moisture, temperature and humidity in crops fields; Badgi & Dawande, (2014) measured the climatic parameters temperature, light and humidity under greenhouse; Nivethitha and Karthiga, (2016) using satellite ZigBee technology, designed a Mobile App for flooding episodes. However, most of the applications remain in monitoring indoors environments

or under greenhouse, during short periods. In this study, we constructed an outdoors climate network using ZigBee devices to monitor the essential climate variables, temperature, humidity and luminosity. The devices were placed at six different zones of UCO, in order to evaluate if ZigBee technology could sense and broadcast reliable climate data during a long period (one year), if data obtained could be comparable with a control station of the National Climate Monitoring Network of Colombia (NCMNC), and determine if the network could be cost effective when compared with networks assembled with commercial models.

2. Hardware characteristics

The Hardware used in this research, consisted of a Zigbee module, a rechargeable battery, a dipole antenna, and climatologic sensor. A detailed description of the components is described below.

1. ZigBee module

   An XBee Pro 900HP SB3 DigiMesh module was used. The module has a high power to transmit and receive data, and interconnection capacity. This module, at the date, is one of the best in the market, in terms of connectivity between long-range devices. The power is up to 250mW and can reach distances of 14.4km, with wireless antenna dipole of 2.1 dB, and 45 km with high gain wireless antenna. Main characteristics of ZigBee module assembly are shown in Table 1.

Devices for assembling	
Microcontroller	Portal B
Atmel ATmega 328 P	6 usable pins
8-bit AVR CPU	'Digital' Port -> only binary 3 can be PWM
RISC instruction set (assembly)	Port C
32KB of program memory	6 usable pins
20 MHz max. Freq. (Usually 16 MHz)	'Analog' Port -> can writw/read
Peripherals	Voltajes ranging fron 0V-3.3V
Timers, Counters, Watch dog	Portal D
6 PWM Channels	8 usuable pins
Serial USART	Digital
SPI/I2 communication	3 can be PWM
Analog-to-Digital Converter (ADC)	ZigBee code* (presented as supplementary material)

Table 1 – ZigBee assembling characteristics

2. Antenna: A dipole antenna was used to reception and signal broadcasting. This component was bidirectional, the frequency of operation is between 2.4 -5GHz for wireless networks, was compatible with wireless devices, and had a coverage angle of 360°. Additionally, the antenna had an optimal gain of 2dBi, a voltage in

radio waves of 1.9 max, polarization in vertical line, and impendency of 50ohms, was omnidirectional and connector SMA inverse.

3. Battery: A rechargeable battery was used as energy source. The energy of the module depended totally of solar energy. Due to Colombia is a tropical country, solar energy was enough to recharge the battery and make work all the circuit for 24 hours. The charging time was about four hours when the sky was clear without clouds, and 8 hours with cloudy or foggy days. Two solar panels of 15cm high x 10cm wide, were used to collect the energy from the sun and transferred to the rechargeable battery, where was transformed to electric energy. Other characteristics of the battery were, tension of 1.2, the charging time was between 2-4 hours, autodischarge per month was 20% and the capacity by size was between 60-120Wh/kg
4. Sensor node: A wireless sensor DHT22 was used to measure the climatologic variables temperature and humidity. The characteristics of the climatology sensor included, low cost, 3 to 5V power and I/O, 2.5mA max current use during conversion (while requesting data), 0-100% humidity readings with 2-5% accuracy, -40 to 80°C temperature readings ±0.5°C accuracy, 0.5 Hz sampling rate (once every 2 seconds), Body size 27mm x 59mm x 13.5mm (1.05" x 2.32" x 0.53"), Weight 2.4g. The implementation code is shown as supplemental material.
5. Zigbee devices assemblage: All the module components were assembled into a plastic case and installed into an iron box on the terrain. The plastic case contained the Zigbee module, antenna and battery, had dimension of 10cm x 10cm; and was installed into the iron box to protect the module from directly sunlight, storms, strong winds or animals. Only the sensor was in direct contact with the environment. On the other hand, the iron box, had dimensions of 26 x 20 cm, metallic roof, and was open at two sides to avoid internal heat or communication interference. Additional, had a 2m stick to install on the terrain. On the roof, the solar panels were installed and connected to the module. All the iron boxes were installed at sightline, at 1.50m from the soil surface and in the direction East to West to directly collect the sun light and avoid shadows on the sensor. Figure 1 shows a description of the Zigbee devices used in this experiment.

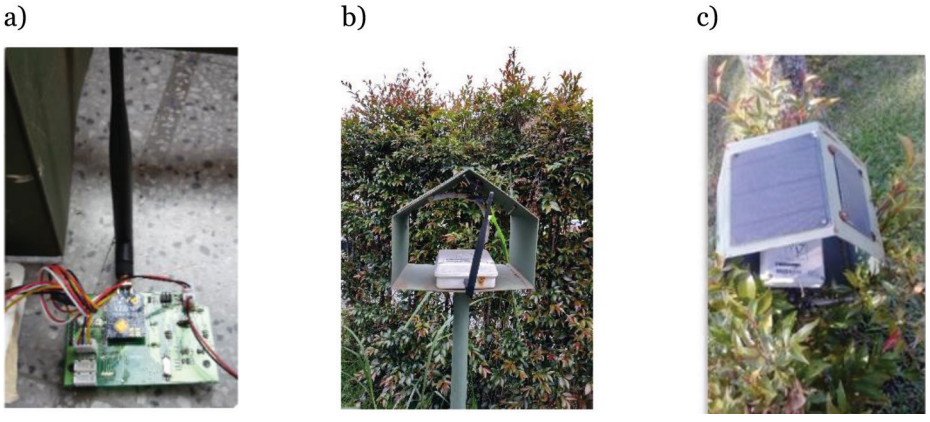


Figure 1 – Device of sending and receiving data with ZigBee technology: a) ZigBee module, board and antenna arrangement; b) ZigBee device into the plastic and metallic cases; c) Solar panel installed on the roof of the metallic case

6. Energy flow: Energy flow starts with the transference of solar energy to the lithium battery; from there the energy feeds all the system. A voltage regulator controls the electric charge to the circuit keeping a stable voltage to avoid electronic components to get burn. In Figure 2, a description of the energy flow is presented.

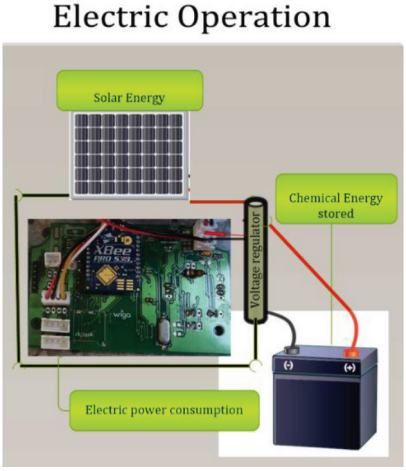


Figure 2 – Operating diagram of the device Battery and energy flow. Three main steps compose the energy flow, solar energy, chemical energy and electric consumption. The energy was enough to keep device operation for 24 hours.

7. Gateway: The gateway was used to collect, store, manage and visualize the data transferred by the Zigbee devices. The gateway was composed by two components, an external antenna to receive all the data emitted from the Zigbee devices; and a tablet (Samsung SM-T113) to manage, store, and display, raw data, graphics and alarms. All the information was stored at the tablet, the cloud and university server. The tablet was placed into an electric box at the Electronics Laboratory of the university. Figure 3 shows the gateway configuration.



Figure 3 – Gateway configuration. An external antenna and a tablet composed the gateway. The tablet was installed into an electric box for security

3. Climatology device operation

3.1. Description of communication network of climate variables

A telecommunication network was used to measure climate variables. Six Zigbee devices placed outdoors at Universidad Católica de Oriente (UCO) integrated the network. The devices were identical (replicates) and called E1, E2, E3, E4, E5, E6. Were placed at sight line at a distance between 500 and 600 meters each, and 1.5m above the terrain, generating a network to measure outdoors weather variables into de university campus. The devices measured the variables temperature, relative humidity and luminosity, hourly during the whole year 2016 (year of El Niño phenomena). Figure 4 shows the localization of devices and characteristics of the influence area. All the information was unicasted from one device to another and sent to the Gateway to be displayed and stored at the cloud. Finally, the environmental data obtained from replicates were analyzed using the statistical software Rproject i386 3.5.1 through the Rstudio interface version 3.4.3



Figure 4 – Zigbee network for climate variables. The map indicate the exactly place of ZigBee devices and Gateway; X, Y-axis correspond to coordinate system Bogotá UTM zone, transverse Mercator projections, Bogotá Datum. Satellite image of Google Earth 2016

Topology

In this experiment, a topology network type mesh was used. This topology transmit data through any path on the network between the coordinator and a final device. Any ZigBee device is able to find connection with other of the network, without passing through the coordinator device (Getaway). This mesh topology promotes the contingence, when a ZigBee device suffer a failure the system can keep working with another device from the network, called dynamic routing of data. This characteristic is desirable when capturing environmental data, due to strong climate conditions could offline one or more devices.

Data management platform

A graphical user interface (GIU) was implemented to visualize environmental data captured and transmitted by Zigbee nodes. GIU was constructed to visualize the environmental variables temperature, luminosity and humidity, broadcasted by Zigbee

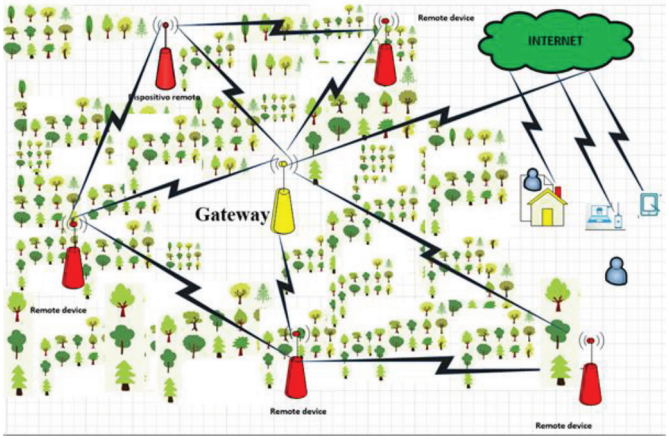


Figure 5 – Topology of the ZigBee climate network. In the figure, all the devices were connected and sent the climatic data to the Gateway in all the ways.

nodes in real time. GIU allowed graphical monitoring of data, compare and predict the environmental information, generate graphics for maximums and minimums, statistical means and averages, elaborate tendencies and set environmental alarms. The information could be accessed 24/7. GIU for temperature is shown in Figure 6.

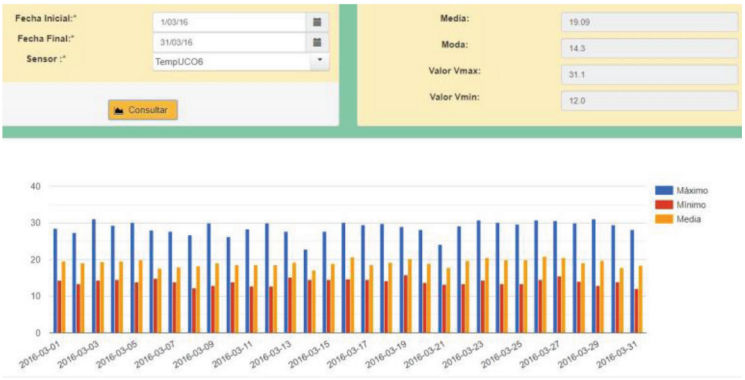


Figure 6 – GIU for temperature. The graphic shows the temperature pattern with maximum, minimum and mean. X axis indicates the time in days, and the Y axis the temperature in Celsius degrees

4. Results and discussion

ZigBee network used in this study showed to be a heavy duty outdoor climate monitoring system. ZigBee devices tolerated outdoor weather conditions, the installed solar energy system feed the devices and kept them online, allowing sensing and broadcasting data continuously. Besides, the Gateway uploaded uninterrupted climate data to the cloud during all the experimentation time.

A total of 89127 environmental data of temperature, humidity and luminosity were captured after one year of measurements. Temperature and humidity data were analyzed using ANOVA and Tukey test, and compared with an automatic climate station type Davis located at Universidad Católica de Oriente, used as control (C1). This climatic station was part of NCMNC, and data was supplied by Corporación Autonoma Regional del Rionegro y Nare CORNARE – Ministry of Environment and Social Development of Colombia.

Statistical analysis for temperature did not show significant differences between ZigBee devices E2, E4, and E4, E6, indicating similar environmental conditions at those places at the university campus. On the contrary, ZigBee devices E1, E3, E5, E6 showed significant differences ($p<0.05$) in temperature, indicating differences in the environmental conditions. Additionally, all ZigBee devices showed significant differences in temperature when compare with control station C1 ($p<0.05$). Lower temperature of 17°C corresponded to the control station C1, and the highest temperature of 21°C for E3. Figure 7 shows the mean temperature calculated for all the ZigBee devices.

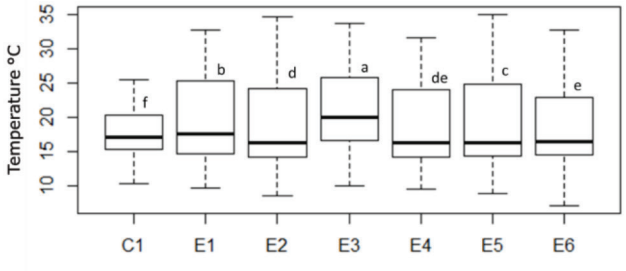


Figure 7 – Temperature analysis. The boxes indicate the mean temperature measured by the Zigbee network and control station C1, after a one year of measurements at Universidad Católica de Oriente. Different letters indicate significant statistical differences between stations ($p<0.05$) for ANOVA and Tukey test.

In the case of relative humidity, devices E5, E4, and E2, E1, did not showed statistical differences between them, and showed differences when compared with devices E3, E6 ($p<0.05$). These two lasts corresponded to the same devices with differences in temperature. Additionally, all ZigBee devices showed significant statistical difference in humidity when compared with control station C1 ($p<0.05$). The lowest mean was obtained at device E3 (72.53%), and the highest mean at station C1 (82.81%). Figure 8 shows the mean humidity calculated for all the Zigbee devices.

As for luminosity, ZigBee devices obtained data during all the experiment time. Unfortunately, data could not be compared with control C1, due to the lack of sensor.

Differences in temperature and humidity indicated places with different environmental conditions. At UCO campus, land coverages are diverse, near E6 and E5 there is the influence of a forest, E4 is near a greenhouse, and E3, E2, E1 and C1 are close to parking

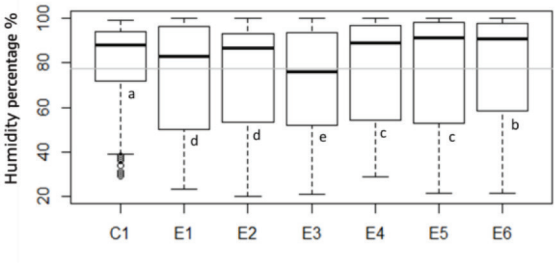


Figure 8 – Humidity analysis. Boxes indicate average humidity captured by Zigbee devices and control climate station C1. Different letters indicate significant statistical differences between stations ($p<0.05$) for ANOVA and Tukey test

lots, and buildings. These geographical distributions can be seen in the map of figure 4. This diversity in land coverage is common in tropical countries and could change the temperature and humidity conditions in short distances (Akinbode, 2008). In addition, the variables temperature and humidity are used to determine urban heat islands, land use changes, vegetation covers, change in the biodiversity and thermal comfort (Akinbode, 2008; Procházka 2011; Águila, 2017). Real time measurement of these climate variables could help analyzing the above phenomena at UCO and emit early warnings of climate change.

Unfortunately, the temperature and humidity data obtained by ZigBee devices, could not be validated with control station C1. The differences in temperature and humidity between ZigBee devices and control station C1 could be explained by different reasons: (i) control station C1 was localized at the top of a building, at 5m above the terrain, different to the 1.5m of ZigBee devices; (ii) differences in topography and land coverage could influence local environmental variables, as described above. Additionally, UCO is not flat, there is a difference of 22 m.a.s.l in height, between Gateway and E1. However, even though ZigBee climate data could not be validated with control station C1, all the data fit with the historical annual average temperature and humidity range, stablished by NCMNC - Corporación Autonoma Regional del Rionegro y Nare CORNARE – Ministry of Environment and Social Development of Colombia, for that area of the country. Further studies might be directed to validate ZigBee climate data with commercial climatic stations at ground level.

On the other hand, E3 device showed the higher temperature and luminosity (data not shown), but the lower humidity of all ZigBee devices. These results are coherent with other ZigBee devices that registered lower temperatures and higher humidities, and with the thermal sensation expressed by different people at that point of the university campus. We hypothesize that at this site, land covers, building architecture and air flow conditions, might induce a microclimate into the university campus. Different studies suggest the presence of this phenomena in different university campus around the world (Yasa, 2017; Schroth and Ju, 2016; Lung-R et al., 2009; Wong and Jusuf, 2007).

5. Conclusions

The Zigbee climate network designed for this study, demonstrated to be a heavy duty monitoring system and was capable of successfully measuring the atmospheric outdoors variables temperature, humidity and luminosity at UCO campus during a long period of time. ZigBee network sensed and broadcasted data continually without data lose during a year of experimentation. Climate data obtained was consistent in the time and showed statistical differences between several ZigBee devices, derived from geographical location, vegetation coverage and land uses. These data could be used to determine urban heat islands, land use changes, vegetation covers, change in the biodiversity and thermal comfort at UCO. Unfortunately, ZigBee devices showed significant differences with control station C1 and data could no be validated with NCMNC. In this sense, more studies should be performed to validate climatic data with ground level commercial stations. Finally, total cost of this climatic network was $3.300US dollar, a quarter of the price, if the climatic network were installed using Davis stations ($2000 US dollar/each).

Acknowledgments: *The authors are thankful with the editorial committee and the two blind referees who helped to improve this paper. Also, with the Research and Development Division of Universidad Católica de Oriente, for partially funding this research. And, the Corporación Autonoma Regional del Rionegro y Nare CORNARE – Ministry of Environment and Social Development of Colombia for supply the environmental data.*

References

Águila, C., Larrucea, E., y Carpio, M. (2017). Análisis de las condiciones de confort en aulas de nivel universitario: Caso de estudio campus Miraflores, Universidad Austral de Chile. *Revista Síntesis Tecnológica, 7*(1), 39–50.

Akinbodea, O. M., Eludoyinb, A. O., & Fashae, O. A. (2008). Temperature and relative humidity distributions in a medium-sizeadministrative town in southwest Nigeria. *Journal of Environmental Management, 87*, 95–105.

Badgi, S. S., & Dawande, N. A. (2014). Autonomous Environmental Parameters Monitoring System Using ZigBee. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering &Technology (IJARCET), 3*(10), 3339–3342.

Chavan, C. H., & Karande, P. V. (2014). Wireless Monitoring of Soil Moisture, Temperature & Humidity Using Zigbee in Agriculture. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 11*(10), 493–497.

Chen, H. C., & Chang, L. Y. (2012). Design and Implementation of a ZigBee-Based Wireless Automatic Meter Reading System. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 88*(1), 64–68.

Hwang, R-L., Lin, T. P. & Matzarakis, A. (2009). Outdoor Thermal Comfort In *University Campus In Hot-Humid Regions. The seventh International Conference on Urban Climate.* Yokohama, Japan.

Jha, K. D. & Gupta, S. K. (2015). ZigBee: A Next Generation Data Communication Technology. *International journal of innovative trends in engineering (IJITE), 8*(1), 28–33.

Kulkarni, P.H., Shah, M., Agarwal, K., & Warade, S. (2014). Optimization of Industry using Zigbee based Networks. *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System (IJEECS), 3*(1), 6–9.

Nivethitha. P. & Karthiga, S. R. (2016). The Role of Satellite ZigBee Technology in Flood Monitoring and Communication System. *International Journal of Advanced Research in Management, Architecture, Technology and Engineering (IJARMATE), 2*(11), 13–16.

Procházka J., Brom J., Šťastný J., & Pecharová, E. (2011). The impact of vegetation cover on temperature and humidity properties in the reclaimed area of a brown coal dump. *International Journal of Mining Reclamation and Environment, 25*(4), 350–366.

Reidmiller, D. R., Avery, C. W., Easterling, D. R., Kunkel, K. E., Lewis, K. L. M., Maycock T. K., & Stewart, B. C. (2018). USGCRP, impacts risks and adaptation in the United States: *Fourth National Climate Assessment, volume II. US Global Change Research Program*. DOI: 10.7930/NCA4.2018

Rohitha P., Kumar, P. R., Adinarayana, N., & Rao, V. N. (2012). Wireless Networking Through ZigBee Technology. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2*(7), 49–54.

Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, J. I. (2009). A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors, 9,* 4728–4750. DOI: 10.3390/s90604728

Schroth, O, & Ju, Q. (2016). Modelling Microclimates in the Smart City: a Campus Case Study on Natural Ventilation. *Conferecne REAL CORP 2016 Proceedings/ Tagungsband*, 473–479. Retrieved from http://www.corp.at

Wang, H. (2013). Environmental Monitoring System Based on ZigBee Wireless Sensor and Low-power Technology. *Advanced Materials Research,* 662, 701–704. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.662.701

Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2007) GIS-Based urban heat island study in University campus. *2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century*. Crete island, Greece.

Wuebbles, D. J., Fahey, D. W., Hibbard, K. A., Dokken, D. J., Stewart, B. C. & Maycock, T. K. (2017a). *USGCRP, Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment*, Volume I. U.S. Global Change Research Program. DOI: 10.7930/ J0J964J6.

Yadav, P., Kumar, K., & Gupta, R. (2014). A review paper on ZigBee –new era in agricultural monitoring. *International Journal of computer science and technology, 5*(2), 233–236.

Yasa, E. (2017). Microclimatic comfort measurements evaluation of building physics: The effect of building form and building settled area, on pedestrian level comfort around buildings. *Journal of Building Physics, 40*(5), 472–500. DOI: 10.1177/1744259115621979

Zhu, H., Wu, P., Zeng, J., & Teng, W. (2014). Environment Monitoring System Research Based on the ZigBee Wireless Sensor Network Technology. *Sensors and Transducers, 170*(5), 94–100.

Supplementary material

```
/*****************************************************************
/************** Programa fuente del modulo sensor ****************
/*****************************************************************

#def sens1 "00134200406A67

Xbee_sent;
int_temperatura= 0;
long anterior=0;
char  dat "";
intg=;

// encendido y frecuencia del modulo sensor
void setup()
{
 sens.xbee802.init(XBEE_802_15_4,FPE02_40,NORMAL);

 xbee802.0N();

 sens.xbee802.setChannel(0x0C);
 if( !xbee802.error_AT ) XBee.println("Channel set OK"); else XBee.println("Error while changing channel");
 else XBee.println("Error while changing channel");

 sens.xbee802.setPAN(PANID);
 if( !xbee802.error_AT ) XBee.println("PANID set OK");
 else XBee.println("Error while changing PANID");

}

void loop()
{

 if (PWR.getBatteryLevel()<■10)
    Utlls.setLED(LEDO, LED_ON);
 else
    Utils.setLED(LEDO, LED_OFF);

 nodo.pag_sent•(packetXBeel) calloc(1,sireof(packetXBee));
 nodo.paq_sent->nade•BROADCAST;
 nodo.paq_sent->NY_knovn=0;
 nodo.paq_sent->packetID•OxS2;
 paqsent->opt.0;
 sens.xbeeDOE.hop3=0;
 sens.xbee802.setOriginParans(paq_sent, Nac0V1II, Nike:TYPE);
 broadcast.xlme802.setDestinationParams(paq_sent, "FEFFFFFFFIFFEFFF", data, 11AC_TYPE, DATA ABSOLUTE);
 sens.xbee$02.3endaeallmq_offlt);

 Ut-113.setLED(LED1, LED_ON);
 delay(1000);
 Utils.setLEDILED1, LED_OFF);
 free(patsent);
 pament•NULL;
}
```

```
import Pachube.*;
import processing. serial.*;
import com.rapplogic.xbee.api.AtCommand;
import com.rapplogic.xbee.api.AtCommandResponse;
import com.rapplogic.xbee.api.ApiId;
import com.rapplogic.xbee.api.PacketListener;
import com.rapplogic.xbee.api.XBee;
import com.rapplogic.xbee.api.XBeeResponse;
import com.rapplogic.xbee.api.zigbee.ZNetRxIoSampleResponse;
import javax.mail.*;
import javax.mail.internet.*;
```

Supplementary figure 1 – Basic configuration of ZigBee devices

```
import time
import adafruit_dht
import board

Dht_sensor = adafruit_dht.DHT22(board.D2)

while True:
    try:
        temperature = dht_sensor.temperature
        humidity = dht_sensor.humidity

        print("Temp: {:.1f} *C \t Humidity: {}%".format(temperature, humidity))
    except RuntimeError as e:

        print("Reading from DHT failure: ", e.args)

    time.sleep(1)
```

Supplementary figure 2 – Implementation code for climatic sensor

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 27/12/2018
Aceitação/Acceptance: 05/02/2019

Nuevo enfoque de arquitectura para la interoperabilidad de sistemas de información en la gestión de desastres

Marcelo Zambrano[1a,1b], Ana Zambrano[2], Francisco Pérez[3], Edgar Maya[4], Paúl Rosero[5], Eduardo Ortiz[6]

omzambrano@utn.edu.ec, ana.zambrano@epn.edu.ec, frapecar@upvnet.upv.es, eamaya@utn.edu.ec, pdrosero@utn.edu.ec, eduardo.ortiz@epn.edu.ec

[1a,4,5] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

[1b] Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui, 171103, Sangolquí, Ecuador.

[2,6] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[3] Universitat Politècnica de València, 46022, Valencia, España.

Pages:69–81

Resumen: Cuando un desastre se suscita en un determinado núcleo social, es indispensable que las organizaciones responsables de gestionarlo, actúen de manera conjunta con el objetivo de alcanzar una respuesta que minimice los daños y pérdidas derivadas de su presencia. Para esto, es necesario que dichas organizaciones intercambien información de forma permanente, con el objetivo de obtener una conciencia situacional común que les permita coordinar sus operaciones y gestionar el incidente de la mejor manera posible. Este artículo describe la arquitectura de una plataforma de interoperabilidad, que les permite a las organizaciones, involucradas en la gestión de un desastre, intercambiar información, de modo transparente, e independiente de los sistemas de información y herramientas informáticas utilizadas por cada una de ellas.

Palabras-clave: bases de datos distribuidas; gestión de desastres; interoperabilidad; redes P2P; sistemas de información.

New architecture approach for the interoperability of information systems in disaster management

Abstract: When a disaster arises in a certain social nucleus, it is essential that the organizations responsible for managing it, act jointly with the objective of reaching a response that minimizes the damages and losses derived from their presence. For this, it is necessary that these organizations exchange information permanently, with the aim to obtain a common situational awareness that allows them to coordinate their operations and manage the incident in the best possible way. This article describes the architecture of an interoperability platform that allows organizations involved in the management of a disaster, to exchange information transparently and independently of the information systems and computer tools used by each of them.

***Keywords**:* distributed databases; disaster management; interoperability; P2P networks; information systems.

1. Introducción

Un desastre puede definirse como un incidente de carácter dañino que pone en riesgo al medio ambiente, la propiedad y/o la vida de las personas. Para gestionarlo, es necesaria la participación de múltiples organizaciones relacionadas con la protección y seguridad pública, las cuales deben orquestar sus operaciones para alcanzar una respuesta que permita mitigar sus efectos destructivos y minimizar las posibles pérdidas ambientales, materiales y humanas (Blanchard, 2008; ACNUR, 2012; FEMA, 2015). Pero esta diversidad de recursos, habilidades y conocimientos, indispensables para alcanzar una respuesta integral que cubra los requerimientos de todos los involucrados (Gobierno, organizaciones de respuesta y ayuda humanitaria, damnificados, etc.), también es el principal obstáculo para que dichas organizaciones trabajen de manera conjunta y orienten sus esfuerzos en una misma dirección, puesto que cada una de ellas posee sus propios objetivos, tecnología, procedimientos, etc. Para solventar este inconveniente, es necesario que dichas organizaciones intercambien información, de forma permanente, obteniendo un conocimiento común de la situación (conciencia situacional) que les permita coordinar sus operaciones y colaborar (Williams, 2010).

La capacidad de dos o más sistemas para intercambiar información y utilizarla para alcanzar sus objetivos se conoce como interoperabilidad (IEEE Standard Computer Dictionary, 1991). En escenarios complejos (heterogéneos y multiorganizacionales) como en el caso de la Gestión de Desastres (GD), la interoperabilidad es la clave para la adquisición de una conciencia situacional común y la orquestación de los recursos implicados. Organismos como la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias de los Estados Unidos (Federal Emergency Management Agency, s. f.), la Organización Internacional de Normalización con su Comité Técnico para la Protección y Seguridad de la Sociedad (ISO/TC 223, s. f.), La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (United Nations, 2017), entre otras, han publicado diferentes tipos de estándares y recomendaciones, recalcando la importancia de la interoperabilidad en GD. Este artículo presenta una alternativa para la materialización de estas estrategias y recomendaciones. Propone la implementación de una plataforma de interoperabilidad que permita a las organizaciones, involucradas en la GD, integrarse dentro de una infraestructura de comunicaciones compartida, con el objetivo de intercambiar información utilizando sus propios sistemas de información (SI) y herramientas informáticas. El principal aporte de esta investigación se encuentra en su Espacio de Información Compartida (EIC), el cual permite gestionar como una única entidad de almacenamiento toda la información proveniente de los diferentes SI. Se asienta sobre una Base de Datos Distribuida No Relacional (BDD NoSQL) y una red de comunicaciones mallada (P2P), para dotar a la plataforma de la agilidad y resiliencia requerida para operar en entornos críticos y hostiles como en el caso de los desastres.

La validación se realizó mediante pruebas de funcionalidad a un prototipo implementado en base a la arquitectura descrita en este artículo. Las pruebas se realizaron dentro de un escenario simulado para un desastre, en el cual, tres SI registrados en la plataforma (InaSAFE, WebGIS y GESTOP), ubicados en tres localidades diferentes, compartieron

información referente al estado del entorno y las unidades de respuesta supervisadas por cada uno de ellos. La información compartida permitió la obtención de una conciencia situacional común que sirvió como punto de partida para la planificación, toma de decisiones y coordinación de las operaciones de respuesta y recuperación.

Este artículo está dividido en cinco secciones: primero, se realiza una introducción al contexto y metodología utilizada para el desarrollo de la plataforma; segundo, se describe la motivación y los trabajos que sirvieron como referencia de esta investigación; tercero, se detalla la arquitectura, sus funcionalidades y los bloques principales que la conforman; cuarto, se describen las pruebas de funcionalidad y los resultados obtenidos durante las mismas; y finalmente, quinto, se exponen las conclusiones y futuras líneas de investigación relacionadas con este trabajo.

2. Motivación y trabajos relacionados

Uno de los factores más importantes a ser considerados, con respecto a la interoperabilidad, es la forma en que los usuarios acceden a la información disponible. De manera general, los usuarios son renuentes a la utilización de herramientas informáticas externas, ya sea por afinidad con aplicaciones que usan habitualmente o por falta de experticia en aplicaciones que desconocen. La plataforma de interoperabilidad descrita en este artículo tiene como objetivo principal posibilitar que, las organizaciones involucradas en la gestión de un desastre, utilicen sus SI propietarios para compartir y/o adquirir información útil para gestionar el desastre. Para su desarrollo, se ha tomado como referencias principales al Joint Consultation, Command and Control Information Exchange Data Model (JC3IEDM) y a las BDD NoSQL.

El JC3IEDM (Figura 1), fue creado por el Programa de Interoperabilidad Multilateral de la OTAN, con el objetivo de apoyar y facilitar el intercambio de información de mando y control en entornos tácticos multinacionales (NATO, 2012). Propone la implementación de una capa de intermedia de comunicaciones (middleware) y un modelo de datos normalizado, para permitir que esos SI heterogéneos intercambien información. Cada SI debe poseer su propia interfaz de comunicaciones, la cual le permite obtener y/o publicar información desde o hacia el modelo de datos definido en la middleware.

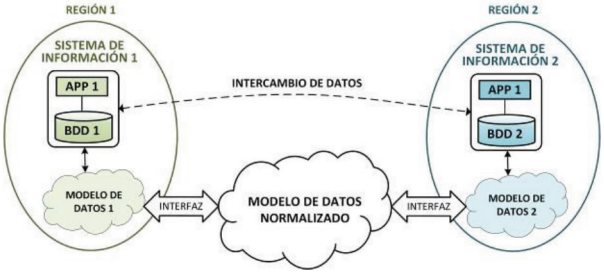


Figura 1 – Esquema general JC3IEDM.

Por su parte, las bases de datos distribuidas (BDD) aprovechan la estructura multiorganizacional, característica de la GD, para segmentar la carga de trabajo

(almacenamiento y procesamiento de datos) entre todos los nodos que conforman el *cluster*. Las bases de datos no relacionales, llamadas también No only SQL (NoSQL), permiten representar y almacenar cada objeto a ser compartido, con un esquema de datos independiente, solventando las deficiencias de las bases de datos tradicionales (relacionales) en cuantos a la gestión de datos heterogéneos. La Figura 2, muestra un diagrama que resume la propuesta en cuanto a la gestión de datos con BDD NoSQL para esta investigación (Han et al., 2011).

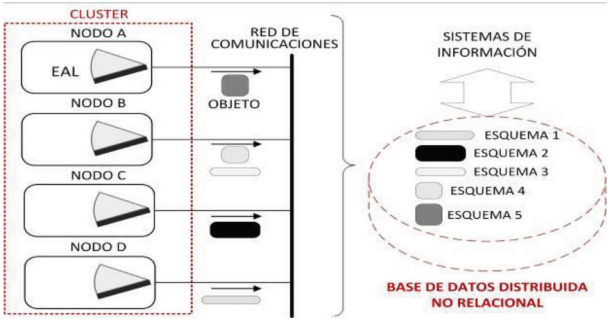


Figura 2 – Esquema para la gestión de datos

3. Arquitectura

La arquitectura ha sido diseñada con el objetivo de otorgar a la plataforma la agilidad y resiliencia requerida para operar y cumplir con las exigencias del entorno de un desastre. Cada organización utilizará sus propios SI para obtener y/o compartir información dentro de la plataforma, y la capa de middleware adaptará la información proveniente desde y hacia ellos al modelo de datos definido en su interior. La comunicación entre los SI y la plataforma, se realiza bajo un modelo de información basado en el estándar Efficient XML Interchange (EXI) (Doi et al., 2012; Jaiswal & Mishra, 2013), y la información que se requiera compartir se almacenará en una BDD NoSQL que da forma al EIC.

Para facilitar su análisis y desarrollo, la arquitectura se ha dividido en tres bloques principales (Figura 3):

1. Sistemas de información: dispositivos, equipos o SI, registrados en la plataforma con el objetivo de aportar y/u obtener información de la misma.
2. Middleware, cumple las funciones de transceptor entre la subred de comunicaciones y los SI.
3. Subred de comunicaciones, es la responsable de proveer la conectividad entre los nodos que conforman la plataforma. Su topología, así como la tecnología utilizada en los enlaces de comunicación, son transparentes para la middleware, lo que facilita su implementación y escalabilidad.

La arquitectura ha sido desarrollada en su totalidad bajo *software* libre, eliminando la dependencia con los fabricantes (mantenimiento, actualizaciones, etc.) y dejando la puerta abierta para su personalización y desarrollo de nuevas funcionalidades. Linux se ha elegido como sistema operativo para los nodos de comunicaciones, Apache Cassandra como Gestor de Base de Datos, Java como lenguaje de programación para el desarrollo

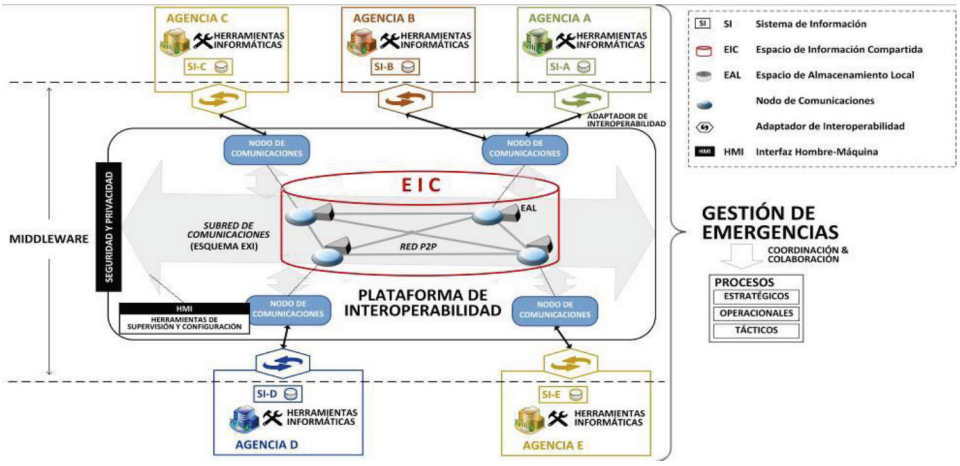


Figura 3 – Arquitectura en tres bloques. Bloque 1: sistemas de información; bloque 2: capa middleware; bloque 3: subred de comunicaciones

de los distintos módulos de *software* y AngularJS como *framework* Javascript para la implementación del *frontend* de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI).

La capa middleware representa la columna vertebral de esta arquitectura y es la responsable de permitir el intercambio de información entre los SI. Está subdividida en cuatro bloques: adaptadores de interoperabilidad, nodos de comunicaciones, EIC, y la HMI.

3.1. Adaptadores de interoperabilidad

Son los responsables de acoplar la información proveniente de los SI al formato EXI definido en la subred de comunicaciones y viceversa.

Debido a la diversidad y heterogeneidad en los protocolos y formatos de datos utilizados por los diferentes SI, cada uno de ellos necesitará su propio adaptador de interoperabilidad y existirán tantos adaptadores como SI se integren a la plataforma.

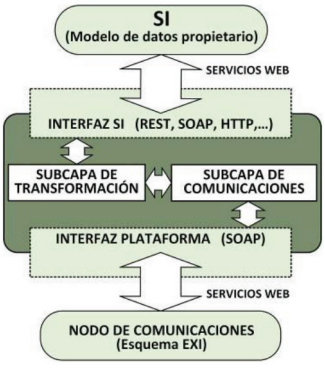


Figura 4 – Adaptador de interoperabilidad

Cada adaptador posee una interfaz hacia el SI y otra hacia el nodo de comunicaciones, permitiendo el flujo de información entre ellos a través de servicios web. Las peticiones/respuestas desde y hacia los SI, se realizan por medio de cualquier tipo de servicio web que haya sido definido en el SI en cuestión (SOAP, REST, HTTP, etc.), mientras que las peticiones/respuestas desde y hacia los nodos de comunicaciones, de acuerdo al diseño de la plataforma y siguiendo los principios de estandarización propuestos, se realizan únicamente por SOAP.

Entre las interfaces de comunicación, existen dos subcapas: transformación y comunicaciones, que permiten llevar a cabo la conversión de los formatos de datos de manera bidireccional. La Figura 4 muestra un diagrama de bloques genérico de un adaptador de interoperabilidad.

3.2. Nodos de comunicaciones

Son la puerta de entrada a la plataforma. Entre sus funciones principales están las de permitir el registro de los SI, almacenar la fracción de la base de datos que le corresponda, y notificar a los SI y otros nodos de cualquier cambio realizado en la información del EIC.

La Figura 5 muestra un diagrama de bloques que resume la arquitectura interna de un nodo de comunicaciones. Se pueden identificar cuatro elementos principales: una capa de usuario, encargada de poner al alcance de los SI los servicios para la configuración de los parámetros operacionales de la plataforma (registro de SI, suscripción a las notificaciones, direccionamiento, etc.) y la interacción con el EIC (lectura, escritura, eliminación y actualización de datos); una capa de operaciones, responsable de los procesos de gestión y funcionales al interior del nodo, como por ejemplo, seguridad, privacidad, comunicación entre nodos, gestión de datos, etc.; dos grupos de servicios transversales, encargados de la supervisión y seguridad de los procesos internos además de los accesos al nodo; y por último, un Espacio de Almacenamiento Local (EAL), en el cual almacena la fracción del EIC que tiene asignado, así como una copia del registro de usuarios y sistemas.

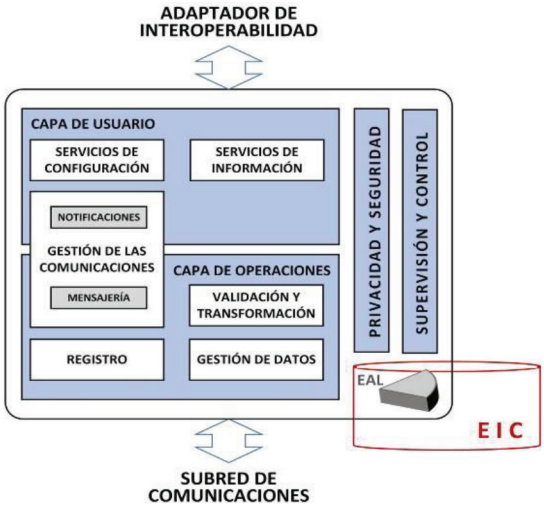


Figura 5 – Nodo de comunicaciones

Las comunicaciones con los otros nodos y con los SI enlazados a la plataforma a través de él, se realizan por medio de datagramas en formato EXI, que informan de cualquier cambio en la información y/o el estado de la plataforma. Estos datagramas, antes de ser almacenados, deben ser validados y transformados al formato definido en el EIC por medio del módulo de validación y transformación.

Pueden desplegarse tantos nodos, como sean requeridos, y cada nodo puede servir a más de un SI, dependiendo del alcance de la plataforma, la capacidad de procesamiento del nodo y los requerimientos propios de cada SI en cuanto a recursos, seguridad, disponibilidad y/o confiabilidad.

3.3. Espacio de Información Compartida

El EIC es el núcleo de la arquitectura. Utiliza una BDD NoSQL y una red virtual P2P, para gestionar la información proveniente de los SI como un único espacio de almacenamiento lógico. Posee un modelo de datos independiente a los utilizados por los SI integrados a la plataforma, y cada objeto almacenado es definido con una clave única basada en un modelo clave-valor, bajo su propio esquema de datos. El EIC aprovecha el carácter distribuido de la arquitectura, para permitir la asignación y distribución dinámica del procesamiento y almacenamiento de los datos. Una de sus principales ventajas, es la independencia de los objetos, que hace que la ubicación física y el esquema de los datos, sean transparentes para los SI.

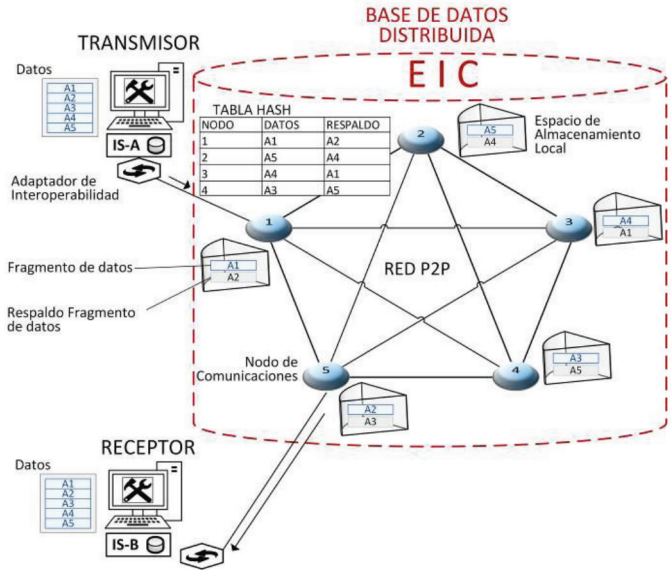


Figura 6 – Espacio de Información Compartida

En cuanto a la gestión de datos y la implementación del EIC, se aprovecha el carácter distribuido y el algoritmo P2P de Apache Cassandra (DataStax, 2016). Tanto la carga de trabajo como la redundancia son parametrizables y deben ser configuradas de acuerdo a la

confiabilidad, disponibilidad y escalabilidad requerida. La red interna P2P presenta una topología lógica no jerárquica en anillo que permite la respuesta simultánea de múltiples nodos a múltiples peticiones (escalabilidad horizontal). Las consultas, actualizaciones, borrados e inserciones de información, se realizan por medio del lenguaje propietario Cassandra Query Language (CQL), y la librería Kundera brinda soporte para el API de Persistencia de Java (JPA) (Apache Software Foundation, 2017). La Figura 6 muestra un diagrama de bloques que resume la arquitectura interna del EIC.

3.4. Seguridad e interfaz hombre-máquina

La accesibilidad y privacidad de la plataforma se gestiona a través de la HMI, la cual, permite la creación y asignación de perfiles y permisos a través del módulo de "privacidad y seguridad". De la misma manera, permite la generación de auditorías y el mantenimiento de la plataforma por medio del módulo de "supervisión y control". Cada nodo posee una réplica del registro de usuarios y sistemas, garantizando siempre y en cualquier circunstancia, la accesibilidad y seguridad de la plataforma. Respecto a la seguridad de las comunicaciones, se gestiona en base a los protocolos de seguridad como HTTPS y TLS.

3.5. Gestión de las comunicaciones y datos

Las comunicaciones entre nodos, así como a las comunicaciones entre un nodo y los SI integrados a través de él se realizan en base al estándar EXI, creado por el World Wide Web Consortium (W3C). El EXI está pensado para optimizar el rendimiento y uso de recursos en redes que operan en entornos con capacidades limitadas, como en el caso de los desastres (baja capacidad de procesamiento y almacenamiento, ancho de banda limitado, congestión, pérdida de paquetes, etc.) (Doi et al., 2012; Jaiswal & Mishra, 2013). Gestiona la información por medio de un esquema XML que explota la naturaleza estructurada del formato para optimizar la transmisión y procesamiento de datos. El esquema EXI definido en la plataforma es distribuido a través de toda la subred de comunicaciones, de tal manera que cada nodo sea capaz de comprimir/descomprimir los objetos de datos recibidos y/o enviados. Tanto la publicación como los requerimientos de información (datos y metadatos) siguen el mecanismo EXI implementado. Cada vez que un SI comparte información, esta se validada, transformada y almacenada en el EIC, para que sea accesible a través de cualquiera de los nodos del Clúster.

Los SI deben especificar las temáticas de los cuales van ser proveedores, y las temáticas a las cuales quieren subscribirse como consumidores. Cada vez que se comparte una nueva información en el EIC, el nodo local notifica a los SI registrados sobre él y subscritos a la temática en cuestión, de la actualización de información por medio de su servicio de "notificaciones". Si un SI considera de interés la información, es capaz de recuperarla desde el EIC, para transformarla a su modelo de datos propietario y ponerla a disposición de sus usuarios. De manera similar, el nodo local comparte la actualización con los otros nodos de la plataforma a través del servicio de "mensajería", para que estos, a su vez, notifiquen a los SI registrados sobre ellos, de la nueva información disponible.

Para que un nuevo nodo pueda integrarse a la plataforma, el primer paso a realizar es su registro sobre la misma. Una vez autorizado su acceso, el nodo pasa a formar parte del EIC, iniciando las comunicaciones con los otros nodos a través de la subred. Cada

nodo dispone de un EAL, donde almacena la porción de datos que le corresponde, de acuerdo a una tabla HASH, creada por el algoritmo P2P de Cassandra (Apache Software Foundation, 2017; Padhy, Patra & Satapathy, 2011). La disponibilidad de los datos y resiliencia de la plataforma se garantiza en base a la creación de múltiples copias en diferentes nodos (redundancia), las cuales dependen de un factor de replicación (número de réplicas de la información en nodos diferentes) que puede ser configurado de forma discrecional.

4. Validación y resultados

La funcionalidad de la plataforma se validó por medio de pruebas a un prototipo implementado en base a la arquitectura descrita en este artículo. Las pruebas se desarrollaron dentro de un escenario simulado para un desastre, que inicia con el colapso de la central hidroeléctrica de Bolarque (Cuenca-España), ocasionando una inundación que afecta la central nuclear José Cabrera (Guadalajara-España), con un posible escape radiológico de por medio. Se implementaron tres nodos de comunicaciones en tres localidades diferentes (Madrid, Cuenca y Valencia), y a través de ellos, se integraron a la plataforma tres Sistemas de Información Geográfica (GIS) como se muestra en la Figura 7.

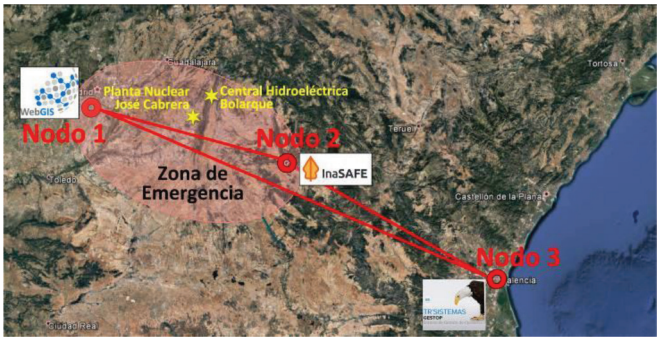


Figura 7 – Escenario de pruebas

Nodo	Hardware	Software Nodo	Software SI
1 Madrid	Intel Core i7 2.8 RAM 16GB Disco 2TB Red Ethernet	CentOS 7.0 Open VPN Apache Cassandra 3.2	Ubuntu 15.10 WebGIS (DESTRIERO, 2017) Adapt. de Interoperabilidad 1
2 Cuenca	Intel Core i7 2.9 RAM 8GB Disco 1TB Red Ethernet		Ubuntu 15.10 InaSAFE (InaSAFE, 2017) Adapt. de Interoperabilidad 2
3 Valencia	Intel Core i7 3.3 RAM 16GB Disco 1TB Red Ethernet		Windows 8.1 GESTOP (TR'Sistemas, 2017) Adapt. de Interoperabilidad 3

Tabla 1 – *Hardware* y *software* infraestructura de pruebas

Gracias a la segmentación y distribución de la carga de trabajo, los GIS y sus respectivos adaptadores de interoperabilidad, pudieron ser implementados sobre HOST con características estándar de *hardware* y *software*, como se observa en la Tabla 1.

En cuanto a la seguridad y conectividad de la plataforma, se utilizaron conexiones SSL con certificados y claves RSA (Rivest, Shamir y Adleman) generados con la herramienta Open-VPN y distribuidos en cada uno de los nodos. Cada GIS compartió, a través de la plataforma, información referente a la identificación y posicionamiento de las unidades de respuesta bajo su supervisión. Esta información permitió crear una conciencia situacional común de todos los recursos desplegados sobre el campo de pruebas, la misma que fue utilizada por el personal táctico y estratégico para planificar y coordinar las operaciones de respuesta y recuperación para la emergencia.

La Figura 8 muestra en segundo plano, la interfaz gráfica (GUI) de cada uno de los GIS utilizados en las pruebas; y como plano principal, la GUI del GIS conectado al nodo 1, mostrando un agregado de todas las unidades sobre el campo de operaciones.

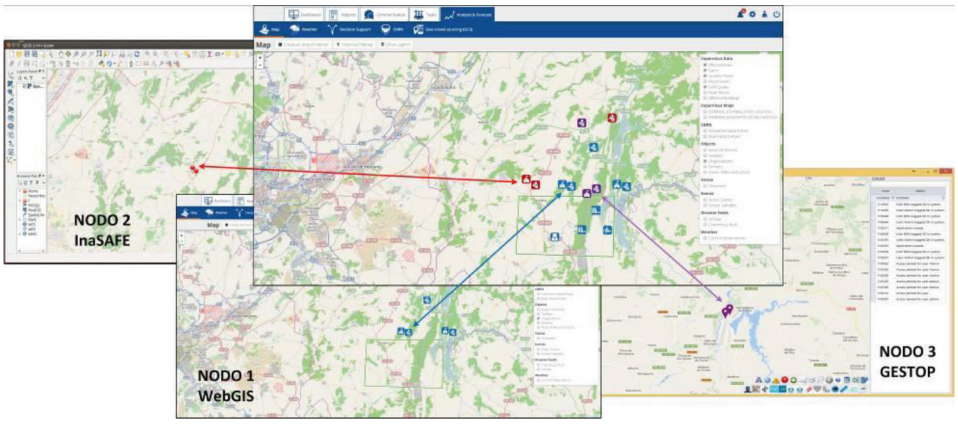


Figura 8 – Unidades de respuesta desplegadas sobre el entorno de pruebas

Durante las pruebas, se contó con la colaboración de personal de Bomberos y Defensa Civil de la Comunidad de Madrid, los cuales tuvieron acceso a la información y reportes generados por los SI integrados a la plataforma. Posterior a esto, se realizó una encuesta al personal táctico y estratégico que colaboró en el simulacro, con el fin de tabular su percepción respecto a las funcionalidades y ayudas que la plataforma ofrece. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

El 100% de los encuestados estuvieron de acuerdo, en mayor o menor grado, con la usabilidad de la plataforma. Un 93% usaría la plataforma ya sea para entrenamiento o en un entorno real y cree que su organización se vería beneficiada con las funcionalidades entregadas. Así también, un 87% de los encuestados recomendaría el uso de esta plataforma y coincide con el planteamiento propuesto.

Pregunta	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Considero que el intercambio de información entre las organizaciones involucradas en la gestión de emergencias es prioritario	10	4	1		
La plataforma promueve la interoperabilidad entre las organizaciones involucradas en la gestión de emergencias	4	11			
La plataforma de interoperabilidad ofrece soporte para la obtención de una conciencia situacional común	2	9	4		
El uso de la plataforma de interoperabilidad puede ayudar a mejorar la coordinación y colaboración	4	10	1		
Recomendaría el desarrollo de adaptadores para otros sistemas de información	2	11		1	1
La plataforma es práctica y utilizable	3	9	3		
Usaría la plataforma en un entorno real	3	7	3	1	1
Usaría la plataforma en un entorno de entrenamiento	4	10			1
Usaría la plataforma durante la fase de respuesta a una emergencia	5	8	1		1
Usaría la plataforma durante la fase de recuperación a una emergencia	3	7	3	1	1
Considero que el uso de la plataforma de interoperabilidad, puede ayudar a disminuir las comunicaciones innecesarias	2	8	4		1
Considero que mi organización se vería beneficiada de las capacidades entregadas por la plataforma	3	7	3	1	1
A pesar de las restricciones presupuestarias, mi organización podría desarrollar su propio adaptador y convertirse en un socio de financiamiento para la implementación de una plataforma de interoperabilidad	1	5	5	2	2
Equivalencia: (1) cumple totalmente; (5) no cumple con nada.					

Tabla 2 – Encuesta realizada al personal táctico y estratégico

5. Conclusiones y trabajos futuros

La interoperabilidad es la clave para que las organizaciones involucradas en la gestión de un desastre obtengan una respuesta integral que permita enfrentar cualquier tipo de desastre que se pueda presentar. Para esto, es necesario el intercambio permanente de información que permita, a las organizaciones implicadas, obtener una conciencia común de la situación, coordinar sus operaciones y colaborar.

Este artículo describe la arquitectura de una plataforma de interoperabilidad que permite a las organizaciones involucradas en la gestión de un desastre, intercambiar información a través de sus propios sistemas y herramientas informáticas. El núcleo de la arquitectura se encuentra en su Espacio de Información Compartida, el cual permite gestionar como una única entidad de almacenamiento, toda la información proveniente

de los sistemas de información integrados a la plataforma. El Espacio de Compartido de Información se asienta sobre una Base de Datos Distribuida No Relacional y una red de comunicaciones mallada, para segmentar la carga de trabajo entre todos los nodos de la plataforma, otorgándole disponibilidad, escalabilidad y resiliencia a la plataforma.

La funcionalidad de la plataforma se validó por medio de un prototipo desarrollado en base a la arquitectura descrita en este artículo y testeada dentro de un escenario simulado para un desastre. Se pudieron verificar las capacidades de la plataforma para facilitar el intercambio de información entre las organizaciones, y la información compartida fue utilizada por el personal táctico y estratégico para planificar y coordinar las operaciones de respuesta y recuperación.

La arquitectura propuesta, fue tomada como referencia para el desarrollo de la plataforma de interoperabilidad del proyecto europeo SECTOR (SECTOR, 2016), el cual fue parte del séptimo programa Marco de la Unión Europea para Investigación y Desarrollo Tecnológico (FP7) y terminó el pasado 2018. SECTOR tuvo como objetivo principal el mejorar la interconexión, coordinación y colaboración entre los sistemas para la gestión de desastres y crisis.

Respecto a los trabajos futuros, se están explorando otras alternativas para la implementación del Espacio de Información Compartida, en base a una BDD NoSQL orientada a documentos (Padhy et al., 2011; Li & Manoharan, 2013). Por otra parte, la interfaz hombre-máquina les permite a los administradores acceder a las herramientas de configuración y supervisión de la plataforma, sin embargo, su implementación deja la puerta abierta para el desarrollo de herramientas propias, que permitan personalizar y mejorar las ayudas disponibles para los usuarios. Actualmente, se está trabajando en el desarrollo de una herramienta propietaria que permita el intercambio de información de audio y vídeo en tiempo real.

Referencias

ACNUR. (2012). Manual para situaciones de emergencia. *United Nations High Commissioner for Refugees*. Recuperado de https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/Publicaciones/2012/1643.pdf

Apache Software Foundation. (2017). Apache Cassandra. *Apache Software Foundation*. Recuperado de http://cassandra.apache.org/

Blanchard, B. W. (2008). Guide to Emergency Management and Related Terms, Definitions, Concepts, Acronyms, Organizations, Programs, Guidance, Executive Orders & Legislation: A Tutorial on Emergency Management, Broadly Defined, Past and Present. *Center for Homeland Defense and Security*. Recuperado de https://www.hsdl.org/?abstract&did=

DataStax. (2016). Apache Cassandra Documentation. *Apache Software Foundation*. Recuperado de http://cassandra.apache.org/doc/latest/

DESTRIERO. (2017). FP7 European Union. *DESTRIERO*. Recuperado de http://www.destriero-fp7.eu/

Doi, Y., Sato, Y., Ishiyama, M., Ohba, Y., & Teramoto, K. (2012). XML-less EXI with code generation for integration of embedded devices in web based systems. En 2012 3rd IEEE International Conference on the Internet of Things (pp. 76-83). DOI: 10.1109/IOT.2012.6402307

FEMA. (s. f.). Department of Homeland Security US. *FEMA*. Recuperado de https://www.fema.gov/

Han, J., E, H., Le, G., & Du, J. (2011). Survey on NoSQL database. En 2011 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications (pp. 363-366). DOI: 10.1109/ICPCA.2011.6106531

IEEE Standard Computer Dictionary. (1991). A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. IEEE Std 610, 1-217. DOI: 10.1109/IEEESTD.1991.106963

InaSAFE. (2017). Indonesian and Australian Goverments. *InaSAFE*. Recuperado de http://inasafe.org/

FEMA. (2015). Fundamentals of Emergency Management. *FEMA*. Recuperado de https://emilms.fema.gov/IS0230d/FEM0101000.htm

ISO/TC 223 Societal Security. (s. f.). International Organization for Standardization. *ISO/TC 223*. Recuperado de http://www.isotc223.org/

Jaiswal, G., & Mishra, M. (2013). Why use Efficient XML Interchange instead of Fast Infoset. En 2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC) (pp. 925-930). DOI: 10.1109/IAdCC.2013.6514350

Li, Y., & Manoharan, S. (2013). A performance comparison of SQL and NoSQL databases. En 2013 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM) (pp. 15-19). DOI: 10.1109/PACRIM.2013.6625441

NATO. (2012). Overview of the Joint C3 Information Exchange Data Model. *Public. mip-interop.org*. Recuperado de https://public.mip-interop.org/Public%20 Document%20Library/04-Baseline_3.1/Interface-Specification/JC3IEDM/ JC3IEDM-Metamodel-Specification-3.1.4.pdf

Padhy, R. P., Patra, M. R., & Satapathy, S. C. (2011). RDBMS to NoSQL: Reviewing Some Next-Generation Non -Relational Database's. *Journal of Advanced Engineering Science and Technologies*, *11*, 015-030.

SECTOR. (2016). FP7 European Union. *SECTOR*. Recuperado de http://www.fp7-sector.eu/

TR'Sistemas. (2017). Productos - TRS. *TR'Sistemas*. Recuperado de http://www. trsistemas.com/productos.php

United Nations. (2017). The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *UNISDR*. Recuperado de https://www.unisdr.org/

Williams, A. (2010). Agility and Interoperability for 21st Century Command and Control. *The International C2 Journal*, *1*(4), 1-30. Recuperado de https://pdfs. semanticscholar.org/c422/307eb0d04ec421a9fec1efd1b38051493cb6.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 22/11/2018
Aceitação/Acceptance: 30/01/2019

Sistema de localización de personas desaparecidas basado en IoT y Cloud Computing (caso de estudio: Quito)

Ana Zambrano[1], Eduardo Ortiz[2], Xavier Calderón[3], Marcelo Zambrano[4a,4b], Luis Urquiza-Aguiar[5]

ana.zambrano@epn.edu.ec, eduardo.ortiz@epn.edu.ec, xavier.calderon@epn.edu.ec, omzambrano@utn.edu.ec, luis.urquiza@epn.edu.ec

[1,2,3,5] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[4a] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

[4b] Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui, 171103, Sangolquí, Ecuador.

Pages:82–94

Resumen: Este artículo propone QSSC (Quito Smart Safe City). Un prototipo para sistema de ubicación y alerta temprana de personas desaparecidas. El sistema utiliza una arquitectura móvil distribuida, que permite informar a la comunidad sobre una desaparición y, si es posible, adjuntar pruebas multimedia para ayudar a identificar y localizar a las víctimas en un rango geográfico ajustable a una ciudad. Se utiliza comunicación IoT. El intercambio de información se ejecuta a través del protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) que, junto con las ventajas proporcionadas por la nube Amazon Web Services (AWS), permite el intercambio en tiempo real entre todos los involucrados. Una aplicación liviana y oportuna que consume muy pocos recursos del dispositivo celular y que, además, cumple una gestión eficiente de la información, basada en *Crowdsensing*, consintiendo el respaldo del proceso de toma de decisiones para llegar a una solución efectiva ante el incidente.

Palabras-clave: MQTT; computación en la nube; teléfono inteligente; CrowdSensing; IoT.

Missing person's location system based on IoT and Cloud Computing (case study: Quito)

Abstract: This article proposes QSSC (Quito Smart Safe City). A prototype for the location and early warning system of missing persons. The system uses a distributed mobile architecture that allows the community to be informed about a disappearance and, if possible, to attach multimedia evidence to help identify and locate the victims in a geographical range adjustable to a city. IoT communication is used. The exchange of information is executed through the Message Queuing Telemetry Transport Protocol (MQTT) which, together with the advantages provided by the Amazon Web Services (AWS) cloud, allows for real-time exchange

among all those involved. A light and timely application that consumes very few resources in the cellular device and, in addition, carries out an efficient information management, based on Crowdsensing, consenting to the support of the decision-making process to arrive at an effective solution to the incident.

***Keywords**:* MQTT; Cloud Computing; smartphone; CrowdSensing; IoT.

1. Introducción

Uno de los principales problemas sociales del Ecuador es la desaparición forzosa de personas, especialmente de individuos vulnerables como los niños, adolescentes, personas con discapacidad y de la tercera edad (Baldeón Puga y Murillo Ortiz, 2017). Sin embargo, los secuestros no son un problema presente únicamente en Ecuador, sino también en toda América Latina. La desaparición forzada de menores de edad es alarmante y depende del contexto y las condiciones socioeconómicas de cada país. Por ejemplo, en México, el número de menores de edad desaparecidos es de 5 865, desde 2005 hasta abril de 2017 (Arena Pública, 2017). De igual manera, en Guatemala, las estadísticas revelan que 6 005 menores desaparecieron en 2016 (Oquendo, 2017).

En Ecuador, las cifras también son alarmantes. El número de desaparecidos, desde 1970 al 2017, es de 42 484 (Ministerio del Interior, 2018) y, mensualmente, se registra un promedio de 500 denuncias relacionadas con este problema social. Quito, la capital del Ecuador, es la ciudad más afectada (Ministerio del Interior, 2018), con el 34% del total de estas personas y, en el período 2014-2017, existieron, en total, 17 230 casos de desaparición (El Telégrafo, 2017), de los cuales, en el 59% se registró como víctimas a mujeres. En conclusión, la desaparición de personas en el Ecuador y en toda Latinoamérica es un problema alarmante, al cual se le tiene que dar una pronta y efectiva solución.

Este artículo propone QSSC (Quito Smart Safe City), que describe el desarrollo de un prototipo para un sistema de alerta y ubicación de personas desaparecidas, y como caso de estudio, la ciudad de Quito; que integra, a través de un innovador sistema distribuido de información, a los agentes de la Policía Nacional del Ecuador y a la comunidad, mediante el uso de tecnologías de vanguardia, *como Cloud Computing*; aplicaciones móviles oportunas y protocolos de comunicación de IoT (*Internet of Things*); y, en auge, como el MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) (Fortes, Pereira y Costa, 2016). Sin duda, aprovechando el despliegue masivo de los teléfonos inteligentes para los usuarios del sistema dentro de la ciudad.

Este artículo está dividido en cinco secciones. En la Introducción se describe el contexto del problema social en cuestión, donde las estadísticas revelan que la desaparición forzosa de personas es una realidad de todos los días, y requiere una solución eficaz, económica y acorde a la realidad latinoamericana. Segundo, en el Estado del arte, se detallan algunos de los proyectos más relevantes, desarrollados alrededor del mundo para mitigar el problema. Después, la Arquitectura propuesta detalla el sistema distribuido a implementar, incluyendo conceptos de IoT, *Crowdsensing* y *Cloud Computing* (Lianming, 2016). Seguidamente, en Validación técnica, se describe el escenario de pruebas; y en el apartado, Resultados y análisis, se exponen los efectos obtenidos en la presente investigación. El texto finaliza con la presentación de las conclusiones obtenidas y el trabajo futuro que se recomienda.

2. Estado del arte

Existen diversos proyectos que pretenden reducir la tasa de personas desaparecidas. Por ejemplo, varias propuestas han incursionado en la fabricación de pulseras para niños, que supervisan su ubicación geográfica de manera permanente, por medio de una aplicación móvil. Algunas, solo tienen un costo inicial, mientras que, en otras, es necesario pagar una mensualidad para acceder a sus prestaciones. Sin embargo, el precio de estas pulseras no está acorde con la capacidad económica de la mayoría de las familias de Ecuador, ni para el resto de los países de Latinoamérica. Las medidas implementadas por este sistema de pulseras son preventivas y, entre ellas, podemos mencionar: el rastreo de la pulsera mediante GPS, en un mapa interactivo, o la delimitación de áreas seguras y notificación a los protectores de los infantes cuando éstos hayan salido de las mismas (Kohli, Tripathi & Naik, 2017). La propuesta de pulseras rastreables se ve reflejada en el proyecto Natalia Project, cuyo propósito es salvaguardar las vidas del personal de derechos humanos que colabora en ambientes de conflicto, donde son frecuentes los secuestros con fines políticos. Natalia Project provee brazaletes con posicionamiento geoespacial, permitiendo determinar la ubicación geográfica de sus usuarios en tiempo real y, en caso de un posible secuestro, envía mensajes de alerta a Facebook y Twitter para anunciar el incidente (McPherson, 2015). No obstante, el uso indiscriminado de las redes sociales da lugar a la circulación de noticias falsas o desactualizadas, provocando un estado de conmoción innecesario en la sociedad y perjudicando la credibilidad del medio de comunicación.

Por otro lado, en Estados Unidos, en 1996, fue desarrollado un sistema de notificaciones para menores de edad desaparecidos, conocido como alerta Amber (U. S. Department of Justice, 2018). Este módulo advierte a la comunidad de la desaparición de un menor de edad mediante el uso de diversos medios de comunicación, como televisión, radio y pantallas electrónicas públicas. Según el reporte de las estadísticas de Amber, correspondientes al 2015, en la mayoría de los casos de desaparición, una alarma de notificación fue emitida después de una hora del reporte de la desaparición (U. S. Department of Justice, 2018). A este tiempo hay que agregarle un estimado de una a tres horas para la recuperación del menor desaparecido. De la misma forma, para mitigar el problema social del secuestro de personas en México, se ideó un chip antisecuestro, el cual se coloca en forma de cápsula de cristal debajo de la piel para enviar señales a un aparato externo con sensor GPS, mismo que reporta la ubicación geoespacial (Baquia, 2008). Asimismo, en la India, se desarrolló el proyecto TrackChild, cuyo objetivo fue reunir a los niños en estado de desaparición con sus familias, mediante el empleo de la tecnología informática, evitando que los críos caigan en las redes de tráfico sexual y prostitución (BBC Mundo, 2018). Contrario a los proyectos Natalia Project, el chip antisecuestro de México, alerta Amber y TrackChild, la presente investigación demuestra ventajas para la comunidad en general. Por ejemplo, el despliegue del sistema contempla una inversión casi nula para los usuarios que dispongan de un *smartphone*. Además, esta propuesta involucra activamente a la comunidad en el proceso de búsqueda y localización de una persona desaparecida. Por tanto, la comunidad se convierte en un ente dinámico y capaz de generar evidencia que permita resolver un caso de desaparición en las primeras horas de la emergencia.

3. Arquitectura propuesta

El presente trabajo toma como base los requerimientos brindados por funcionarios de la Dirección Nacional de Delitos Contra la Vida, Muertes Violentas, Desapariciones, Extorsión y Secuestro (DINASED). En efecto, las actividades de esta institución son las de recibir la denuncia de un caso de desaparición, dar asistencia al denunciante, y realizar la investigación y búsqueda de un desaparecido. Se recalca que el organismo ha colaborado en el desarrollo del presente prototipo de sistema de notificaciones. De acuerdo con sus necesidades, el sistema contempla, en primer lugar, un área de notificación configurable para cubrir la extensión geográfica de cualquier ciudad donde se utilice el sistema; segundo, a Usuarios de tipo Autorizado (UA) que, en un sistema final, este rol corresponde a los agentes de la DINASED y, a través de la aplicación móvil, tienen la administración de los casos registrados; y, tercero, a Usuarios de tipo No Autorizado (UNA), mismos que en un sistema final corresponden a la comunidad en general. Es decir, a toda persona que desee participar en el sistema.

Ambos usuarios envían notificaciones cuando disponen de información de un caso de desaparición en un área geográfica limitada (pudiendo ser modificable a las características de la ciudad). En la Figura 1 se puede observar el diagrama de casos de uso que representa la actividad general del sistema, el cual incluye la administración de los casos de desaparición, proceso en el que intervienen los usuarios (UA/UNA).

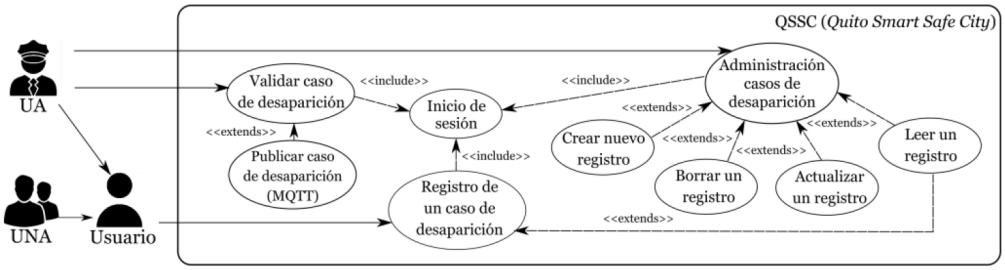


Figura 1 – Diagrama principal de casos de uso en el sistema QSSC

La Figura 2 presenta el escenario logístico para el cual está destinado el presente trabajo, empezando con el secuestro de una persona vulnerable. Seguidamente, el protector de esta persona emplea la aplicación móvil para describir los aspectos generales, por ejemplo, del niño, como su identificación, el color de la vestimenta que llevaba en el momento del secuestro, la descripción de los hechos, e incluso hasta añadir archivos multimedia para mejorar la descripción. Esta información se envía a los agentes de seguridad más cercanos (UA), los cuales son notificados a través de la misma aplicación móvil. Los UA llevan a cabo una breve investigación policial para determinar la veracidad del reciente caso de desaparición. Si se determina que el caso mencionado es falso, se lo descarta, pero si el caso de desaparición es verdadero, se notifica a la comunidad cercana para que todas las personas que usen la aplicación móvil, dentro de un rango delimitado, se conviertan en nuevos agentes de ayuda en la solución del caso de desaparición.

Una vez que la comunidad es notificada sobre el suceso, cada miembro tiene la posibilidad de revisar el detalle del caso, que consta de la descripción de la persona y

de los hechos. El UNA puede publicar evidencia que permita el esclarecimiento del caso de desaparición. La evidencia puede ser de tipo multimedia o la que más se adecúe a la información que se desee transmitir. Por ejemplo, es posible publicar un comentario en el que se informe el reconocimiento del niño, la información de su paradero, e incluso describir características o agregar fotografías del agresor, o un video del niño en un lugar determinado. Las ventajas que conlleva integrar a la comunidad son: aumentar la consciencia situacional para mejorar la toma de decisiones en ambientes de emergencia, y la respuesta en tiempo real, tanto de los agentes de seguridad para validar el caso de desaparición, como de la comunidad en general para aportar evidencias que permitan la resolución pronta del caso de desaparición. Esta combinación de esfuerzos entre los agentes de seguridad (UA), comunidad (UNA) y las Tecnologías de Información (TIC) da como resultado una ciudad inteligente y segura. Así, se pretende vincular a Quito dentro del paradigma *Smart Safe City*.

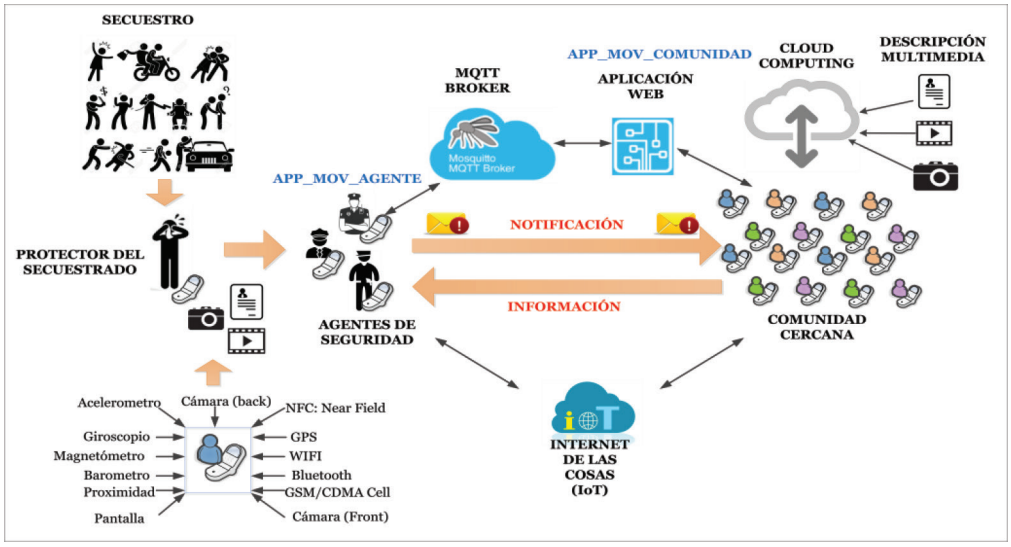


Figura 2 – Descripción técnica del escenario de notificación

Por otro lado, se debe destacar que el umbral de duración definido para el presente sistema en tiempo real está definido, como máximo, en una hora. Pues uno de los propósitos de la presente investigación es optimizar el tiempo de búsqueda y rescate de una persona desaparecida. En Ecuador, el 27% de los casos son resueltos el mismo día de la desaparición (Asfadec, 2018). Además, las estadísticas para alerta Amber en EE.UU revelan que, como mínimo, se necesita una hora para la búsqueda y rescate de un menor desaparecido (U. S. Department of Justice, 2018). Por ende, se ha tomado este tiempo como el umbral para la presente investigación.

3.1. Propuesta técnica

En la Figura 2 se observa la descripción técnica de la arquitectura. En primer lugar, en este trabajo hay que destacar la presencia del paradigma del IoT, pues ha permitido la

interconexión digital entre teléfonos inteligentes y un servidor de datos, a través de un protocolo de comunicaciones que reduce al mínimo el consumo de recursos *hardware* del dispositivo donde se encuentra almacenado. En ese sentido, se ha utilizado el protocolo de comunicaciones MQTT para informar de un caso de desaparición a la comunidad en general. MQTT ha sido, por años, el protocolo predilecto para trabajar en IoT debido a la poca cantidad de recursos que utiliza del *host* donde se almacena (IBM, 2017). En específico, se ha empleado el servidor MQTT "Mosquitto", conocido como "MQTT Broker", que actúa como intermediario entre los clientes que publican mensajes desde la aplicación móvil (Banks & Gupta, 2014) y los clientes interesados en recibir notificaciones de casos de desaparición, los cuales son los agentes de seguridad (UA) y la comunidad (UNA). Los mensajes circulan a través de Mosquitto y son presentados en la barra de notificaciones de cada uno de los dispositivos móviles que reciben el mensaje.

De esta forma, se logra proveer un sistema inteligente y eficiente que permite el almacenamiento, análisis y publicación de datos, proporcionando a Quito, el carácter de desarrollo e innovación de una ciudad inteligente. Actualmente, la tecnología empleada para el desarrollo del presente trabajo está siendo utilizada por varias ciudades inteligentes del primer mundo (*smart cities*), implementando sistemas en tiempo real, entre otros. Los ciudadanos pueden acceder a la información utilizando sus dispositivos móviles para orientarse y mejorar en la toma de sus decisiones, así como también, colaborar con el sistema mediante el envío de los datos de los sensores de su teléfono inteligente.

3.2. Comunicación

La descripción de la arquitectura de *software* se puede observar en la Figura 3(a), la cual implementa un diseño *software* en capas, mismo que desacopla al sistema en tres partes que son: capa de datos, negocio y presentación. La Capa de Datos describe el almacenamiento de los datos, siendo las tecnologías empleadas *MySql* para el almacenamiento y *Oracle Workbench* para la gestión de los datos. La lógica del negocio engloba todos los programas que permiten implementar las funcionalidades del sistema, siendo las tecnologías empleadas un servicio en la nube de tipo IaaS (Infraestructure as a Service), de Amazon Web Services (AWS), para el alojamiento de un servidor con sistema operativo Ubuntu Server 16.04 LTS, en el cual se ha instalado un broker MQTT para implementar el sistema de notificaciones, y un servicio Apache Web para la publicación de un servicio web. En la capa de presentación, se ha utilizado Android Studio para el desarrollo de la aplicación móvil, misma que es usada para recibir los datos proporcionados por los usuarios y mostrar los resultados. Respecto al protocolo de comunicaciones MQTT, está diseñado para el transporte de mensajes de tipo Publicador/Suscriptor en un ambiente Cliente/Servidor, mismo que se ejecuta sobre un protocolo confiable como TCP/IP. Cabe destacar que, incluso la aplicación de mensajería instantánea Messenger de Facebook, implementa MQTT (Keen, 2013) debido a la poca cantidad de recursos que utiliza el protocolo, pues permite el ahorro de la batería y ancho de banda de un teléfono inteligente, razones por las que IoT es el protocolo predilecto como mecanismo de transmisión de mensajes entre sensores. El servicio web ofertado sigue la Figura 3(a). Los mensajes que circulan entre cliente y servidor siguen el formato JSON (JavaScript Object Notation). De tal forma que, cada solicitud dirigida al servidor está plenamente identificada de acuerdo con su propósito. Es decir, cada petición cuenta

con un campo tipo que identifica la solicitud. Por ejemplo, como se observa en la Figura 3(b), el tipo “InsertarCaso” se refiere al ingreso de un nuevo caso de desaparición.

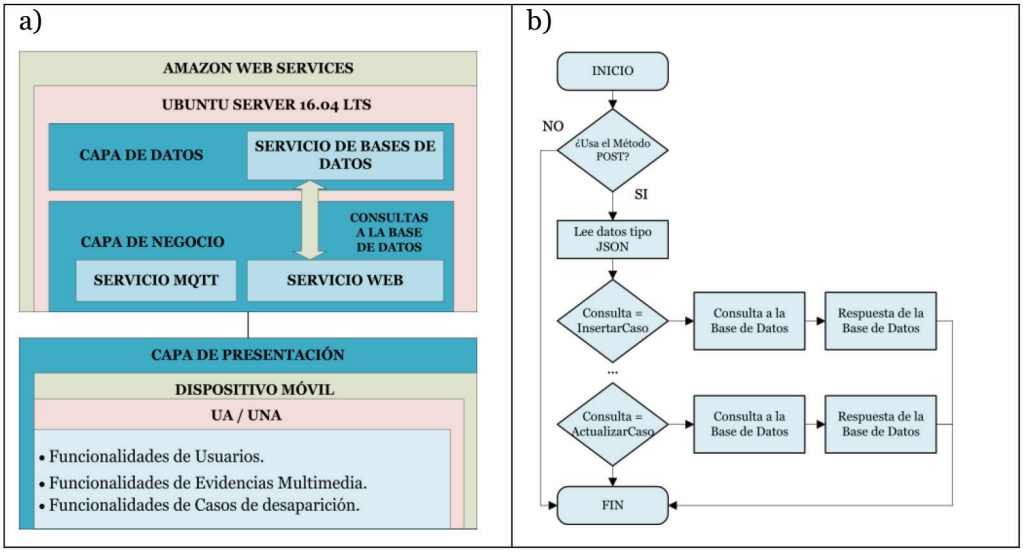


Figura 3(a) – Arquitectura de *software* del sistema. Figura 3(b) – Lógica del servicio web

Por otro lado, el tamaño del recurso multimedia por enviar depende de la configuración de cada dispositivo. Por ejemplo, si una fotografía enviada pesa varios megabytes, consecuentemente, aumenta el tiempo para mostrar estas imágenes en los dispositivos móviles. Con el fin de disminuir este tiempo, se ha realizado una copia de baja resolución de la imagen original, para agilizar la presentación de dichas imágenes en los dispositivos móviles.

Es importante tomar en cuenta que, para que los usuarios puedan interactuar de manera correcta con el prototipo y comunicarse fielmente con el servidor, cada usuario debe disponer de conectividad a Internet y su sensor GPS activado. Por tanto, es necesario consentir a la aplicación la manipulación de este sensor, pues si no se detecta la ubicación de la persona, no será posible recibir una notificación de un caso determinado. Estudios realizados en 2015 revelan que el 67% de los dueños de un *smartphone* mantienen el GPS encendido para utilizar servicios de navegación, ubicación, entre otros (Smith & Page, 2015). Esto indica que, en un escenario real, al menos, el 67% de los usuarios de *smartphones* recibirán notificaciones exactas de acuerdo con su ubicación geográfica. Se recalca que se ha tomado esta medida, considerando dos puntos. Primero, el objetivo del sistema, que es enviar notificaciones en tiempo real para la optimización de los tiempos de rescate, lo que representa que el secuestrado no podrá alejarse más del rango determinado en un corto tiempo; a esto se agrega una investigación previa de Zambrano A., Ortiz, Calderón y Zambrano, M., (2018) que define el área de notificación en 370,39 km^2. Y, segundo, el hecho de no causar pánico en comunidades alejadas dado que, obviamente, no podrán aportar información relevante al caso dada su lejanía.

4. Validación técnica

Dado que no es posible predecir un secuestro real, se ha diseñado un escenario simulado, como el detallado en la Figura 2, en el apartado de Arquitectura técnica. Se ha pedido la colaboración de 50 personas, de distintas edades y profesiones, con diferentes capacidades y características de *smartphones*, para utilizar el sistema durante un período de 30 días. Estas personas fueron divididas en un grupo de 35 que asumieron el rol de UNA, mientras que, los 15 restantes, actuaron como UA. Las pruebas consistieron en la simulación de varios casos de desaparición en distintas partes de la ciudad de Quito para determinar la variación de tiempos de rescate. Se recalca que para los usuarios UNA, los casos de desaparición eran desconocidos en forma, lugar, tiempo y características del secuestrado. Se ha definido un rango geográfico de 70 km², anteriormente justificado y mostrado en la Figura 4. Los usuarios que participaron en la validación técnica disponían de acceso a internet, considerando diferentes planes contratados y proveedores, y del sensor GPS activado, para determinar si el usuario se encuentra dentro del área donde se realizó la validación. Se hace notar la factibilidad del prototipo de ser personalizable a cualquier ciudad dependiendo de sus características, solamente variando el rango geográfico de notificación. Se ha logrado efectuar esta limitación geográfica, mediante la implementación del protocolo MQTT, pues, para recibir un mensaje a través de este protocolo, los usuarios deben estar suscritos a *topics* MQTT, medio de difusión dentro del protocolo mencionado.

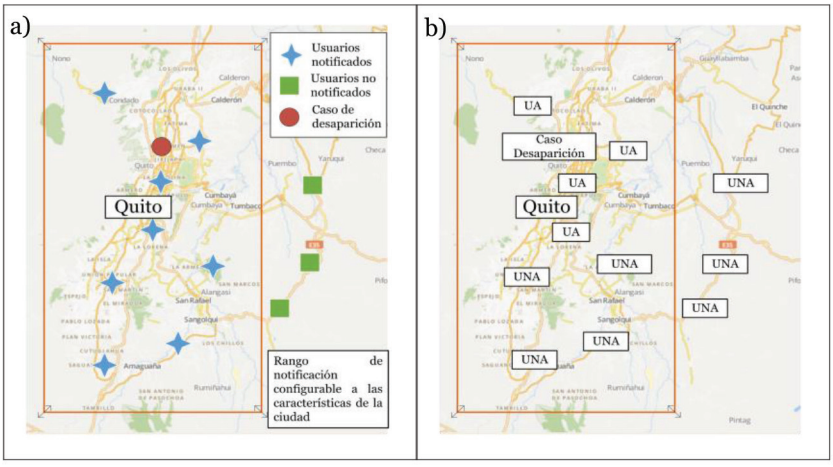


Figura 4 (a) – Área de notificación Quito–Ecuador. Figura 4(b) – Ubicación de usuarios en el área de notificación

El límite geográfico se ha abstraído como si fuera un *topic* MQTT; así, cada *topic* o también llamado *tema* MQTT podría representar diferentes ciudades, incluso abarcando países en su totalidad en un futuro. Por tanto, cada usuario, a través de la aplicación desarrollada, provee automáticamente sus coordenadas geográficas al sistema para determinar si se encuentra dentro del límite geográfico. Si esta verificación es correcta, se confirma al usuario su suscripción al tema (*topic*) que representa el área geográfica. Sin embargo, podría ser considerado en otro *topic* que represente otra ciudad aledaña.

Finalmente, se puede decir que las funcionalidades del sistema han cumplido su objetivo cabalmente según las exigencias de los agentes policiales de la DINASED, en cuando a su desempeño se refiere. Esto, deja en evidencia que la efectividad del sistema es directamente proporcional a la cantidad de usuarios que utilicen el prototipo; así como lo indica el *Crowdsensing*, pues, a medida que el grupo de individuos en el sistema se incremente, se requerirá de menor tiempo para detectar la ubicación del desaparecido y el porcentaje de error decrecerá.

5. Resultados y análisis

El presente sistema de notificaciones de personas desaparecidas fue probado en Quito, capital de Ecuador. Dada la incertidumbre para determinar la existencia de un secuestro, se ha planteado la validación de la propuesta, mediante la simulación de diez casos de desaparición, obteniendo el resultado de la Tabla 1. La derivación lograda corresponde a las pruebas de integración realizadas en el escenario y características detalladas en el anterior apartado. Para la simulación de los casos de desaparición, se ha contado con usuarios UA y UNA, durante un intervalo de tiempo de 30 días y con la colaboración de 50 personas. Se debe notar que, los casos de simulación de personas desaparecidas fueron ejecutados uno a la vez, en donde, los usuarios interactuaron publicando información relevante mediante el empleo de recursos multimedia. Cabe destacar que, cada prueba, fue desarrollada sin previo aviso y no se ha provisto de ninguna información adicional para recuperar a la persona desaparecida. En resumen, se ha procurado obtener un ambiente de pruebas totalmente limpio. Es decir, sin información adicional para los usuarios del sistema. De esta forma, se loga emular un escenario cercano a la realidad.

Tiempo registro (Min)	Tiempo publicación (Min)	Participación comunitaria	Distancia solución (Km)	Tiempo solución (Min)	Tiempo solución (Promedio)	Solución por usuario
8,6	10,3	37,0%	24,5	15,3	34,2	60,0% (UNA)

Tabla 1 – Resultados de los casos de desaparición

En consecuencia, se obtuvieron óptimos resultados detallados en la Tabla 1. El tiempo de registro promedio de un desaparecido fue menor a los 9 minutos, como período de respuesta del protector del desaparecido. El tiempo promedio para la publicación del caso de desaparición fue de 10,3 minutos, mostrando que los UA intervinieron rápidamente en la validación de los mencionados casos. El tiempo mínimo para la solución del caso fue de 15,3 minutos. Mientras que el tiempo promedio de solución fue de 34,2 minutos. Cabe destacar que este tiempo depende de la cantidad de UNA en el sistema, ya que al aumentar este número también aumenta la probabilidad de encontrar a un desaparecido (*Crowdsensing*). Por tanto, se hace notar que la colaboración comunitaria es prioritaria, pues en los casos simulados, se observa que el 60% fueron resueltos por un UNA. Es decir, por la colaboración de la comunidad cercana. A esto se agrega que, el porcentaje de participación comunitaria es del 37%, lo que indica que la población participa activamente en cuanto se refiere a la pronta recuperación de una persona desaparecida. Esto refleja las aportaciones multimedia a un caso de desaparición.: entre

imágenes, videos y audios. Además, las pruebas revelaron que la distancia promedio de recuperación fue de 24,5 km, lo que indica que los procedimientos fueron resueltos dentro de la misma ciudad.

Se ha medido el rendimiento de la aplicación desarrollada a través de las herramientas provistas por Android Studio y aplicaciones de terceros (Qualcomm Technologies, 2018). El intervalo de medición fue de 5 minutos y los resultados se pueden observar en la Figura 5. Por ejemplo, la potencia consumida del módulo MQTT fue de 0,495 vatios de potencia. En comparación con WhatsApp que consume más de 1 vatio de potencia. El consumo de la aplicación desarrollada es mínimo y no tiene impacto significativo en la batería de los teléfonos inteligentes de los usuarios finales. Se ha evaluado el sistema de notificaciones en los campos de usabilidad (facilidad), demostrando que se ha desarrollado un sistema capaz de optimizar los tiempos de búsqueda y recuperación de una persona desaparecida dentro de la ciudad. Para ello, se ha realizado una encuesta a los usuarios del sistema donde se ha pedido que valoren la dificultad para realizar acciones dentro de la aplicación móvil. Las valoraciones van de 0: extremadamente fácil; a 5: extremadamente difícil. Esta encuesta revela que la usabilidad de la aplicación se encuentra en el nivel 1: fácil. Además, se ha medido el tiempo requerido en segundos para completar acciones, donde el tiempo promedio utilizado es de 100 segundos, pues existieron acciones de llenado de formularios. A manera de ejemplo, se pueden observar los resultados de la usabilidad en la Tabla 2. Ciertamente, una virtud de este sistema es que tiene la posibilidad de adaptarse a otras ciudades de Latinoamérica que tienen el mismo problema social, ya sea en mayor o menor grado de severidad del problema.

Acciones del usuario no autorizado	**Dificultad**	**Tiempo (segundos)**
La aplicación móvil permitirá la creación de un nuevo Usuario No Autorizado	1,4	161,6
Un usuario del sistema tiene la posibilidad de actualizar su información personal	0,8	68,4
Los usuarios del sistema pueden incluir evidencia, ya sea, fotográfica, audiovisual o textual	1,4	73,2
Los usuarios del sistema podrán registrar un caso en el sistema	1,6	182,8
Los usuarios del sistema pueden revisar la información relacionada con un caso	0	10,6
Promedio	**1**	**99,3**

Tabla 2 – Promedio de los resultados obtenidos del usuario no autorizado

6. Conclusiones y trabajo futuro

En países latinoamericanos, la problemática social de la desaparición de personas es alarmante, pues, por año, se registran miles de casos de desaparición de menores de edad, especialmente. Por ejemplo, en Ecuador, se registran, en promedio, 500 denuncias de personas desaparecidas al mes. Este artículo presenta un sistema para la ubicación y alerta de personas desaparecidas mediante una plataforma distribuida y adaptable

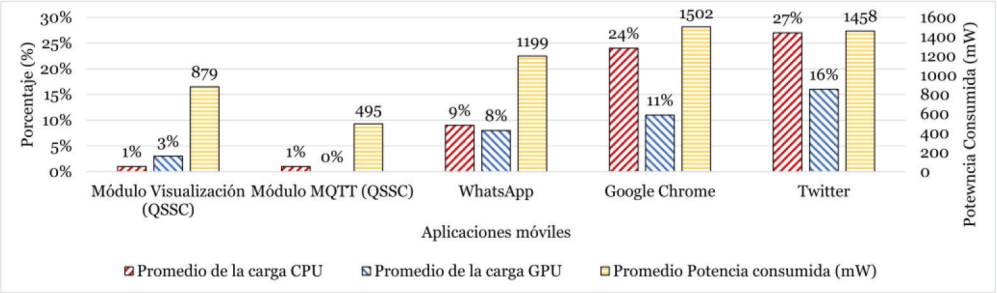


Figura 5 – Comparativa de potencia promedio de carga de CPU y GPU

a las condiciones de una ciudad. En este caso, la ciudad de Quito, contemplando la propagación en tiempo real de alertas e información multimedia relevante que colabore con la ubicación y recuperación de la persona implicada.

La participación de toda la comunidad es el eje principal de esta propuesta para la recuperación de una persona desaparecida, puesto que todos los ciudadanos son posibles agentes activos dentro de los procesos de ayuda. Las pruebas realizadas en la ciudad mostraron que, a medida que el *Crowdsensing* incrementaba, el intervalo de tiempo para recuperar a un desaparecido disminuía. Esto es una consecuencia directa de la colaboración multiagente, pues la autonomía y libre movimiento da lugar a la descentralización del sistema para responder efectivamente a una emergencia. La conectividad entre agentes y la comunidad ha permitido desarrollar un sistema de notificaciones con mejores prestaciones, respecto a proyectos destinados al mismo problema social, como Amber. En general, el tiempo promedio de la presente propuesta es mucho menor a la presentada por proyectos similares.

Este sistema de notificaciones ha superado, en términos técnicos y sociales, a otros proyectos de gran relevancia. En términos técnicos, los tiempos de recuperación promedio han disminuido a 34,2 minutos y, en términos sociales, la comunidad ha manifestado su conformidad y credibilidad en el sistema, pues las notificaciones y publicaciones son realizadas únicamente por usuarios autorizados. Adicionalmente, el sistema introduce a Quito en la corriente de las ciudades *smart safe*, ya que, la información recopilada por los dispositivos móviles puede servir para alertar a la ciudadanía de cualquier tipo de incidente riesgoso; creando una conciencia situacional colectiva, que permita tomar decisiones adecuadas frente a los diferentes tipos de problemas sociales que se presentan.

Durante el desarrollo del presente trabajo, se han utilizado tecnologías de vanguardia que aportan notables beneficios en lo referente al intercambio y compartición de información. La nube de AWS aporta alta confiabilidad y disponibilidad para los servicios ofertados por el sistema. Asimismo, la plataforma de AWS es lo suficientemente flexible para satisfacer los requerimientos de usuario que se presenten, inclusive durante una catástrofe de gran magnitud. Es decir, conforme se incremente la cantidad de información y peticiones de usuario para el sistema, los recursos de *hardware* del servidor se irán adaptando de manera dinámica.

Por otro lado, la arquitectura, extremo a extremo del sistema, y las características propias del protocolo MQTT, permiten que se pueda enviar mensajes bajo condiciones hostiles, como en el caso de una emergencia (alta latencia, congestión, poco ancho de banda, etc.). El bajo impacto y consumo de recursos que MQTT ofrece sobre los dispositivos, lo convierten en el protocolo predilecto para implementar sistemas de alerta y notificación.

Como trabajo futuro, se propone incursionar en temas como el desarrollo de una aplicación web para sectorizar de manera óptima el área de notificación. Se podría implementar una jerarquía de servidores MQTT para eliminar un posible punto de fallo en el sistema de notificaciones. Así, también, se podría aprovechar la característica de *topics* jerárquicos del protocolo MQTT para emular la división política de un país en general, y permitir a los usuarios autorizados escoger el cantón o provincia donde se debe llevar a cabo la notificación.

Agradecimientos: *Se agradece el financiamiento otorgado por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) en el proyecto PII-DETRI-2017-1 "Ecuador SmartSafe City: Sistema de Rescate antisecuestros en tiempo real utilizando comunicación IoT".*

Referencias

Arena Pública. (2017). ¿Cuántos niños desaparecidos hay en México? A ciencia cierta, nadie lo sabe. *Arena Pública*. Recuperado de https://www.arenapublica.com/articulo/2017/06/05/5902

Asfadec. (2018). Fiscalía debe clarificar las estadísticas sobre personas desaparecidas. *Confirmado.net*. Recuperado de https://confirmado.net/2018/03/19/asfadec-fiscalia-debe-clarificar-las-estadisticas-sobre-personas-desaparecidas/

Baldeón Puga, A. L., y Murillo Ortiz, R. A. (2017). Desaparecidos en Ecuador, situación actual. *UDLA, Quito*. Recuperado de http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8084

Banks, A. & Gupta, R. (2014). MQTT Version 3.1.1. *Oasis*. Recuperado de http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html

Baquia. (2008). Chips para prevenir secuestros. *Baquia*. Recuperado de https://www.baquia.com/emprendedores/chips-para-prevenir-secuestros

BBC Mundo. (2018). La tecnología que ayudó a encontrar a 3.000 niños en tan solo 4 días en un país donde cada año desaparecen medio millón. *BBC News Mundo*. Recuperado de http://www.bbc.com/mundo/noticias-44068357

El Telégrafo. (2017). Al mes se registran cerca de 500 denuncias de desaparecidos. *El Telégrafo*. Recuperado de https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/39/13/al-mes-se-registran-cerca-de-500-desaparecidos

Fortes, N., Pereira, J. H., y Costa, J. F. da. (2016). A adoção de serviços cloud computing pelas empresas portuguesas: O papel dos esforços de marketing. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (18), 33–48. DOI: /10.17013/risti.18.33-48

IBM. (2017). Conociendo MQTT. *IBM*. Recuperado de https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html

Keen, M. (2013). Why Facebook is using MQTT on mobile (The Mobile Frontier) [CT915]. *IBM*. Recuperado de https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/mobileblog/entry/why_facebook_is_using_mqtt_on_mobile

Kohli, A., Tripathi, P., & Naik, V. (Advisor). (2017). smartID card for school going children. *Repositorio DSpace*. Recuperado de https://repository.iiitd.edu.in/xmlui/handle/123456789/561

Lianming, Z. (2016). Construction of Emergency Logistics System Based on Internet of Things. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação; Lousada*, (18B), 1-10. DOI: 10.17013/risti.18B.1-10

McPherson, E. (2015). ICTs and Human Rights Practice (Report). *CGHR, Dept. of Politics and International Studies, University of Cambridge*. Recuperado de https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/251346

Ministerio del Interior. (2018). Estadísticas Generales Personas Desaparecidas Ecuador. *Ministerio del Interior*. Recuperado de http://www.desaparecidosecuador.gob.ec/estadisticas-generales

Oquendo, J. (2017). Dieciséis niños desaparecen al día en Guatemala. *Elperiodico.com*. Recuperado de https://elperiodico.com.gt/nacion/2017/02/19/dieciseis-ninos-desaparecen-al-dia-en-guatemala/

Qualcomm Technologies. (2018). App Tune-up Kit. *Qualcomm developer network*. Recuperado de https://developer.qualcomm.com/software/app-tune-up-kit

Smith, A., & Page, D. (2015). U.S. Smartphone Use in 2015. *PewResearchCenter*. Recuperado de http://www.pewresearch.org/wp-content/uploads/sites/9/2015/03/PI_Smartphones_0401151.pdf

U.S. Department of Justice. (2018). AMBER Alert - America's Missing: Broadcast Emergency Response. *U.S. Department of Justice*. Recuperado de https://www.amberalert.gov/

Zambrano, A., Ortiz, E., Calderón, X., & Zambrano, M. (2018). Quito SmartSafe City: Un Sistema en Tiempo Real de Rescate Usando Comunicación IoT. En *21st Conferencia Iberoamericana en Software Engineering*, 262-270. Bogotá: Colombia. Recuperado de http://toc.proceedings.com/40795webtoc.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 06/12/2018
Aceitação/Acceptance: 14/02/2019

Discriminación de cultivo y malezas en campos de papa utilizando técnicas de visión por computador

Iván García-Santillán[1], Marco Pusdá[2], Víctor Caranqui[3], Pablo Landeta[4], Fausto Salazar[5], Pedro Granda[6]

idgarcia@utn.edu.ec, mrpusda@utn.edu.ec, vmcaranqui@utn.edu.ec, palandeta@utn.edu.ec, fasalazar@utn.edu.ec, pdgranda@utn.edu.ec

[1,2,3,4,5,6] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

Pages:95–107

Resumen: Este estudio presenta un método adaptado para discriminación automática de cultivos y malas hierbas a través de imágenes capturadas en campos de papa, durante las etapas iniciales del crecimiento, aplicando un criterio de similitud, basado en la distancia de Mahalanobis. La detección de malezas es útil en agricultura de precisión para cuantificar y aplicar tratamientos selectivos. Las imágenes se obtuvieron, en proyección de perspectiva, con una cámara instalada a bordo de un tractor. La calidad de la imagen resulta afectada por las condiciones de iluminación no controladas y diferentes tamaños de plantas. El método propuesto consta de tres fases: segmentación, entrenamiento y pruebas. La principal contribución es la habilidad para discriminar cultivo y malas hierbas localizadas entre las líneas de cultivo y dentro del mismo surco. El rendimiento del método se comparó cuantitativamente con dos estrategias existentes, logrando una precisión del 89,65%, con tiempos de procesamiento inferiores a 330 ms.

Palabras-clave: discriminación cultivo/maleza; distancia de Mahalanobis; segmentación; visión por computador.

Crop/weed discrimination in potato fields using computer vision techniques

Abstract: This study presents an adapted method for crop/weed discrimination in images captured in potato fields during initial stages of growth, applying a criterion of similarity based on Mahalanobis distance. Weed detection is useful in precision agriculture to quantify and apply site-specific treatments. The images were obtained in perspective projection with a camera installed on board a tractor. The quality of the image is affected by uncontrolled lighting conditions and different plant sizes. The proposed method consists of three phases: segmentation, training and testing. The main contribution is the ability to discriminate crop and weeds located between the crop lines and within the same furrow. The performance of the method was compared quantitatively with two existing strategies, achieving an accuracy of 89,65% with processing times less than 330 ms.

Keywords*:* crop/weed discrimination; Mahalanobis distance; segmentation; computer vision

1. Introducción

Los sistemas de visión artificial aplicados a tareas agrícolas tienen gran potencial (Davies, 2009). El uso de esta tecnología en aplicaciones agrícolas puede reducir tareas manuales y costo de producción. La aplicación exclusiva de métodos tradicionales y manuales puede llevar al uso indiscriminado de productos químicos, el agotamiento del suelo y la contaminación ambiental (Astrand & Baerveldt, 2005).

La automatización de procesos agrícolas, utilizando sistemas de visión por computador, instalados a bordo de vehículos agrícolas (tractor, robot), está ganando relevancia hoy en día. La discriminación del cultivo y malas hierbas ha recibido especial dedicación en la agricultura de precisión para la aplicación de tratamientos selectivos. En efecto, las plantas localizadas entre las líneas de cultivo (inter-líneas) pueden ser consideradas, con alta probabilidad, como malezas (RHEA, 2014). La identificación de las malas hierbas localizadas dentro del mismo surco (intra-línea) es otra tarea determinante. Sin embargo, este problema es complejo de tratar, debido a que el cultivo y las malas hierbas (intra-línea, principalmente) se encuentran entrelazados y solapados con un alto grado de similitud en sus firmas espectrales (colores verdes). Existen también otras dificultades comunes en los entornos agrícolas, que afectan a la identificación del cultivo y malas hierbas, tales como: a) iluminación no controlada, destacando las sombras y excesiva/pobre iluminación, que deterioran la calidad de la imagen; b) diferentes alturas y volúmenes de plantas; c) alta densidad de malas hierbas.

La idea de automatizar algunas tareas agrícolas, utilizando visión artificial, proviene del proyecto RHEA (2014), en el que un tractor autónomo se dedicó a aplicar tratamientos selectivos en campos de maíz, donde la detección y cuantificación de la maleza fue un objetivo esencial. Varias soluciones han sido propuestas para discriminación entre cultivo y malas hierbas (Bossu, Gée, Jones & Truchetet, 2009; Burgos-Artizzu, Ribeiro, Guijarro & Pajares, 2011; Guerrero, Pajares, Montalvo, Romero & Guijarro, 2012; Montalvo et al., 2013). Las técnicas están basadas en las siguientes categorías (Guijarro, Riomoros, Pajares & Zitinksi, 2015): a) índice de vegetación; b) umbralización; c) aprendizaje; y d) *wavelets*. Sin embargo, debido a la dificultad intrínseca involucrada en los entornos agrícolas al aire libre, aún es requerido un esfuerzo extra de investigación.

De acuerdo con las complejidades descritas, este trabajo tiene como objetivo adaptar y validar un método de visión por computador, basado en García-Santillán & Pajares (2018), para la discriminación de cultivo y malas hierbas en sembríos de papa, en etapas iniciales de crecimiento (hasta 40 días), aplicando un criterio de similitud basado en la distancia de Mahalanobis, derivado de un clasificador Bayesiano. La adaptación del método original (García-Santillán & Pajares, 2018), validado en campos de maíz, a otro tipo de cultivo (sembrío de papa) con otras características fenológicas y fisiológicas, constituye el principal aporte en esta investigación.

El método adaptado consta de tres fases: a) segmentación; b) entrenamiento; y, c) pruebas. Las tres fases se ejecutan en línea (*online*) para cada imagen, donde el entrenamiento es específico de cada imagen de forma individual, sin necesidad de un entrenamiento previo (*offline*), a diferencia de lo que ocurre en los enfoques basados en aprendizaje supervisado. Adicionalmente, el método identifica, separadamente,

las malezas localizadas en ambos espacios tanto inter- como intra-línea en hileras de cultivo rectas y curvadas. Algunos trabajos recientes para detección de líneas de cultivo en campos de maíz (García-Santillán, Guerrero, Montalvo, & Pajares, 2017; Guerrero, Ruz & Pajares, 2017; Zhang et al., 2018) y papa (García-Santillán & Pajares, 2018) fundamentan también el presente estudio.

A continuación, se explica detalladamente el diseño de la propuesta.

2. Materiales y métodos

2.1. Colección de imágenes

Las imágenes utilizadas para experimentación pertenecen a cultivos de papa (*solanum tuberosum*) localizados en Ibarra, Ecuador. Fueron capturadas con una cámara GoPro Hero 3+ Black Edition, con una longitud focal de 3 mm (García-Santillán et al., 2018). La cámara estuvo instalada en la parte frontal de un tractor New Holland TD90 y ubicada a una altura, entre 1,80 m y 2 m desde el suelo, con una inclinación entre 40° y 50°, con el objetivo de enfocar la región de interés (ROI), donde se aplican los tratamientos selectivos. Las imágenes se almacenaron en formato JPG con una resolución de 3 000×2 250 píxeles (7 Mpx).

Un conjunto de 320 imágenes se adquirió aleatoriamente durante enero y febrero de 2017. Las imágenes se obtuvieron bajo diferentes condiciones de iluminación y etapas de crecimiento. La Figura 1 muestra dos ejemplos ilustrativos de las imágenes capturadas. En (a) plantas de diferentes tamaños con presencia moderada de malezas en un día soleado; y (b) baja presencia de malas hierbas en un día nublado. Las líneas de cultivo fueron espaciadas, en promedio, a 0,90 m.

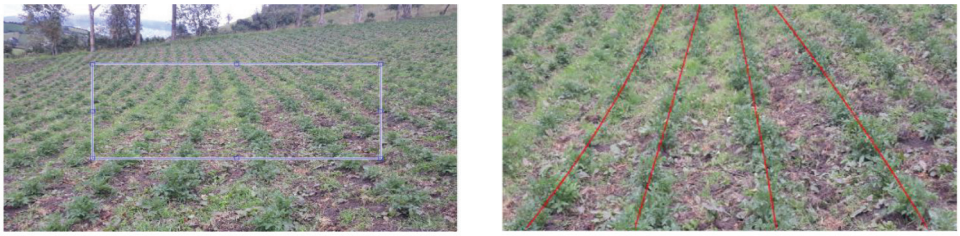
El tamaño y la ubicación de la ROI se establecieron para detectar 4 hileras de cultivos (Gonzalez-de-Santos et al., 2016), conteniendo una resolución suficiente para detectar objetos de interés (Pajares et al., 2016). Este número es suficiente para guiado automático de vehículos agrícolas y la identificación de malas hierbas (RHEA, 2014). La longitud de la ROI se estableció en 5 m (en el campo) y tiene una resolución de 2 000×650 píxeles (ancho×largo) en la imagen proyectada (2D), la cual siempre está localizada en la misma posición dentro de la imagen.



(a) *(b)*

Figura 1 – Ilustraciones de imágenes bajo diferentes condiciones; (a): día soleado con nivel moderado de malezas; y (b): día nublado con densidad baja de malezas

La Figura 2(a) muestra la ROI encerrada en un rectángulo. Las imágenes fueron procesadas utilizando el *software* Matlab (R2015a), utilizando un procesador Intel Core i7 2.0 GHz (4ª generación), 8GB RAM y Windows 8.1 Pro (64-bits).



(a) *(b)*

Figura 2(a) – delimitación de la ROI en la imagen original RGB; Figura 2(b) – ROI con cuatro líneas de cultivo detectadas utilizando el método propuesto por García-Santillán et al. (2017)

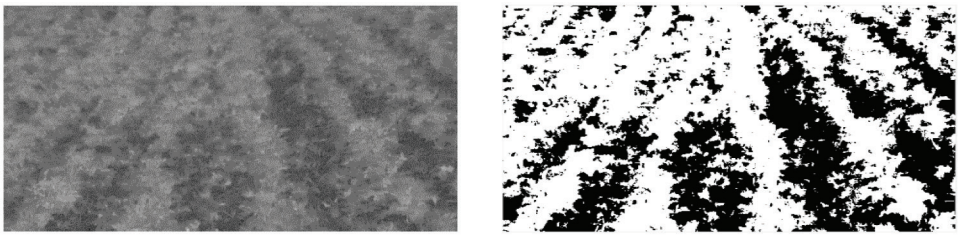
2.2. Arquitectura del método propuesto

El método adaptado está basado en García-Santillán & Pajares (2018), validado originalmente en campos de maíz y consiste en tres fases: a) segmentación; b) entrenamiento; y, c) pruebas. Las fases del proceso se ejecutan en línea (*online*), como se indicó antes. Este procedimiento se diseñó para ejecutarse como una etapa posterior al proceso de detección de líneas de cultivo; es decir, una vez que cada hilera de cultivo ha sido modelada matemáticamente por sus correspondientes ecuaciones como una línea recta ($y = mx + b$), o cuadrática ($y = ax^2 + bx + c$) dentro de la ROI. La Figura 2(b) muestra la ROI con cuatro líneas de cultivo detectadas (líneas rojas), utilizando el método propuesto por García-Santillán et al. (2017). Las fases del método se detallan a continuación.

2.3. Segmentación

Esta fase se diseñó con cuatro procesos que se enumeran enseguida. El proceso de segmentación produce dinámicamente dos imágenes binarias llamadas máscaras (o plantillas) para limitar los píxeles que pertenecen a los cultivos y malas hierbas, respectivamente.

a. Determinación de la ROI: Definida tal y como se indicó previamente. La Figura 2(a) muestra una ROI establecida.
b. Identificación de verdes: El índice de vegetación ExG se seleccionó debido a su buen comportamiento (Guijarro et al., 2015). La Figura 3(a) muestra la imagen resultante en escala de grises después de aplicar ExG a la ROI original (RGB).
c. Umbralización: Se realiza una única umbralización para separar las plantas verdes (cultivos y malas hierbas) del suelo. El proceso se basó en el método de Otsu (1979) debido a su buen comportamiento en diferentes escenarios, incluyendo los entornos agrícolas al aire libre (Guijarro et al., 2015). La Figura 3(b) muestra la ROI como una imagen binaria, conteniendo píxeles blancos para las plantas verdes y píxeles negros para el suelo.



(a) *(b)*

Figura 3(a) – imagen en escala de grises después de aplicar ExG a la ROI original; Figura 3(b) – imagen binaria después de aplicar la umbralización, basada en Otsu (1979).

d. Creación de plantillas*:* Tomando como referencia las ecuaciones que modelan las líneas de cultivo (Figura (2b)), se establecen márgenes de igual tamaño para cada una. La Figura 4 muestra las líneas de cultivo estimadas (en rojo) con los márgenes respectivos (en amarillo).

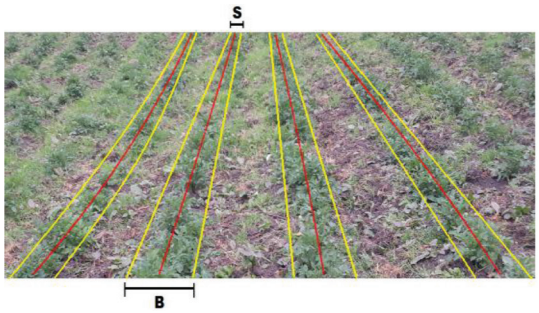


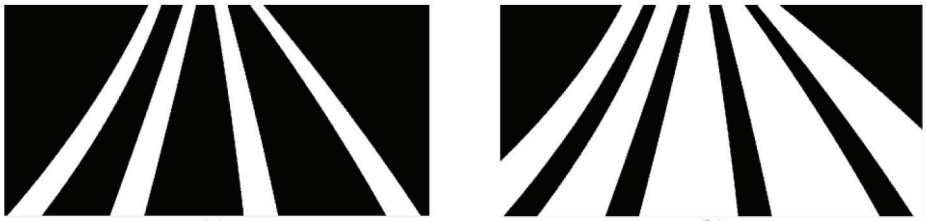
Figura 4 – Ilustración de la ROI con cuatro líneas de cultivo estimadas (en rojo) con los márgenes respectivos (en amarillo).

Cada margen tiene un ancho (*B*) en la base de la ROI, el cual disminuye una cierta cantidad (*l*) según asciende por las líneas de cultivo hacia la parte superior de la ROI. Se calcula como sigue:

$$l = \frac{B - S}{A} \tag{1}$$

Donde *B,* es el ancho en la base de la ROI; *S,* el ancho en la parte superior de la ROI; y *A,* la altura de la ROI, todas en términos de píxeles. Los parámetros *B* y *S* se establecen de acuerdo con la etapa de crecimiento del cultivo. En este estudio, *B* se definió por experimentación entre 130 y 190 píxeles, que representan entre 20 y 30 cm, respectivamente; mientras que *S* se fijó en el 30% de los valores previos, de acuerdo con la configuración geométrica utilizada en el sistema de visión. Una vez establecidos los márgenes (Figura 4) se crean dos imágenes binarias (máscaras). La primera máscara contiene píxeles blancos ubicados dentro de los cuatro márgenes (espacio intra-línea),

como se aprecia en la Figura 5(a). La segunda máscara es complementaria a la primera y contiene píxeles blancos ubicados por fuera de los márgenes. Es decir, en los espacios inter-líneas, de acuerdo con la Figura 5(b).



(a) (b)

Figura 5 – Imágenes binarias (máscaras); (a): máscara conteniendo cuatro márgenes (intra-línea); (b): máscara conteniendo cinco espacios inter-líneas

Nótese que las máscaras se construyen dinámicamente para cada imagen, en un proceso en línea, representando una contribución relevante en la investigación.

2.4. Entrenamiento

Con las dos mascaras binarias obtenidas (Figuras 5ª y 5b), se llevan a cabo dos procesos para seleccionar los píxeles que pertenecen a las dos clases (cultivos y malas hierbas). Se asume que los valores espectrales de las imágenes de las muestras en ambas clases se pueden modelar mediante sendas funciones de densidad de probabilidad gaussianas (Duda, Hart & Stork, 2001), las cuales quedan definidas por dos parámetros cada una, es decir, promedio o centroide y matriz de covarianza. Estos parámetros deben estimarse como sigue:

Selección de muestras de píxeles para las clases cultivo y malas hierbas

Se realiza una operación lógica AND entre la imagen binaria que contiene la vegetación (Figura 3(b)) con cada una de las máscaras binarias (Figuras 5a y 5b), identificando las muestras para cada clase (malezas/cultivo) como se muestran en las Figuras 6(a) y 6(b), respectivamente. Los píxeles blancos en las imágenes binarias resultantes proporcionan las localizaciones de los píxeles en la ROI original que contienen los valores espectrales RGB, los cuales son las muestras para la estimación de los parámetros buscados.

$$\boldsymbol{x} \in R^3$$



(*a*) (*b*)

Figura 6(a) – píxeles que representan la clase de malas hierbas inter-líneas; Figura 6(b) – píxeles que pertenecen a la clase cultivo, los cuales serán refinados posteriormente.

Estimación de parámetros: centroides y matrices de covarianza

El centroide se define como el vector que contiene el promedio para cada componente espectral *R*, *G*, *B*. La matriz de covarianza es una matriz cuadrada y simétrica (3×3) que contiene las varianzas y covarianzas asociadas con los tres componentes espectrales. La estimación de estos parámetros es como sigue:

- Se seleccionan desde la ROI los píxeles RGB que representan la clase de malas hierbas inter-líneas, como en la Figura 6(a), calculando el centroide $\overline{W} = (\overline{R}_w, \overline{G}_w, \overline{B}_w)$ y la matriz de covarianza.
- Se seleccionan desde la ROI los píxeles RGB que representan la clase cultivo, como en la Figura 6(b), y se calculan el centroide $\overline{C} = (\overline{R}_c, \overline{G}_c, \overline{B}_c)$ y la matriz de covarianza.

2.5. Pruebas

Dados los centroides y matrices de covarianza para cada clase (cultivo y malas hierbas inter-líneas), se procede a la discriminación entre el cultivo y malezas intra-línea que aún no han sido identificadas en la Figura 6(b). Los procesos se sintetizan en los siguientes tres pasos: (a) cálculo de la distancia de Mahalanobis, (b) clasificación de plantas y (c) post-clasificación.

Cálculo de la distancia de Mahalanobis

Mahalanobis (1936) propuso una distancia entre un conjunto de puntos y el centro de gravedad de un espacio multivariado. Esta métrica permite clasificar las observaciones en grupos predefinidos (malezas/cultivo), a través de una medida de similitud espectral considerando la correlación entre las variables (*R*, *G*, *B*) que definen las componentes espectrales. La elección de esta distancia se justifica por el hecho de que las variables *R*, *G*, *B* no son estadísticamente independientes, sino más bien manifiestan un cierto grado de correlación. La distancia de Mahalanobis al cuadrado se define en la Ec. (2), donde $\boldsymbol{x} \in R^3$ representa el vector con los valores espectrales de los píxeles RBG de cada clase (cultivo/malas hierbas), μ el centroide y Cov_x la matriz de covarianza, respectivamente.

$$D_M^2 = (\boldsymbol{x} - \boldsymbol{\mu})^T \; Cov_x^{-1} \; (\boldsymbol{x} - \boldsymbol{\mu}) \tag{2}$$

Las distancias de Mahalanobis para cada clase se obtienen utilizando la Ec. (2):

$$D_w = D_M^2(w, \overline{W}), \quad \forall\, w \in clase\ de\ malas\ hierbas \tag{3}$$

$$D_c = D_M^2(c, \overline{C}), \quad \forall\, c \in clase\ cultivo$$

donde *w*, *c* representan los píxeles que pertenecen a las clases de malas hierbas y cultivo, respectivamente; $\overline{W}$ y $\overline{C}$ los centroides obtenidos anteriormente. Las distancias calculadas (D_w y D_c) se utilizan en la siguiente fase para la discriminación de plantas en el espacio intra-línea. Es decir, cultivos de papa y malas hierbas, ambos entremezclados y solapados con colores similares.

Clasificación de plantas

Se realiza una clasificación de los píxeles de la clase cultivo (Figura 6(b)). La distancia de Mahalanobis se utiliza como medida de similitud y la regla de decisión:

$$Si\ (D_c \leq D_w)\ entonces$$

$$Píxel \in cultivo$$

$$de\ lo\ contrario$$

$$Píxel \in malas\ hierbas\ intra\text{-}línea \quad (4)$$

En este punto, se identifican tres grupos de píxeles: cultivo (plantas de papa) y malas hierbas inter-, e intra-línea.

Post-clasificación

Con la finalidad de mejorar los resultados de la clasificación previa, se aplicó una etapa de refinamiento a la imagen binaria resultante de cultivo (Figura (6b)), utilizando un filtrado morfológico de mayoría con una vecindad de 7×7. El efecto de variar el tamaño para 3×3 y 5×5 fue también estudiado. Este filtrado permite homogenizar la imagen resultante, eliminando píxeles espurios que usualmente ocurren en la clasificación en imágenes agrícolas. Este filtro asigna el píxel central a la categoría con la mayoría de los valores en la vecindad. La Figura 7 muestra la clasificación y refinamiento de los píxeles que pertenecen a la clase cultivo (Figura 6(b)) con la aplicación del filtro de mayoría 7×7. En (a): malas hierbas intra-línea, y (b): cultivo refinado, conteniendo solo plantas de papa.



(a) *(b)*

Figura 7 – Clasificación y refinamiento de píxeles de la clase cultivo (Figura (6b)), aplicando filtrado de mayoría 7×7; (a): malas hierbas intra-línea; (b): cultivo refinado

Como se indicó previamente, se identifican tres conjuntos de píxeles: a) cultivo (Figura 7(b)); b) malas hierbas inter-líneas (Figura 6(a)); y c) malas hierbas intra-línea (Figura 7(a)). La Figura 8(a) muestra las clases de píxeles etiquetadas en colores. El cultivo en azul, las malezas intra-línea en rojo y las inter-líneas en amarillo. Los principales rodales de malezas intra-línea se muestran en círculos.

A continuación, se indican los resultados obtenidos por el método adaptado.

3. Resultados y discusión

Con la finalidad de evaluar cuantitativamente la estrategia propuesta, se seleccionaron aleatoriamente 20 imágenes con diferentes densidades de malas hierbas y condiciones de iluminación. Las imágenes fueron analizadas visualmente por un experto para identificar las plantas de cultivo y malezas (inter- e intra-línea). Las imágenes RGB fueron etiquetadas manualmente, generando una nueva imagen RGB segmentada, constituyendo el conjunto de imágenes de referencia (*ground-truth*) utilizado para las distintas pruebas. Para facilitar su creación y el proceso de evaluación, cada ROI (2000×650 píxeles) se dividió en 25 subimágenes de igual tamaño (400×130), las cuales facilitan la inspección visual del experto. De esta forma, se crearon un total de 500 subimágenes etiquetadas manualmente.

La evaluación de la clasificación se realizó analizando la matriz de confusión y calculando la tasa de exactitud y el coeficiente Kappa (Bossu et al., 2009; Castillejo-González et al. 2009). La tasa de exactitud es la proporción entre el número de píxeles clasificados correctamente y el número total de píxeles. El coeficiente Kappa (*k*) indica si los resultados obtenidos en la matriz de confusión son significativamente mejores que los producidos en una clasificación al azar. Este valor se sitúa en el rango [0, 1], siendo 1 el resultado mejor. En promedio, se obtuvo una tasa de exactitud del 89,65% con filtrado de mayoría de tamaño 7×7 en las imágenes probadas (Tabla 1). Utilizando los tamaños de filtro de 5×5 y 3×3 se obtuvieron los valores de 84,32% y 81,56%, respectivamente.

Clasificador	**Filtro**	**Exactitud (%)**	**Kappa (*k*)**
Mahalanobis	7x7	89,65	0,75
	5x5	84,32	0,68
	3x3	81,56	0,61

Tabla 1 – Exactitud promedio (%) y coeficiente Kappa (*k*) para el clasificador de Mahalanobis.

En promedio, los coeficientes Kappa (*k*) con filtrado de mayoría para los tamaños 7×7, 5×5 y 3×3 fueron 0,75, 0,68 y 0,61, respectivamente. Todos los valores poseen un grado de acuerdo considerable, según con la escala propuesta por Landis & Kock (1977). El filtrado con tamaño 7×7 superó los resultados en ambas medidas: exactitud (89,65%) y coeficiente Kappa (k = 0,75). Esto se debe a que se generan regiones compactas más significativas, que facilitan la cuantificación de las malezas para la aplicación de tratamientos selectivos en agricultura de precisión. La Figura 8 muestra dos imágenes de ejemplo con la identificación del cultivo (papa) y malas hierbas utilizando el filtrado de mayoría con tamaño 7×7 a partir de las imágenes de la Figura 1. El método de clasificación con vecindad de 7×7 manifiesta un buen comportamiento, satisfaciendo los requerimientos de valores comúnmente aceptados, es decir, superior al 85% en la exactitud (Foody, 2002) y mayor que 0,70 en el coeficiente Kappa (Montserud & Leamans, 1992).

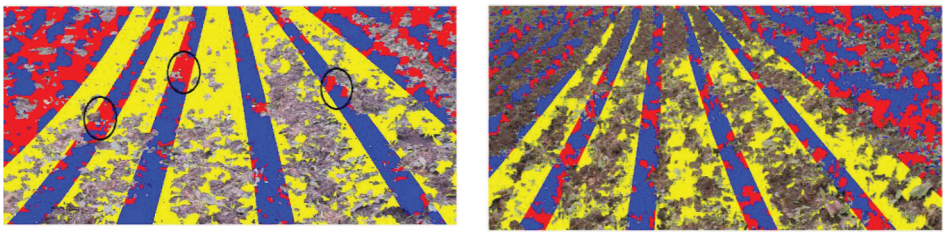


Figura 8 – Ejemplos de imágenes con la identificación del cultivo y malezas utilizando filtrado de mayoría 7×7, a partir de las imágenes de la Figura 1. Plantas de cultivo etiquetadas en azul, malezas intra-línea en rojo e inter-líneas en amarillo. Los principales rodales de malezas intra-línea se muestran en círculos.

El paso de refinamiento, utilizando el filtrado de mayoría, mejoró significantemente la exactitud de la clasificación inicial en aproximadamente un 10%. La explicación se encuentra en la disminución de píxeles clasificados incorrectamente (falsos negativos) que pertenecen a los bordes de las hojas y las áreas sombreadas, las cuales son típicas en los entornos agrícolas al aire libre. A partir de los resultados mostrados en la Tabla 1, se deduce que la aplicación de la distancia de Mahalanobis es adecuada para la clasificación de los píxeles. Este hallazgo está en concordancia con los resultados reportados por Castillejo-González et al. (2009) y se explica por el hecho de que las componentes espectrales *R*, *G*, *B* de los píxeles que pertenecen a la vegetación poseen un cierto grado de correlación. La distancia de Mahalanobis toma en cuenta este hecho.

De aquí en adelante, el método propuesto se denota por ODMD (*Online Discrimination by Mahalanobis Distance*), manteniendo la nomenclatura original utilizada por García-Santillán & Pajares (2018). Su rendimiento fue comparado con dos métodos existentes: a) SVM (*Support Vector Machines*), propuesto por Guerrero et al. (2012); y c) AES, propuesto por Montalvo et al. (2013), aplicando una doble umbralización y operaciones morfológicas. Estos métodos fueron seleccionados debido a sus buenos resultados reportados. Todos los métodos fueron implementados en Matlab. La Tabla 2 muestra los porcentajes de aciertos (exactitud) obtenidos en las imágenes probadas. Se observa que ODMD (89,65%) tiene un valor similar a SVM y es ligeramente inferior a AES. Sin embargo, ODMD posee dos ventajas importantes: a) la fase de entrenamiento se realiza en línea (Figura 6(a), (b)), a diferencia de los métodos SVM y AES donde se requiere un entrenamiento exhaustivo previo a la toma de decisión durante la clasificación; b) la fase de pruebas identifica separadamente ambos tipos de malas hierbas: inter-, e intra-línea (Figura 8).

% Aciertos	**SVM**	**AES**	**ODMD**
Promedio	90,0	90,4	89,65
Ranking	2	1	3

Tabla 2 – Porcentaje promedio de aciertos obtenidos por los métodos SVM, AES y ODMD adaptado (*Online Discrimination by Mahalanobis Distance*)

El coste computacional del clasificador fue también cuantificado. El tiempo de ejecución para el proceso completo fue de 330 ms. El aumento del tiempo de ejecución, con respecto al reportado en García-Santillán & Pajares (2018), se puede atribuir al hecho de que el cultivo de papa es más frondoso que el cultivo de maíz, procesando un mayor número de píxeles en las etapas involucradas.

Finalmente, respecto a las limitaciones del método ODMD, se deben considerar dos restricciones para su aplicación: a) el método requiere previamente del proceso de detección de líneas de cultivo; y b) la aplicación en etapas iniciales de crecimiento (hasta 40 días), de lo contrario, las plantas y sus hojas se extienden más allá de los márgenes del cultivo (Figura 5(a)), lo cual puede ser identificado incorrectamente como malezas inter-líneas, disminuyendo el rendimiento del método.

4. Conclusiones y trabajo futuro

Se propone un método adaptado de visión por computador, basado en García-Santillán & Pajares (2018), para la discriminación del cultivo y malezas a partir del proceso de detección de líneas de cultivo, utilizando imágenes adquiridas sobre campos de papa en etapas iniciales de crecimiento (hasta 40 días), a través de una cámara a color instalada en la parte frontal de un tractor bajo la proyección de perspectiva. El método se basa en la utilización de la distancia de Mahalanobis como medida de similitud espectral y consta de tres fases: segmentación, entrenamiento y pruebas.

El procedimiento es adecuado bajo diferentes condiciones de iluminación y densidades de malas hierbas (Figura 1), identificando claramente los cultivos y malas hierbas inter-, e intra-línea (Figura 8). El enfoque de la distancia de Mahalanobis con el filtrado de mayoría con tamaño 7×7 trabaja apropiadamente, con una exactitud del 89,65% y un coeficiente Kappa de 0,75 (Tabla 1), cumpliendo los requerimientos de valores comúnmente aceptados. El rendimiento del método adaptado está en concordancia con dos procedimientos existentes (Tabla 2), con resultados aceptables y tiempos de procesamiento inferiores a 330 ms.

Finalmente, como trabajos a futuro se sugieren: a) identificación de varias especies de malezas, considerando otras características como la textura y la forma de la hoja o planta; y, b) desarrollo de algoritmos paralelos, aprovechando las ventajas que ofrece el paralelismo en las arquitecturas actuales con varios núcleos.

Referencias

Astrand, B., & Baerveldt, A. J. (2005). A vision based row-following system for agricultural field machinery. *Mechatronics, 15*(2), 251–269.

Bossu, J., Gée, Ch., Jones, G., & Truchetet, F. (2009). Wavelet transform to discriminate between crop and weed in perspective agronomic images. *Computers and Electronics in Agriculture, 65*, 133–143.

Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M., & Pajares, G. (2011). Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture, 75*(2), 337–346.

Castillejo-González, I. L., López-Granados, F., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J. M., Jurado-Expósito, M., & Mesas-Carrascosa, F. J. (2009). Object and pixel-based classification for mapping crops and their agri-environmental associated measures in QuickBird images. *Computers and Electronics in Agriculture, 68*, 207–215.

Davies, E. (2009). The application of machine vision to food and agriculture: a review. *The Imaging Science Journal, 57*(4), 197–217.

Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2001). *Pattern Classification*. New York: John Wiley & Sons.

Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment, 80*(1), 185–201.

García-Santillán, I., Montalvo, M., Guerrero, M., & Pajares, G. (2017). Automatic detection of curved and straight crop rows from images in maize fields. *Biosystems Engineering, 156*, 61–79.

García-Santillán, I., & Pajares, G. (2018). On-line crop/weed discrimination through the Mahalanobis distance from images in maize fields. *Biosystems Engineering, 166*, 28–43.

García-Santillán I., Peluffo-Ordoñez D., Caranqui V., Pusdá M., Garrido F., & Granda P. (2018). Computer Vision-Based Method for Automatic Detection of Crop Rows in Potato Fields. In: Rocha Á., Guarda T. (eds). Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018). *Advances in Intelligent Systems and Computing*, (721), 355–366. Springer, Cham.

Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernandez-Quintanilla, C., López-Granados, F., Brandstoetter, M., Tomic, S., Pedrazzi, S., Peruzzi, A., Pajares, G., Kaplanis, G., Pérez Ruiz, M., Valero, C., Del Cerro, J., Vieri, M., Rabatel, G., Debilde, B., (2016). Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agriculture*, 1–41.

Guerrero, J. M., Pajares, G., Montalvo, M., Romeo, J., & Guijarro, M. (2012). Support Vector Machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications, 39,* 11149–11155.

Guerrero, J. M., Ruz, J., & Pajares, G. (2017). Crop rows and weeds detection in maize fields applying a computer vision system based on geometry, *Computers and Electronics in Agriculture*, (142), 461–472.

Guijarro, M., Riomoros, I., Pajares, G., & Zitinski, P. (2015). Discrete wavelets transform for improving greenness image segmentation in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture, 118*(1), 396–407.

Landis, J.R., & Kock, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*, 159–174.

Mahalanobis, P. (1936). On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Science, 2*(1), 49–55.

Montserud, R.A., & Leamans, R. (1992). Comparing global vegetation maps with the kappa statistic. *Ecological Modelling, 62*, 275–293.

Montalvo, M., Guerrero, J. M., Romeo, J., Emmi, L., Guijarro, M., & Pajares, G. (2013). Automatic expert system for weeds/crops identification in images from maize fields. *Expert Systems with Applications, 40*(1), 75–82.

Otsu, N. (1979). Threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 9*(1), 62–66.

Pajares, G., García-Santillán, I., Campos, Y., Montalvo, M., Guerrero, J. M., Emmi, L., Romeo, J., Guijarro, & M., Gonzalez-de-Santos, P. (2016). Machine-Vision Systems Selection for Agricultural Vehicles: A Guide. *Journal of Imaging, 2*, 34.

RHEA. (2014). *Proceedings of the Second International Conference on Robotics and Associated High-Technologies and Equipment for Agriculture and Forestry. New trends in mobile robotics, perception and actuation for agriculture and forestry* (P. Gonzalez-de-Santos & A. Ribeiro Eds.). Madrid: PGM. Spanish Research Council-CAR. Recuperado de http://www.rhea-project.eu/Workshops/Conferences/Proceedings_RHEA_2014.pdf

Zhang, X., Li, X., Zhang, B., Zhou, J., Tian, G., Xiong, Y., & Gu, B. (2018). Automated robust crop-row detection in maize fields based on position clustering algorithm and shortest path method. *Computers and Electronics in Agriculture, volume 154*, 165–175.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 07/11/2018
Aceitação/Acceptance: 19/01/2019

Evaluación de la calidad en uso de un sistema web/ móvil de control de asistencia a clases de docentes y estudiantes aplicando la norma ISO/IEC 25000 SQuaRe

Erika Paola Reina Guaña[1], Susana Gabriela Patiño Rosado[2], Fabián Quijosaca[3]

ereina2804@gmail.com, susana.patino@pucese.edu.ec, fabianq44@gmail.com

[1] Unidad Educativa Fiscomisional Sagrado Corazón, 080101, Esmeraldas, Ecuador.

[2] Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, 080100, Esmeraldas, Ecuador.

[3] LatAm Autos, 170501, Quito, Ecuador.

Pages:108–120

Resumen: El presente artículo es el resultado del análisis y medición de las métricas de calidad en uso, de la norma ISO/IEC 25000 SQuaRe, aplicadas a un sistema de control de asistencia a clases de docentes y estudiantes. Se detalla la especificación de cada métrica, obtenida de la ISO/IEC 25022. Los datos para las mediciones se obtuvieron en un contexto real de uso. Los valores resultantes se alcanzaron de acuerdo con los rangos de medición que especifican los niveles de puntuación y grados de satisfacción del *software*. Las características de calidad en uso seleccionadas fueron efectividad, eficiencia y satisfacción, las métricas medidas fueron efectividad de la tarea, frecuencia de error, tiempo de la tarea, eficiencia de la tarea, productividad económica, nivel de satisfacción, uso discrecional de las funciones y porcentaje de quejas de los usuarios, detectando una calidad en uso de 83.8% y una deficiencia del 16.2%.

Palabras-clave: calidad en uso; métricas de Efectividad; métricas de Eficiencia; métricas de Satisfacción; norma ISO/IEC 25000.

Evaluation of the quality in use of a web/mobile attendance control system to classes of teachers and students applying the ISO/IEC standard 25000 SQuaRe

Abstract: This article is the result of the analysis and measurement of the quality metrics in use, of the ISO / IEC 25000 Square standard, applied to a controlled system of attendance to classes of teachers and students. The specification of each metric is detailed, ISO / IEC 25022 is obtained. The data for the measurements are obtained in an actual context of use or an experiment. The resulting values of the measurement ranges that specify the levels of score and degrees of satisfaction of the software. The characteristics of quality in use. The results of the task, efficiency and satisfaction, metrics measures of task performance, frequency of error, task time, task efficiency, economic productivity, the level of satisfaction, the

use, discretionary of the functions and the percentage of complaints of the users, detecting a quality in the use of 83.8% and a deficiency of 16.2%.

***Keywords**:* quality in use; metrics of effectiveness; metrics of efficiency; metrics of satisfaction; ISO/IEC standard 25000.

1. Introducción

La evolución de los procesos informáticos genera una dependencia para la toma de decisiones, por esta razón los productos *software* deben satisfacer elementales criterios de calidad. En la actualidad el auge de los sistemas web y móvil va incrementándose a grandes rasgos, lo que ha posicionado a los usuarios finales como evaluadores idóneos para medir la calidad percibida de un producto *software* determinado (Covella, 2005).

Para definir la calidad se debe tener clara la diferencia entre calidad del proceso de desarrollo y calidad del producto. Aunque estén ligadas subyacentemente, siendo la calidad del producto el resultado de la calidad del proceso. El proceso desencadena parámetros sencillos para normalizar y controlar, sin embargo, la calidad del producto, independientemente del proceso aplicado, puede diferir si se ve afectada por factores externos (Estayno et al., 2009).

Por lo tanto, se puede definir a la calidad como un conjunto de características subjetivas medibles, que dependen de la perspectiva de requerimientos de los usuarios del producto (Patiño y Reina, 2018).

La ISO/IEC 25000 comprende un conjunto de normas que facilitan la elaboración de un marco común encargado de medir la calidad del producto *software*. Consta de cinco partes: gestión de la calidad, modelo de la calidad, medida de la calidad, requisitos de la calidad y evaluación de la calidad. En el apartado 25010, se especifica el modelo para la calidad en uso, que establece cinco características que son: Efectividad, Eficiencia, Satisfacción, Libertad de riesgo y Cobertura de contexto (Werewka, 2015).

Conviene mencionar, además, que la sección ISO/IEC 25022 expone las métricas de calidad en uso, de las características antes mencionadas, para el cálculo cualitativo y cuantitativo, que corresponden al modelo de calidad en uso (Chiong, 2013).

La calidad en uso se ve reflejada en el cumplimiento de la calidad interna y externa del *software*, es decir, proporciona, en un contexto de uso, la adquisición de las metas propuestas con efectividad, eficiencia, libertad de riesgo y satisfacción (Covella, 2005).

En consonancia con lo expuesto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la calidad en uso, de las características: Efectividad, Eficiencia y Satisfacción, mediante la determinación de las métricas que describen: Efectividad de la tarea, Frecuencia de error, Tiempo de la tarea, Eficiencia de la tarea, Productividad económica, Nivel de satisfacción, Uso discrecional de las funciones y Porcentaje de quejas de los usuarios, especificadas en la norma ISO/IEC 25022.

2. Descripción de la aplicación

La evaluación se efectuó a un sistema que controla la asistencia de docentes y estudiantes, cuya finalidad es gestionar el cumplimiento del plan de estudio de la institución, a

través del envío de coordenadas geográficas del docente al servidor del sistema, que transmite la ubicación obtenida al celular de los estudiantes en espera, dentro de una zona permitida para registrarse.

Para el desarrollo del sistema se utilizó Java como lenguaje de programación, PostgreSQL como gestor de base de datos, Java Server Faces como *framework* de la aplicación web, Jersey como *framework* que proporciona la API para la creación de los servicios web basados en la arquitectura REST, además conviene mencionar el uso de JasperReport, en conjunto con el modelador JasperSoft, para la creación de los reportes.

El sistema esta modelado con la arquitectura Cliente-Servidor que permite desarrollar la aplicación en n capas, garantizando el tratamiento por separado de las capas sin afectar al resto de partes (Martínez et al., 2012). La aplicación en el lado del servidor emplea dos arquitecturas, N capas para la aplicación web y el estilo de arquitectura REST junto con el patrón de diseño modelo, vista controlador, para el intercambio de información con el cliente móvil.

El diseño aplicado en tres capas se divide en: datos, negocio y presentación. La estructura de tres capas permite seccionar, respectivamente: el procesamiento y diseño acertado de la base de datos, los métodos de implementación como las validaciones, restricciones y reglas que posee el negocio y, finalmente, el mantenimiento del sistema que corresponde a normalizar la veracidad de los datos almacenados para cada atributo (Martínez et al., 2012).

El funcionamiento del sistema web y móvil sigue los siguientes pasos:

1. El docente que va a registrar la asistencia a clases abre la aplicación móvil con el servicio de geolocalización activado y selecciona la asignatura.
2. Una vez validada la asignatura, la aplicación envía a varios estudiantes un código.
3. El estudiante procede a revisar el código temporal mediante la aplicación.
4. Una vez validada la ubicación del docente, el estudiante puede generar un código temporal, que además se gestiona a un código QR o texto plano.
5. El docente escanea o digita el código temporal del estudiante en la aplicación.
6. El docente revisa los estudiantes que han asistido a la lista generada.

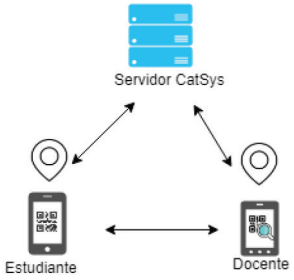


Figura 1 – Funcionamiento del sistema

En la Figura 2 se precisa el diseño de la aplicación web, en el cual, el servidor de base de datos contiene el motor PostgreSQL, correspondiente a la capa de acceso a datos,

el servidor web aloja al servidor de aplicaciones Glassfish, concerniente a la capa de negocios, y la capa de presentación está representada por un navegador web que maneja un cliente.

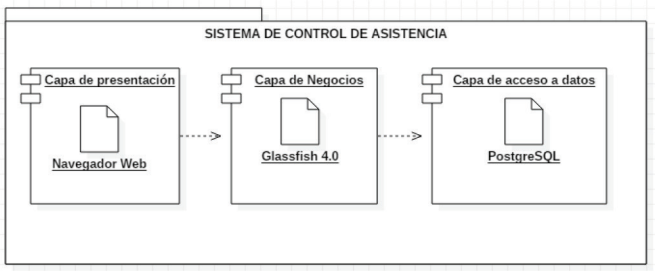


Figura 2 – Diseño de la aplicación web

En la Figura 3 se especifica el estilo de arquitectura REST para la aplicación móvil. La capa de Acceso a datos contiene al gestor de base de datos PostgreSQL, adicionalmente, el servidor web que contiene al servidor de aplicaciones Glassfish, equivalente a la capa de servicios de negocios, responsable de difundir datos en formato JSON, a través de la API Jersey. Y, finalmente, la capa de presentación, interpretada por un dispositivo Android, la cual obtiene los servicios web transmitidos por la capa de servicios de negocios. Además, se empleó el patrón de diseño Modelo, Vista, Controlador en la capa de presentación.

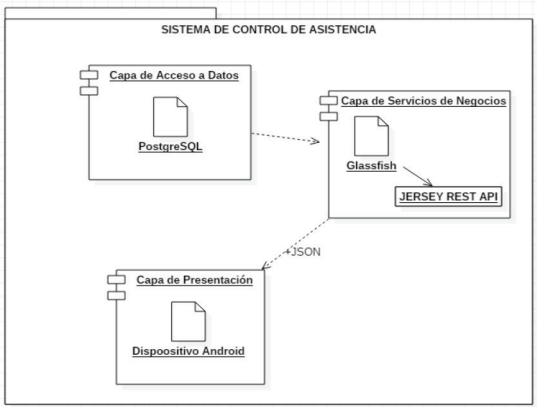


Figura 3 – Diseño de la aplicación móvil

El sistema detalla cuatro módulos. El módulo de administración, que gestiona el número de estudiantes para la confirmación de asistencia de un docente, la distancia máxima de ubicación del docente y estudiante, minutos de espera, expiración de código temporal y actualización de entidades, asignaturas y períodos académicos. El módulo de ubicaciones, que accesa las asistencias en zonas permitidas de acuerdo a las entidades de la institución. El módulo de asistencias efectúa el manejo de asistencia del docente y estudiante, visualiza asignaturas y las asistencias registradas durante el día, además de variación de roles de usuarios. Y, finalmente, el módulo de reportes que crea reportes,

en formato PDF, de las asistencias de estudiantes y docentes mientras dure un período académico, entidad y asignatura (Quijosaca, 2017).

3. Metodología

La ISO/IEC 25000 es el enfoque unificado y desarrollado del conjunto de normas ISO/IEC 9126, que especifica el modelo para la calidad de un *software* determinado, y la ISO/IEC 14598 que determina la guía de procesos para la evaluación de la calidad (Esaki, Azuma & Komiyama, 2013).

En la Figura 4 se puede observar la división de la ISO/IEC 25000 que contiene cinco apartados, siendo la gestión de la calidad, el núcleo utilizado por el resto de partes, en el que se determina la guía SQuaRE y la planificación y gestión (Balseca, 2014).

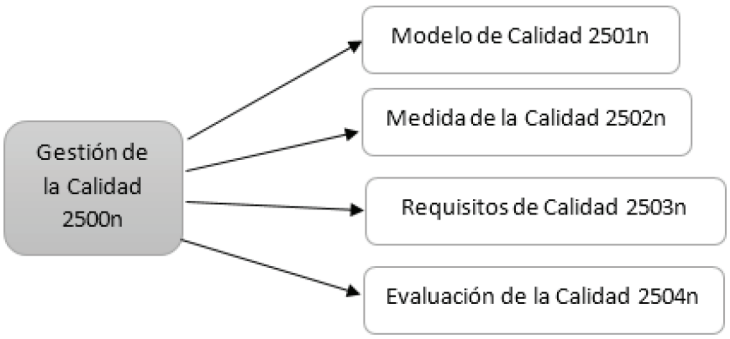


Figura 4 – División de la ISO 25000

La sección ISO/IEC 25022: contiene las características, mediciones y métricas de calidad en uso que señalan una dependencia directa con la calidad del producto, es decir, están conectadas subjetivamente. Si una está ausente, entonces la calidad del *software* es deficiente (Nakai et al., 2016).

La calidad en uso depende del comportamiento del sistema mientras se efectúa un determinado proceso, por lo tanto, será el valor de una prueba de aceptación que busca cuantificar la usabilidad a través de las subcaracterísticas medidas, cuando un usuario complete un objetivo (Estdale & Georgiadou, 2018).

El apartado ISO/IEC 25040: gestiona y supervisa la evaluación del *software* a través de una perspectiva más amplia, partiendo de la definición de la evaluación propósito, aplicando recomendaciones, requisitos y orientaciones para programadores, consumidores y evaluadores. Además, verifica la gestión intermedia y final de los procesos de la información obtenida (Ribeiro, Thé & Soares, 2017).

3.1. Características de calidad en uso a evaluar

El control de asistencia requiere agilidad y veracidad de la información a través de un sistema, que proporcione fácil manejo a los estudiantes y docentes, lo que implica un registro rápido y oportuno de los datos. En este sentido, al evaluar la calidad del *software*

es necesario tener en cuenta que para los sistemas web se utilizan los mismos modelos del *software* tradicional, no obstante, hay aspectos más relevantes a medir para este tipo de *software* como son la Efectividad, Eficiencia y Utilidad del sistema (Estayno et al., 2009). Conforme a lo mencionado, se estableció la importancia de evaluar la calidad en uso, en el sistema de control de asistencia.

3.2. Especificación de las características, subcaracterísticas y métricas

Para la aplicación del estándar en el sistema de control de asistencia, se utilizó el modelo de calidad ISO 25010, donde se detallan las particularidades de la calidad en uso, seleccionando las características Efectividad, Eficiencia y Satisfacción. Asimismo, las subcaracterísticas a medir fueron Efectividad, Eficiencia y Utilidad, respectivamente. Además, se utilizó las métricas especificadas en la ISO 25022 y, finalmente, para la evaluación del *software* se utilizaron las especificaciones presentadas en la ISO 25040 (Calabrese et al., 2018).

Dentro de las subcaracterísticas, antes mencionadas, se encuentran particularizadas las métricas: Efectividad de la tarea, Frecuencia de error, Tiempo de la tarea, Eficiencia de la tarea, Productividad económica, Nivel de satisfacción, Uso discrecional de las funciones y Porcentaje de quejas de los usuarios.

Siguiendo el formato de especificación de las métricas detalladas en la ISO/IEC 25022, se presenta, en la Tabla 1, un ejemplo de la métrica Uso discrecional de las funciones, perteneciente a la subcaracterística Utilidad. Referenciando para cada medición el formato presentado, con sus propias variables.

Sub-característica	**Nombre de la métrica**	**Fase del ciclo de vida de calidad del producto**	**Propósito**	**Método de aplicación**	**Fórmula**	**Valor deseado**	**Tipo de medida**	**Recursos empleados**
Utilidad	Uso discrecional de las funciones	**En Uso**	¿Qué porcentaje de los usuarios optan por utilizar las funciones del sistema?	Observación de manejo	X = A/B Donde B>0	0<=x<=1 Cuanto más cercano a 1, mejor.	A= Contable B=Contable	Usuario

Tabla 1 – Especificación formal de las métricas de calidad en uso

Además, en la Tabla 1, se visualiza la fórmula cuya condición B>0, indica que el número de funciones implementadas debe ser mayor a 0. A su vez, que la variable A establece el número de funciones específicas del *software* que se usa. Luego de efectuar el cálculo A/B y determinando el valor resultante, se establece como el mejor al más cercano a 1. El tipo de medida es cuantitativo para obtener el cálculo correcto, estableciendo a X, A y B recursos contables. Estos datos son posibles a través del manejo de los usuarios en el sistema.

3.3. Descripción de niveles de puntuación

Las prácticas tomadas como referencia del modelo de evaluación de la ISO/IEC 25040 permitieron instanciar rangos de medición, como se indica en la Tabla 2, adaptados al criterio de las necesidades de solución del sistema. Los valores están comprendidos entre 0 y 10, consolidados en cuatro niveles de puntuación y tres grados de satisfacción.

Valor de medición	Nivel de puntuación	Grado de satisfacción
7.91-10	Cumple con los requisitos	Muy satisfactorio
4.91-7.9	Aceptable	Satisfactorio
1.91-4.9	Mínimamente aceptable	No satisfactorio
0-1.9	Inaceptable	No satisfactorio

Tabla 2 – Rangos de puntuación para las métricas

Con el valor cuantitativo obtenido de las mediciones se puede establecer la relación cualitativa, como se observa en la Tabla 2, siendo, el rango inaceptable, los valores que no cumplen con el requerimiento mínimo establecido; y el rango objetivo, los valores deseados, otorgando un equilibrio funcional (Patiño at al., 2018).

3.4. Ponderación de las características

En la Tabla 3 se presenta la ponderación determinada, constituyendo de orden fundamental a la Satisfacción, siendo la Utilidad primordial al momento de manejar intuitivamente y utilizar las funciones del sistema sin complicaciones, con un 50%. Siguiendo esta línea, se estableció a la Efectividad con un 30%, debido a que se requería que el sistema cumpla con el propósito para el que fue creado, es decir, completando los objetivos de las tareas sin fallas de funcionalidad. Y, finalmente, la Eficiencia, fue de orden opcional con un 20% pero necesaria de evaluar, para configurar que tan eficientes son los usuarios, basado en el tiempo de concluir una tarea.

Característica	Subcaracterística	Métrica	Nivel de importancia	Ponderación
Efectividad	*Efectividad*	Efectividad de la tarea	Fundamental	30%
		Frecuencia de error		
Eficiencia	*Eficiencia*	Tiempo de la tarea	Opcional	20%
		Eficiencia de la tarea		
		Productividad económica		
Satisfacción	*Utilidad*	Nivel de satisfacción	Fundamental	50%
		Uso discrecional de las funciones		
		Porcentaje de quejas de los usuarios		

Tabla 3 – Ponderación de las características de calidad en uso

4. Resultados de la aplicación de la matriz de calidad en uso

Para la evaluación de las métricas, se empleó el registro de valoración, Tabla 1. Teniendo en cuenta que, el valor deseado para todas las métricas, corresponde a un valor mayor o igual a cero y menor o igual a 1. Considerando que las mediciones se culminaron, se pudo corroborar los resultados de Efectividad, Eficiencia y Utilidad, siguiendo el proceso a continuación para cada una de las subcaracterísticas.

4.1. Para la Efectividad

Se seleccionó cuatro requerimientos funcionales en conjunto con el cliente, ya que generan mayor interacción con el usuario: registro de asistencia de docentes, registro de asistencia de estudiantes, obtener reporte de asistencia de docente registradas en un día y obtener reporte de asistencias de estudiante en una asignatura, a los cuales se aplicó las métricas de evaluación.

En la Tabla 4 se presenta los valores obtenidos de la métrica Efectividad de la tarea, para cada uno de los requerimientos funcionales. En este sentido, se empleó una escala de medición de cero a diez y se designó al "más cercano a cero", como el mejor, certificando un valor de 10 al requerimiento Registro de asistencia de docentes que obtuvo 0.6.

Requerimiento	Objetivos completados A	Objetivos planeados B	Efectividad de la tarea	Valor de medición
Registro de asistencia de docentes	3	5	0.6	10
Registro de asistencia de estudiantes	3	4	0.75	8
Obtener reporte de asistencia de docente registradas en un día	2	3	0.66	9.09
Obtener reporte de asistencias de estudiante en una asignatura	2	3	0.66	9.09
Promedio				9.045

Tabla 4 – Datos de la métrica Efectividad de la tarea

Para determinar los demás resultados, se realizó una regla de tres inversa, ya que, al ser el valor deseado más cercano a cero, si el valor de Efectividad de la tarea aumenta, entonces el valor de medición disminuye. Una vez obtenidos los resultados, se verificó mediante la Tabla 2, que se cumplió con los requisitos, además de ser muy satisfactorio. El valor promedio se obtuvo de la sumatoria de los valores de medición /10 expuestos, correspondientes a una subcaracterística, dividido para el número de métricas que posee.

Para el registro de asistencia de docentes y estudiantes se completaron las siguientes tares: registro de asistencia a docentes, confirmación de asistencia a docentes y registro de asistencia a estudiantes.

Para obtener el reporte de asistencia del docente, registradas en un día, se completaron las siguientes tares: buscar los registros en una fecha establecida y mostrar la lista de las asistencias registradas en el día.

Para obtener reporte de asistencia de estudiante en una asignatura, se completaron las siguientes tares: buscar los registros en una asignatura establecida y mostrar la lista de las asistencias registradas en una asignatura.

4.2. Para la Eficiencia

- En la métrica Tiempo de la tarea se verificó, entre los requerimientos antes mencionados, en cuál, el valor de A, que es el tiempo planeado es menor o igual al valor de B, que es el tiempo actual, entonces tomaría el valor máximo de 10; por el contrario, si A es mayor a B, tomaría el valor de cero como peor caso. El valor deseado correspondía a un dato menor o igual 2 minutos.
- En la métrica Eficiencia de la tarea, se determinó al valor más lejos a cero como el mejor. Se evaluó con los siguientes requerimientos: registro de asistencia docente, registro de asistencia estudiante, confirmación de asistencia y reporte asistencia docente. Los cuales se ejecutaron en un tiempo de 6 minutos.
- En la métrica Productividad económica, se precisó al valor más cercano a uno como el mejor. Para lo cual un usuario ejecutó las 22 funcionalidades del sistema haciendo efectivas 21 tareas.

Para la satisfacción, en las métricas Nivel de satisfacción y Uso discrecional de las funciones, se especificó al valor más cercano a uno, como el mejor, por el contrario, para la métrica Porcentaje de quejas de los usuarios se precisó al valor más cercano a cero, como el mejor. Se obtuvieron los datos mediante una encuesta a los usuarios del sistema, la cual tuvo 10 preguntas, con cinco opciones de respuesta, que se agruparon En Desacuerdo y De acuerdo (Quijosaca, 2017). Para obtener el tamaño de la muestra se utilizó el total de usuarios que manejan el sistema, que corresponde a 429 y se aplicó la fórmula de población finita Figura 5, obteniendo un resultado de 93 usuarios a encuestar. Una vez realizada la encuesta, se obtuvo un total de 131 En desacuerdo y 799 De acuerdo.

$$n = \frac{N * Z^2 * P * Q}{e^2 * (N-1) + Z^2 * P * Q}$$

Figura 5 – Fórmula de muestra para población finita

- En la métrica Nivel de satisfacción se utilizó el número de respuestas satisfactorias 799 y el total de preguntas realizadas 930 (10 preguntas por 93 usuarios), para la encuesta.
- En la métrica Uso discrecional de las funciones se utilizó la observación, a un usuario que percibió 18 de las 22 funcionalidades en el sistema.
- En la métrica Porcentaje de quejas de los usuarios se captó 8 quejas, de 93 usuarios que probaron el sistema.

Finalmente se presenta en la Figura 6 un resumen de todos los datos evaluados.

Subcaracterística	Métrica	Meta	Fórmula A/B	Requerimiento	Datos Obtenidos	Valor de medición	Promedio	Grado de Satisfacción
			A= objetivos completados	1	A=3, B=5, X=0,6	10		
			B= objetivos planeados	2	A=3, B=4, X=0,75	8		
			B>0	3	A=2, B=3, X=0,66	9,09		
	Efectividad de la tarea	0		4	A=2, B=3, X=0,66	9,09	9,045	Muy Satisfactorio
			A=errores cometidos	1	A=1, B=3, X=0,33	10		
			B=número de tareas	2	A=1, B=3, X=0,33	10		
				3	A=2, B=4, X=0,5	6,6		
Efectividad	Frecuencia de error	0		4	A=2, B=5, X=0,4	8,25	8,71	Muy Satisfactorio
			A= tiempo planeado	1	A=3, B=2, X=0	0		
			B=tiempo actual	2	A=3, B=2, X=0	0		
			B>0	3	A=2, B=2, X=10	10		
	Tiempo de la tarea	<=2		4	A=1, B=2 X=10	10	5	Aceptable
			A= tareas efectivas		A=4			
			B= tiempo de la tarea		B=6			
	Eficiencia de la tarea	1	B>0		X=0,66	6,67	6,67	Aceptable
			A= tareas efectivas		A=21			
			B= tareas totales		B=22			
Eficiencia	Productividad economica	1	B>0		X=0,95	9,55	9,55	Muy Satisfactorio
			A= respuestas satisfactorias		A=799			
			B= preguntas realizadas		B=930			
	Nivel de satisfacción	1	B>0		X=0,86	8,59	8,59	Muy Satisfactorio
			A=funciones específicas		A=18			
			B=funciones implementadas		B=22			
	Uso discrecional de las funciones	1	B>0		X=0,82	8,18	8,18	Muy Satisfactorio
			A= clientes que se quejan		A=8			
			B= total de clientes		B=93			
Utilidad	Porcentaje de quejas de los usuarios	0	B>0		X=0,09	9,14	9,14	Muy Satisfactorio

Figura 6 – Evaluación de calidad en uso del sistema

La Tabla 5 presenta el resumen de los resultados. Por ejemplo, para la subcaracterística Efectividad se sumó los valores promedio de las métricas, 9.045 y 8.71 exhibidas en la Figura 6, lo que da como resultado 17.755, luego se dividió entre dos, ya que es la cantidad de métricas que posee, para concluir el valor promedio 8.88 tabla 5.

Subcaracterística	Valor promedio	Ponderación	Nivel de puntuación
Efectividad	**8.88**	**30%**	Cumple con los requisitos
Eficiencia	**7.07**	**20%**	Aceptable
Utilidad	**8.63**	**50%**	Cumple con los requisitos

Tabla 5 – Niveles de puntuación con relación al promedio de las subcaracterísticas

Una vez estimado el valor promedio de cada subcaracterística, como indica la Tabla 5, se continuó con el cálculo del valor ponderado previsto en la Tabla 6. Por lo cual, se multiplicó el valor promedio por el valor de la ponderación dividido para 100, Tabla 5.

Continuando con el ejemplo de Efectividad, se multiplicó 8.88 (valor promedio) por 30 divido para 100 (ponderación) de la tabla 5 y se obtiene 2.66 que es el dato resultante (valor ponderado) Tabla 6, a continuación, se continuó con el mismo proceso para Eficiencia y Utilidad.

Subcaracterística	Valor ponderado	Calidad en uso	Faltante de calidad en uso	Deficiencia de calidad en uso del sistema
Efectividad	2.66	8.38	0.34	
Eficiencia	1.41		0.47	1.62
Utilidad	4.31		0.69	

Tabla 6 – Resumen de calidad y deficiencia de calidad en uso

En consecuencia, se pudo demostrar la calidad en uso del sistema sumando el valor ponderado de las subcaracterísticas, Tabla 6, presentando un total de 8.38/10 de calidad en uso.

A su vez, se infirió el faltante de calidad en uso de cada subcaracterística, restando: la ponderación, Tabla 5, sobre 10, menos el valor ponderado, Tabla 6.

Finalizando el ejemplo de Efectividad, se estableció: 30 (ponderación), Tabla 5, dividido para 10 que es igual a 3, menos el valor ponderado 2.66, Tabla 6, obteniendo como faltante de calidad en uso 0.34/10, Tabla 5.

De lo antes mencionado, se puede definir la deficiencia de calidad en uso del sistema, sumando los valores de faltante de calidad en uso de las tres subcaracterísticas, Tabla 6, presentando un total de 1.62/10 puntos.

Adicionalmente, se pudo concluir que el sistema posee una calidad en uso de 83.8% y un faltante de 16.2%. Lo que indica que, aunque el *software* presenta un déficit de calidad, cumple con los estándares planteados en la norma ISO/IEC 25000.

5. Trabajo futuro

Para una comparativa de verificación de la calidad en uso, se puede implementar en el sistema, un cambio en la API para obtener las coordenadas de geolocalización del docente y estudiante. De Google Maps a Openstreetmap, como herramienta de colaboración. Con la finalidad de adquirir datos diferentes, que infieran en el registro de asistencia y así verificar si las características Efectividad, Satisfacción y Eficiencia medidas, continúan cumpliendo con los requisitos.

Para la geolocalización del sistema, se utilizó la API de Google Maps para Android. Para la futura comparativa se utilizará Osmodroid que es una API de OpenStreetMap, de licencia libre, que suple a la API de Google empleada para mapas (Pérez, Querol y Marturià, 2013).

6. Conclusiones

A través de la aplicación del marco de trabajo especificado en el estándar ISO/IEC 25000, el evaluador puede definir, mediante las métricas propuestas, en un ámbito práctico, si las características y subcaracterísticas cumplen con la calidad en uso del sistema, subyaciendo entre los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos de las mediciones.

Para el análisis de la calidad en uso, se seleccionó las características y subcaracterísticas de la sección ISO/IEC 25010 y para las mediciones se utilizaron las métricas propuestas en la ISO/IEC 25022.

Las características Efectividad y Satisfacción obtuvieron un nivel de puntuación que cumple con los requisitos, lo que implica que tienen un grado de satisfacción “muy satisfactorio”, sin embargo, la característica Eficiencia obtuvo un valor aceptable, presentando un grado de satisfacción, “satisfactorio”, esto fue, debido a que las métricas Tiempo de la tarea y Eficiencia de la tarea se ven afectadas por los recursos disponibles del dispositivo, a través del que se accede al sistema.

Como consecuencia del análisis se alcanzó una calidad en uso del 83.8% y un déficit de 16.2%, lo que resulta al *software* de alta calidad en uso según el estándar empleado.

Por los resultados obtenidos, y dado que las herramientas de geolocalización cada vez incluyen datos más precisos, sería importante implementar en el sistema otra API para obtener las coordenadas de ubicación, esto ayudaría a validar los resultados y procurar su generalización.

Referencias

Balseca, E. (2014). Evaluación de calidad de productos software en empresas de desarrollo de software aplicando la norma ISO/IEC 25000 (Trabajo de fin de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Recuperado de http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9113.

Calabrese, J., Muñoz, R., Pasini, A., Esponda, S., Boracchia, M., & Pesado, P. (2018). Assistant for the Evaluation of Software Product Quality Characteristics Proposed by ISO/IEC 25010 Based on GQM-Defined Metrics. Argentine Congress of Computer Science, Springer, Cham, 790, 164–175. DOI: 10.1007/978-3-319-75214-3_16.

Chiong, R. (2013). Evaluación y análisis de un modelo de calidad en uso del portal web de la bolsa del trabajo de la Pontificia Universidad Católica del Perú basado en la norma ISO/IEC 25000 y familia (Trabajo de fin de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de https://core.ac.uk/download/pdf/54226320.pdf.

Covella, G. (2005). Medición y evaluación de calidad en uso de aplicaciones web (Trabajo de fin de maestría). Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina. Recuperdado de http://hdl.handle.net/10915/4082.

Esaki, K., Azuma, M., & Komiyama, T. (2013). Introduction of Quality Requirement and Evaluation Based on ISO/IEC SQuaRE Series of Standard. International Conference on Trustworthy Computing and Services, Springer, Berlin, Heidelberg, 320, 94–101. doi: DOI: 10.1007/978-3-642-35795-4_12.

Estayno, M., Dapozo, G., Cuenca, L., y Greiner, C. (2009). Modelos y métricas para evaluar calidad de software. XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, RedUNCI, 382–388. Recuperado de http://hdl.handle.net/10915/19762.

Estdale, J., & Georgiadou, E. (2018). Applying the ISO/IEC 25010 Quality Models to Software Product. European Conference on Software Process Improvement, Springer, Cham, 896, 492–503. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97925-0_42.

Martínez, M., Núñez, L., Caballero, A., Moreno, I., Boggiano, M., González, L., y Hernández, P. (2012). Aplicación médica para trasplante renal usando reglas de negocio. Revista Habanera de Ciencias Médicas, 11(1), 176–184. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2012000100021&lng=es&tlng=es.

Nakai, H., Tsuda, N., Honda, K., Washizaki, H., & Fukazawa, Y. (2016). Initial Framework for Software Quality Evaluation based on ISO/IEC 25022 and ISO/IEC 25023. Region 10 Conference (TENCON), IEEE, 3704–3707. DOI: https://ieeexplore.ieee.org/document/7573781.

Patiño, S. y Reina, E. (2018). Evaluación de la eficiencia de un sistema de control biométrico basado en la norma iso/iec 9126-2 y 9126-3. 3C TIC. Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC, 7(4), pp.60-75. DOI: 10.17993/3ctic.2018.62.60-75.

Pérez, M., Querol, N., y Marturià, J. (2013). Desarrollo de aplicación para dispositivo móvil con software libre para el uso en zonas de alud. Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, VII Jornadas de SIG Libre. Recuperado de https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/7642/4Art-Alud.pdf?sequence=1

Quijosaca, F. (2017). Desarrollo de una aplicación web/móvil para el control de asistencia a clases de docentes y estudiantes de la facultad de informática y electronica, ESPOCH (Trabajo de fin de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9081.

Ribeiro, E.A., Thé, G.A.P., & Soares, J.M. (2017). A Method for Quality Evaluation of Supervision Software Using Fuzzy Concepts and the International Standard ISO/IEC 25000. Journal of Control, Automation and Electrical, 28, 389–404. DOI: 10.1007/s40313-017-0303-5.

Werewka, J. (2015). Investigation of enterprise architecture and software architecture in relation to quality attributes in military applications. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe, 2(37), 7–18. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/292326484_investigation_of_enterprise_architecture_and_software_architecture_in_relation_to_quality_attributes_in_military_applications.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 03/12/2018
Aceitação/Acceptance: 26/02/2019

A qualitative framework for resource allocation[1*]

Franklin Camacho[1], Gerardo Chacón[2], Ramón Pino Peréz[3a,3b]

fcamacho@yachaytech.edu.ec, gerardo.chacon@gallaudet.edu, rpino@yachaytech.edu.ec

[1,3a] Yachay Tech University, 100115, Urcuquí, Ecuador.

[2] Gallaudet University, 20002, Washington DC, USA.

[3b] Universidad de Los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

Pages:121–133

Abstract: We use an algebraic viewpoint, namely a matrix framework to deal with the problem of resource allocation under uncertainty in the context of a qualitative approach. Our basic qualitative data are a plausibility relation over the resources, a hierarchical relation over the agents and, of course, the preference that the agents have over the resources. With this data we propose a qualitative binary relation $\trianglerighteq$ between allocations such that $F \trianglerighteq G$ has the following intended meaning: the allocation F produces more or equal social welfare than the allocation G. We prove that there is a family of allocations which are maximal with respect to $\trianglerighteq$. We prove also that there is a notion of simple deal such that optimal allocations can be reached by sequences of simple deals.

Keywords: resource allocation; qualitative optimal allocations; qualitative social welfare.

1. Introduction

The task of distribution of a divisible or indivisible set of goods among a set of agents is an important issue at the crossroads of many areas of knowledge. This has been studied mainly in Economics. The mathematical models of fair distributions, in particular when the goods are divisible, have been studied by some mathematicians and economists (Steinhaus, 1948; 1949) before the middle of the Twentieth century and others towards the end of the past century (Brams, Taylor & Zwicker, 1994; Brams & Taylor, 1995; Brams, 1995; Brams, Taylor & Zwicker, 1997), for a good survey see (Brams & Taylor, 1996). Some axiomatic analysis about resource allocation problems have been done by (Moulin & Thomson, 1997; Thomson, 2011; Beviá, 1996), among others. In more recent years the mathematical models of satisfactory distributions have occupied different communities of researchers besides economists. Among them, computer scientists working in the area of Artificial Intelligence and Multi-agent Systems, see for instance the works of (Sandholm, 1998; 1999; Endriss et al., 2006; Chevaleyre et al., 2007; Chevaleyre, Endriss & Maudet, 2017).

[1] * The third author is supported by the Project CDCHTA-ULA C-1855-13-05-AA

The problem concerning this paper is the distribution of a finite set of indivisible goods (resources) into a finite set of individuals (agents). This is known as the problem of resource allocation. There are many concerns about this problem. The first one is how to consider a determined allocation satisfactory. To deal with this aspect some concepts of social welfare are used, most of them coming from aggregation of numerical functions of individual utility (Moulin, 1988; Endriss et al., 2006). Thus, the notion of optimal allocation arises naturally as the one producing the maximal social welfare.

Another important aspect studied is the rationality of negotiation between agents in order to reach better resource allocations. Again here the notion of *being better* is closely connected to the improvement of the social welfare (Sandholm, 1998; Endriss et al., 2006). From the algorithmic point of view, it is important that these negotiations be simple and that any sequence of these simple negotiations negotiation processes end in an optimal allocation.

In this work we continue an investigation of these problems in which we don't use numbers. That is, we propose a qualitative notion of preference between the allocations that is based only on the knowledge of the set of resources that agents desire, a plausibility relation between set of resources which encodes the uncertainty, and a hierarchical relation between agents. Let us give an example of simple ideas we want to capture.

1.1. Example 1

Suppose there are three research teams in a new Artificial Intelligence Center of a University Computer Science Department. The teams are working in Knowledge Representation, Robotics and Natural Language Processing, respectively. There are two candidates to realize PhD studies in this AI Center. The first one, John -a brilliant one-, has interesting job offers in Google and in Face Book. Thus, it is less plausible that he remains at the University for the PhD studies. The other candidate, Peter, doesn't like the work environment of private companies. He prefers, for sure, the Universities scholar environment. In any case both students are goods in the three topics developed in the center.

The Knowledge Representation Team would have Peter as PhD student; the Robotics and the Natural Processing Language Teams would like both students. At the moment of the decision, the team working in Natural Language Processing has 15 PhD students; the team working in Robotics has 6 PhD students and the team working in Knowledge representation has 1 student. In a Council of the Center, in order to create a balanced development of the teams and the research topics, some priorities have been established. Thus, the Knowledge Representation Team is the one having the first priority for receiving PhD students. After that, the Robotics Team has the second priority and in the third place the priority is given to the Natural Processing Language Team. All the teams agree about that.

This situation is a typical and simple problem of resource allocation that we would like to model. There are two resources r_1 and r_2 (Peter and John, respectively) and three agents $1, 2$ and 3 (the Knowledge Representation Team, Robotics Team and Natural Language Processing Team, respectively). There is priority relation $\succ_h$ between the agents: $1 \succ_h 2 \succ_h 3$ and a plausibility relation between resources (coding uncertainty):

$r_1 \succ_h r_2$. With the pieces of information we have, a very "natural" resource allocation is to give the resource r_1 to agent 1 and the resource r_2 to the agent 2, that is the Knowledge Representation Team (the least favored team so far) receives Peter (the student having more chance to come) and the Robotics Team receives John (the student having less chance to come). In this allocation the Natural Language Team (the most developed team) will not receive PhD students.

This work will explain in a precise way why a resource allocation as one in previous example is good. Actually, we will propose a notion of qualitative welfare (a relation) for which the resource allocation of Example 1 is optimal. In the work (Pino, Varela & Camacho, 2016) three strong hypothesis were made. First, it was assumed that there was a linear order over the resources. Second, that the plausibility relation between the resources was the possibilistic relation associated to this linear order. Third, it was supposed that there was a linear order between agents encoding a hierarchy between them. In this work we generalize these three assumptions. We suppose now that the relation between the resources and the relation between the agents are total preorders a more general natural structure for encoding preferences and eve uncertainty in a qualitative way. We suppose also that the plausibility relation between the sets of resources is a lifting (an extension, see Barberà, Bossert & Pattanaik, 2004) of the relation between the resources with very few properties.

With these tools we use the *dominance plausible rule* -a sort of qualitative expected utility introduced by Dubois et al. (Dubois et al., 2002; Dubois, Fargier & Perny, 2003) in order to compare two allocations. We show with easy matrix representations that there is a family of optimal allocations. We propose a notion of *simple rational deal* and we prove that we can reach optimal allocations by sequences of simple rational deals. This work is structured as follows. Section *Preliminaries* contains the basic notions. Section *Classifying allocations* contains the notion of preference between allocations based on a plausibility relation between sets of resources which in turn is based on a qualitative notion of social welfare. Section *Simple and rational deals* is devoted to the notion of simple resource interchange guided by the relationships between the agents. Section *Good allocations* is devoted to define a class of resource allocations considered as well behaved and to see that they can be reached by sequences of simple rational deals. In Section *Optimal resource allocations* we see that good resource allocations are, indeed, optimal with respect to the notion of qualitative welfare. We finish with a section in which we make some concluding remarks and present some lines of future work.

2. Preliminaries

In this section, we state the preliminary concepts and notations that we will use throughout the article. Fix a nonempty set X and a binary relation $\geq$ defined on X. *The strict relation* f associated to $\geq$ is defined as: $a \succ b \Leftrightarrow [(a \geq b) \wedge \neg(b \geq a)]$ and the *indifferent relation* $\simeq$ is defined as $a \simeq b \Leftrightarrow [(a \geq b) \wedge (b \geq a)]$. If $A \subseteq X$, we denote the maximal elements of A as $max(A)$ and analogously we denote the minimal elements of A as $min(A)$. If X is finite, $X = \{x_1, \cdots, x_n\}$, the relation $\geq$ defines a *relation matrix* $(X_{ij})_{n\times n}$ as: if $x_i \geq x_j, X_{ij} = 1$ and $X_{ij} = 0$ in otherwise. Note that the previous matrix depends upon the order of the elements of X. But any reordering of the elements of X has an associated relation matrix with respect to $\geq$ closely related to the first matrix. More precisely, if $(X_{ij})_{n\times n}$ and $(Y_{ij})_{n\times n}$ are matrices associated to $\geq$ with two different

orders of X, then there exists a permutation P, of the identity matrix I_n of orden n, such that $(Y_{ij})_{n\times n} = P(X_{ij})_{n\times n}$. A relation is a total pre-order on X if it is total and transitive. A relation is a linear order if it is irreflexive and transitive.

We start by the defining the two main sets to be studied. These are the set of agents and the set of resources. We will denote the set of agents by A which is defined as a finite, nonempty set with $|A| = q$, i.e, $A = \{1,2,\cdots,q\}$. We will assume there exists a total pre-order $\succeq_h$ defined on A. Given two agents $i, j \in A$, the symbol $i \succeq_h j$ will be interpreted as: *agent i has a higher or equal hierarchy than agent j*. The strict relation $\succ_h$ associated to $\succeq_h$ can be thought as: *agent i has greater hierarchy than agent j*. The indifferent relation $\sim_h$ can be interpreted as: *agent i has the same hierarchy as agent j*. Sometimes we will abuse the notation and denote by $i \in A$ an agent and at the same time a natural number between 1 and q. A relation matrix associated to $\succeq_h$ will be called *a hierarchy matrix* and denoted by $A_h = (a_{ij})_{q\times q}$.

The set of *resources* will be denoted as $R = \{r_1 \cdots r_k\}$. We will assume that a total pre-order $\succeq_R$, is defined on R. The strict and indifferent relations are denoted by $\succ_R$ and $\approx_R$, respectively. Based on the relation $\succeq_R$, we will later define a binary relation $\sqsupseteq$ on the set of subsets of R, denoted as $P(R)$. Such relation should be a *lifting* of $\succeq_R$, in the sense that it should preserve the order $\succeq_R$ when restricted to the the singletons. Such relation will be understood as a 'plausibility' relation on $P(R)$.

Once defined the sets A and R, we will assume that each agent is interested in some resources. This relation can be recorded in the following *matrix of request* $P = (P_{in})_{q\times k}$ that contains the information about the resources each agent requests. Where $P_{in} = 1$ if agent i requests the resource r_n and $P_{in} = 0$ in otherwise.

Sometimes, we will refer to a resource $r \in R$ without specifying the subindex. In such cases, P_{ir} denotes the entry of the matrix P in the i-th row and the column associated to the resource r. We make the assumptions that the agents either request or do not request a resource, that this is known beforehand, and that it is invariant. Also, we assume that an agent does not have different levels of preference over the resources. This is a subject that could be addressed in future research. Under this conditions, we notice that the i -th row of P contains complete information about the resources that agent i requests, whereas the n-th column determines all the agents that request the resource r_n.

We are now ready to define the main concepts of the article: A *resource allocation and* a "priority relation" on A associated to resource r.

2.1. Definition 1

Let A and R be nonempty sets, with k=|R| and q=|A|. A resource allocation is a matrix $F = (f_{in})_{q\times k}$ such that for each $1 \le n \le k$, there exists a unique $1 \le i \le q$ for which $f_{in} = 1$ and $f_{jn} = 0$ for $j \ne i$.

Notice that if $f_{in} = 1$ then it is understood that agent i is the only one who was granted the resource r_n. Similarly to the notation used with the matrix of requests, we will write f_{ir} to denote the entry of the matrix F corresponding to the i-th row and the column associated to the resource r. Sometimes we will use a set of resource allocations $F_1 \cdots F_m$. In such case, we will use the notation $F_l = (f_{in}^l)_{q\times k}$ when necessary.

2.2. Definition 2

Given $r \in R$, the priority matrix associated to r, *is the matrix* $(a_{ij}^r)_{q\times q}$, *where*

$$a_{ij}^r = a_{ij}P_{ir} + (1 - a_{ij})(1 - P_{jr}) \quad (1)$$

Notice that each term of equation (1) is either one or zero. If $a_{ij}P_{ir} = 1$ then agent i has a higher hierarchy than agent j and agent i requests resource r. On the other hand, if $(1 - a_{ij})(1 - P_{jr}) = 1$, then $a_{ij} = 0$ and $P_{jr} = 0$. This implies agent i does not have a higher hierarchy than agent j and agent j does not request resource r. This definition captures that on (Pino et al., 2016) where the hierarchy order was assumed to be a linear order.

3. Classifying allocations

As a first step in classifying resource allocations, we want to define an equivalence relation among allocations. Then we will define the set where one resource allocation dominates another.

3.1. Definition 3

Let $r \in R$ *and let* c *and* c^* *be two canonical vectors of size* q. *Suppose that* $i, j \in A$ *are such that the* i*-th entry of* c *is equal to* 1 *and the*j*-th entry of* c^* *is equal to* 1. *We will say that* c *and* c^* *are* r*-equivalent, denoted as* $c^* \equiv_r c$ *if agents* i *and* j *have the same hierarchy and the same preference over the resource* r.

In other words, $c \equiv_r c^* \Leftrightarrow (a_{ij} = a_{ji=1}) \wedge (P_{ir} = P_{jr})$. Let F and G be two resource allocations and define the set of all non-r-equivalent columns as $D_{FG} = \{r \in R: c_r^F \equiv_r c_r^G\}$ where c_F^r and c_G^r denote the columns of F and, G respectively, associated to the resource r. Notice that $D_{FG} \neq D_{GF}$.

We will define a set where the resource allocation F *dominates* the resource allocation G. Roughly, this will be the set of resources that are assigned under F to an agent with higher priority than if assigned under G.

3.2. Definition 4

Let $F = (f_{in})$ *and* $G = (g_{in})$ *be two resource allocations. The set* $[F \succ G]$ *where* F *dominates* G, *is defined as:*

$$[F \succ G] = \{r \in D_{FG}: a_{ij}^r = 1, where\ f_{ir} = 1\ and\ g_{jr} = 1\}.$$

In other words, $r \in [F \succ G]$ if and only if for the unique agents i and j such that $f_{ir} = 1$ and $g_{jr} = 1$ it holds that $a_{ij}^r = 1$ and the columns $(f_{ir})_{1\leq i\leq q}$ and $(g_{ir})_{1\leq i\leq q}$ are not r-equivalent.

Once we have defined dominant sets as subsets of R, we will define a way of comparing resource allocations. The idea is to capture a notion of social welfare (Moulin, 1988; Moulin, 2003; Endriss et al., 2006) used to compare allocations via a notion of qualitative welfare. The notion we use next is inspired of the *dominance plausible rule* proposed by Dubois et al. (Dubois et al., 2002; Dubois, Fargier & Perny, 2003).

We are going to consider a relation $\sqsupseteq$ on the set $P(R)$ which is a *lifting* of $\succeq_R$, that is for any resources r, r' we have $\{r\} \sqsupseteq \{r'\}$ iff $r \succeq_R r'$. The idea is that the relation $\sqsupseteq$ encodes the plausibility relation overs subsets of resources given by the plausibility relation $\succeq_R$ between resources in the same way that we can construct a finite probability measure over events if we know the probability on states.

3.3. Definition 5

Let $\sqsupseteq$ a plausibility relation on the set $P(R)$. We say that the resource allocation F produces more social welfare than a resource allocation G, denoted as $F \trianglerighteq G$, if $[F \succ G] \sqsupseteq [G \succ F]$. Moreover, we will say that $F \rhd G$ if $F \trianglerighteq G$ and $\neg(G \trianglerighteq F)$.

Notice that the previous definition depends on a binary relation on $P(R)$ that, for now, could be an arbitrary lifting of $\succeq_R$. A similar approach was studied in (Pino et al., 2016) where a strict possibilistic relation was considered for the case in which $\succeq_R$ was a linear order. Indeed our relation $\sqsupseteq$ will be an extension (see Barberà, Bossert & Pattanaik, 2004) for a study of the ways to do extensions and their properties) of the relation $\succeq_R$ having very few properties.

The relation $\rhd$ is capturing our notion of qualitative welfare under uncertainty, the uncertainty of truly disposing of all resources. The fact $F \rhd G$ has to be understood as follows: it is more plausible that the allocation F produces more welfare than the allocation G. We are ready to define the notion of optimality among resource allocations. Notice that such definition will depend on the binary relation $\sqsupseteq$.

3.4. Definition 6

Given a binary relation $\sqsupseteq$ on the set $P(R)$, which is a lifting of $\succeq_R$. We will say that a resource allocation F^* is optimal if $F^* \trianglerighteq G$ for every resource allocation G.

Here it is relevant to say that optimal resource allocations need not to be unique since the previous definition does not distinguish among equivalent allocations.

4. Simple and rational deals

In order to search for an optimal resource allocation, we will first introduce negotiation concepts. By a deal we will understand a pair of allocations that are equal except for only one column. We will define the concept in a more rigorous way by making use of permutation matrices. For this, we will denote as I_q the identity matrix of size $q \times q$. A permutation matrix E_{ij} is the result of interchanging the rows i and j of I_q. Clearly, $E_{ij} = E_{ji}$.

4.1. Definition 7

Given two resource allocations F *and* G *such that* $F \neq G$*, we say that the pair* (F, G) *is a simple deal if there exists a unique* $r \in R$ *and a permutation matrix* $E_{ij} \neq I_q$*, such that if* $F = [c_1, \cdots, c_{r-1}, c_r, c_{r+1} \cdots c_k]$ *where* $c_1, \cdots, c_k$ *denote the columns of* F*, then* $G = [c_1, \cdots, c_{r-1}, E_{ij}\, c_r, c_{r+1} \cdots c_k]$.

Note that if (F, G) is a simple deal, then the permutation matrix E_{ij} is unique. This means that the resource r pass from agent i to agent j. We will say that the permutation matrix E_{ij} *represents* the simple deal (F, G) associated to the resource $r \in R$.

4.2. Definition 8

Given two resource allocations F and G, we will say that (F, G) *is a rational deal if it is a simple deal represented by the permutation matrix* E_{ij}*, and if one of the following conditions holds.*

$$(a_{ji} = 1) \wedge (a_{ij} = 0) \wedge (P_{jr} = 1) \tag{2}$$

or

$$(a_{ij} = 1) \wedge (a_{ji} = 0) \wedge (\forall t (a_{ti} = 1 \Rightarrow P_{ir} = 0) \tag{3}$$

Condition (2) means that agent j has a higher hierarchy than i and moreover, requests resource r. Condition (3) says that agent i has a higher hierarchy than j, that i does not request the resource r and no other agent t with higher or equal hierarchy as i requests the resource r.

We have to note that in our setting there is not compensation when a deal is realized. Thus our notion of rational deal can be seen more as an altruistic notion, a *cession*: an agent i cedes a resource r to an agent j because the agent j *needs more* this resource[2]. As a matter of fact, the hierarchical relation between the agents, $\succeq_h$, tries to code this necessity. Thus, for instance, in Example 1, the relation $\succeq_h$ encodes this necessity. For instance, $1 \succ_h 2$ means that the Knowledge Representation Team needs more a PhD student than the Robotics Team.

4.3. Definition 9

A sequence of resource allocations $F_1, F_2, \cdots, F_m$ *is called* sequence of rational deals *if for every* $1 \leq i \leq m - 1$*, the pair* (F_i, F_{i+1}) *is a rational deal.*

The following lemma will be needed in Section *Optimal resources allocation* and it is easy to prove using mathematical induction.

[2] Of course, from an abstract point of view, the relation $\succeq_h$ could encode a power relation and not a necessity relation. In such a case the notion of welfare between allocations is not very fair: a "rational deal" becomes an expropiation act and the model, instead of altruistic becomes a rapacity model. Therefore, our model is interesting when the hierarchical relation beteens agents is altruistic.

Lemma 1

Suppose that the permutation matrices $E_{i_1 j_1}, E_{i_2 j_2}, \cdots, E_{i_{--} i_{--}}$ *represent consecutive rational deals associated to the same resource* r*. Then,* $j_1 = i_2$, $j_2 = i_3 \cdots, j_{m-1} = i_m$, *and* $E_{i_1 j_m} = E_{i_m j_m} \cdots E_{i_2 j_2} E_{i_1 j_1}$ *is a permutation matrix that also represents a rational deal associated to the resource* r.

5. Good allocations

Our goal will be to construct an algorithm to find optimal resource allocations. Before, we will define what "good" resource allocations are.

5.1. Definition 10

Let $F = (f_{in})_{a \times k}$ *be a resource allocation and fix* $r \in R$*. Suppose* $i \in A$ *is the only agent such that* $f_{ir} = 1$*. We will say that the column* $c_r = (f_{ir})_{1 \leq i \leq q}$*, associated to the resource* r*, is in good position if*

$$(P_{ir} = 1) \wedge (\forall t (a_{ti} = 1 \wedge a_{it} = 0) \Rightarrow P_{tr} = 0) \tag{4}$$

or

$$\left(\forall t (P_{ir} = 0)\right) \wedge (i \in min(A)) \tag{5}$$

where $min(A) = \{t \in A: a_{it} = 1, \forall i \in A\}$*. We will say the* F *is a good resource allocation if all its columns are in good position.*

Condition (4) can be interpreted as: Agent i requests the resource r and every other agent with higher hierarchy does not request it. Condition (5) says that agent *i* has the lowest possible hierarchy and no agents requests the resource *r*. A good resource allocation will then be an allocation in which each resource is either assigned to an agent that requests it and has the higher hierarchy among those that request the resource, or to an agent of the lowest hierarchy if no agent requests the resource.

The following lemmas are easy to prove, the Lemma 2, says that a column that is in good position cannot be further "improved" by using a rational deal. While, the Lemma 3, says that if the column involved in a simple deal turns out to be in good position, then the deal must be rational.

Lemma 2

Suppose that the r*-th column* c_r *of a resource allocation* F *is in good position and that there exists a resource allocation* G *such that* (F, G) *is a rational deal associated to* c_r*, represented by the matrix* E_{ij}*. Then* c_r *and* $E_{ij} c_r$ *are* r *−equivalent.*

Lemma 3

Suppose F *and* G *are two resource allocations and that* (F, G) *is a simple deal that converts column* c_r *to* $E_{ij} c_r$*. If* $E_{ij} c_r$ *is in good position and it is not equivalent to* c_r*, then* (F, G) *is a rational deal.*

The converse of the previous lemma is not generally true. That is, the resulting column involved in a rational deal, needs not to be in good position.

Lemma 4

If $F = [c_1, \cdots, c_r, \cdots c_k]$ *is resource allocation such that the column* c_r *is not good position, then there exists a rational deal which transforms it in a good column.*

Proof: Let c_r the column in not good position. We want to find a resource allocation G such that (F, G) is a rational deal associated to the resource in the position r and that leaves $c_r c_r$ in good position. Let $i \in A$ be the only agent such that $f_{ir} = 1$. Define $J_r = \{t \in A: t \neq i \wedge P_{tr} = 1\}$. If $J_r = \emptyset$, let j be any element in $min(A)$. If $J_r \neq \emptyset$, let j be any element in $\max(J_r)$. Now, if $F = (f_{in})_{a\times k} = [c_1, \cdots, c_r, \cdots c_k]$, let's define the resource allocation $G = [c_1, \cdots, c_{r-1}, E_{ij} c_r, c_{r+1} \cdots c_k]$. Clearly (F, G) is a simple deal. To show that it is actually a rational deal, we will show that $E_{ij} c_r$ is in good position, and since it is not equivalent to c_r, and then use lemma 3. We will consider each case, $J_r = \emptyset$, and $J_r \neq \emptyset$, separately. Suppose first that $J_r = \emptyset$, then $\forall t \in A, t \neq i$ we have that $P_{tr} = 0$. Thus $P_{ir} = 0$ since otherwise condition (4) would hold and c_r would be in good position, contradicting the hypothesis. Consequently, for every $t \in A$, $P_{tr} = 0$ and since $j \in min(A)$, then condition (5) holds. Hence, $E_{ij} c_r$ is in good position. Now suppose that $J_r \neq \emptyset$, then $P_{jr} = 1$ and $j \in \max(J_r)$. Consequently, if $t \in A$ is such that $t \neq i$, $a_{tj} = 1$ and $a_{it} = 0$, we have that $j \notin J_r$ and therefore $P_{tr} = 0$. Moreover, it can not happen that $a_{ij} = 1$ and $a_{ii} = 0$ and $P_{ir} = 1$ since the maximality of j will then imply that $P_{tr} = 0$ for every $t \in A$ such that $a_{ti} = 1$ but this implies that condition (4) holds for i reaching a contradiction. Thus, condition (4) holds for j and hence $E_{ij} c_r$ is in good position.

The following theorem shows that any resource allocation can be converted into a good resource allocation by means of a finite sequence of rational deals.

Theorem 1

Suppose F *is not a good resource allocation and let* l *be the number of columns of* F *that are not in good position. Then there exists a sequence of rational deals* $F_1, \cdots, F_{l+1}$ *such that* $F_1 = F$ *and* F_{l+1} *is a good allocation.*

Proof: Let $C = \{c_{n_1}, \cdots, c_{n_l}\}, 1 \leq n_1 \leq \cdots \leq n_l \leq k$, the set of columns that are not in good position of F. Obviously, $l \geq 1$. For c_{n_1}, define $F_1 = F = (c_1, \cdots, c_{n_1}, \cdots c_k)$. By Lemma 4, there exists a rational deal (F_1, F_2) associated to c_{n_1} such that $F_2 = (c_1, \cdots, E_{i_1 j_1} c_{n_1}, \cdots c_k)$ and $E_{i_1 j_1} c_{n_1}$ is in a good position. If $l = 1$, then F_2 is a good allocation and this finishes the proof. Now, suppose that $l > 1$. Using the same reasoning, construct the resource allocations $F_3, \cdots, F_{l+1}$ until a good resource allocation is reached.

6. Optimal resource allocations

In this subsection we will show that good resource allocations are actually optimal under the Definition 6 as long as the relation $\supseteq$ is positive. First we need two technical results.

Lemma 5

Let F and G be two resource allocations, then $D_{FG} = [F \succ G] \cup [G \succ F]$ and $[F \succ G] \cap [G \succ F] = \emptyset$.

Proof: If $D_{FG} = \emptyset$, then $[F \succ G] = \emptyset = [G \succ F]$. Suppose that $D_{FG} \neq \emptyset$. It is clear that $[F \succ G] \cup [G \succ F] \subseteq D_{FG}$. It remains to show that $D_{FG} \subseteq [F \succ G] \cup [G \succ F]$. Let $r \in D_{FG}$ and let $i, j \in A$ be the only agents such that $f_{ir} = 1 = g_{ir}$. Suppose first that $a_{ii} \neq a_{ji}$, then from equation (1) we have that either $a^r_{ii} = P_{ir}$ and $a^r_{ii} = 1 - P_{ir}$ or $a^r_{ii} = 1 - P_{ir}$ and $a^r_{ji} = P_{jr}$. In any of these cases, either $a^r_{ii} = 1$ or $a^r_{ji} = 1$. Thus, $r \in [F \succ G] \cup [G \succ F]$. Suppose now that $a_{ij} = a_{ii}$. Then since $r \in D_{FG}$ we have that $P_{ir} \neq P_{jr}$. Again by equation (1) we have that either $a^r_{ij} = P_{ir}$ and $a^r_{ji} = P_{jr}$ or $a^r_{ii} = 1 - P_{ir}$ and $a^r_{ii} = 1 - P_{ir}$. And since $P_{ir} \neq P_{ir}$, the previous statement implies that $r \in [F \succ G]$ or $r \in [G \succ F]$. Hence, $D_{FG} \subseteq [F \succ G] \cup [G \succ F]$. On the other hand, suppose that $r \in [F \succ G] \cap [G \succ F]$. Then $r \in D_{FG}$ and there exist agents $i, j \in A$ such that $f_{ir} = 1 = g_{ir}$, and $a^r_{ii} = 1 = a^r_{ji}$. From equation (1), exactly one of the following two possibilities happens: $a_{ij}P_{ir} = 1 = a_{ii}P_{ir}$ or $(1 - a_{ij})(1 - P_{jr}) = 1 = (1 - a_{ii})(1 - P_{ir})$. In both cases, $a_{ij} = a_{ii}$ and $P_{ir} = P_{jr}$ contradicting the hypothesis that $c^F_r \not\equiv_r c^G_r$. Hence, $[F \succ G] \cap [G \succ F] = \emptyset$.

Proposition 1

Let $F_1, F_2, \cdots, F_n$ be a sequence of rational deals. Then for every $1 < p \leq n$, we have that $D_{1p} = [F_p \succ F_1]$, where D_{1p} is an abbreviation for $D_{F_1F_p}$.

Proof: Let $1 < p \leq n$ be fixed. Clearly, $[F_p \succ F_1] \subset D_{1p}$.It remains to show that $D_{1p} \subset [F_p \succ F_1]$. Let $r \in D_{1n}$ and let $i, j \in A$ be the only agents such that $f^1_{ir} = 1 = f^p_{jr}$. We will show that $a^r_{ji} = 1 = a_{ii}P_{ir} + (1 - a_{ji})(1 - P_{ir})$. Let $l \leq p$ be the number of rational deals from the sequence $F_1, F_2, \cdots, F_p$ associated to the resource r. Let $G_1, G_2, \cdots, G_{l+1}$ be the subsequence of rational deals of $F_1, F_2, \cdots, F_p$ that involve only the resource r. $G_1 = F_1$ and $G_l = F_p$. Let $E_{i_1 j_1}, E_{i_2 j_2}, \cdots, E_{i_l i_l}$ be the permutation matrices that represent the rational deals $(G_1, G_2), \cdots, (G_l, G_{l+1})$, respectively. Notice that, $i = i_1$, $j_1 = i_2 \cdots, j_{l-1} = i_l$ *and* $j_l = j$. Using Lemma 1, we get that $E_{ij} = E_{i_l j_l} \cdots E_{i_2 j_2} E_{i_1 j_1}$ represents a rational deal associated to r. Thus, by Definition 8, it holds that either

$$a_{ji}P_{jr} = 1 \tag{6}$$

or

$$(a_{ij} = 1) \wedge (a_{ji} = 0) \wedge (\forall k(a_{ki} = 1 \Rightarrow P_{kr} = 0)) \tag{7}$$

If equation (6) holds, then $a^r_{ii} = a_{ii}P_{jr} = 1$ and consequently $r \in [F_p \succ F_1]$. Let's suppose equation (7) holds. Since $c^1_r \not\equiv_r c^p_r$ then either $a_{ii} \neq a_{ii}$ or $a_{ii} = a_{ii}$ and $P_{jr} \neq P_{jr}$. If $a_{ij} \neq a_{ji}$ then $a_{ii} = 0$ and since $P_{ir} = 0$, then $(1 - a_{ii})(1 - P_{ir}) = 1 = a^r_{ji}$. On the other hand, if $a_{ij} = a_{ji}$ and $P_{ir} \neq P_{ir}$, then $a_{ii} = 1$ and $P_{ir} = 1$ and consequently, $a^r_{ji} = a_{ji}P_{jr} = 1$. In both cases we have that $r \in [F_p \succ F_1]$. Thus $D_{1p} \subset [F_p \succ F_1]$ and this finishes the proof.

Lemma 6

Suppose G is a good resource allocation and F is any resource allocation. Then $[G \succ F] = D_{GF}$.

Proof: It is enough to show that $D_{GF} \subseteq [G \succ F]$. Let $r \in D_{GF}$ and suppose that $i, k \in A$ are the only agents such that $g_{ir} = 1$ and $f_{kr} = 1$. We want to show that $a_{ik}^{r} = 1$ where

$$a_{ik}^{r} = a_{ik}P_{ir} + (1 - a_{ik})(1 - P_{kr}) \tag{8}$$

If $P_{ir} = 1$. Then either $a_{ik} = 1$ or $a_{ki} = 0$. If $a_{ik} = 1$, then plugging in equation (8), we have that $a_{ik}^{r} = 1$. If $a_{ki} = 0$, then since $\succeq_h$ is total, then $a_{ki} = 1$. Now, since the any column of the allocation G is in good position, then condition and $P_{ir} = 1$, then (4) holds: $(P_{ir} = 1) \wedge \left(\forall j\left(a_{ji} = 1 \wedge a_{ij} = 0\right) \Rightarrow P_{jr} = 0\right)$. Thus, $a_{ki} = 1$ and $a_{ik} = 0$ imply that $P_{kr} = 0$. Plugging in equation (8), we conclude that $a_{ik}^{r} = 1$.

Now, if $P_{ir} = 0$. Again using the hypothesis that any column of G is in good position, condition (5) holds: $(\forall j(P_{jr} = 0)) \wedge (i \in \min(A))$. In consequence, $P_{kr} = 0$ and $a_{ki} = 1$. Hence $P_{kr} = P_{ir}$ and since the r columns in F and G are not equivalent, then we must have that $a_{ik} = 0$. Plugging in equation (8), we obtain $a_{ik}^{r} = 1$. This finishes the proof.

The next corollary follows from Lemmas 5 and 6.

Corollary 1

Suppose G is a good resource allocation, then for every resource allocation F we have that $[F \succ G] = \emptyset$.

We are finally ready to prove that good resource allocations and optimal resource allocations coincide when the binary relation $\sqsupseteq$ is positive in the following sense: *Given a binary relation $\sqsupseteq$ defined on $P(R)$, we say that $\sqsupseteq$ is* positive *if $\emptyset \sqsupseteq \emptyset$ and for every set $A \in P(R)$, with $A \neq \emptyset$ we have that $A \sqsupseteq \emptyset \wedge \neg(\emptyset \sqsupseteq A)$.*

Theorem 2

Suppose $\sqsupseteq$ is positive. Then any good resource allocation is also an optimal resource allocation and vice versa.

Proof: Let G be a good resource allocation and F be any resource allocation, then by Lemma 6 and Corollary 1 we have that $[G \succ F] = D_{GF} \sqsupseteq \emptyset = [F \succ G]$ and consequently $G \trianglerighteq F$. Thus G is optimal. Conversely, suppose G not a good resource allocation, then by Theorem 1 and Proposition 1, there exists a good resource allocation F such that $[F \succ G] = D_{FG}$, consequently $[F \succ G] = \emptyset$ and by the positivity of $\sqsupseteq$, we have that $F \trianglerighteq G$. Thus G is not optimal.

Note that for any two optimal resource allocations F and G it holds that $F \trianglerighteq G$ and $G \trianglerighteq F$.

Corollary 3

Suppose $\sqsupseteq$ is positive, then for every resource allocation F there exists an optimal resource allocation F^* such that $F^* \trianglerighteq F$.

The following corollary justifies the term "optimal allocation" in the sense of the relation $\trianglerighteq$.

Corollary 4

Suppose $\sqsupseteq$ is positive. Suppose also that G is an optimal resource allocation and F is a non-optimal resource allocation. Then $G \trianglerighteq F$.

7. Final remarks

In this work we have tackled the problem of finding a good resource allocation from a qualitative point of view. A central idea is to use a notion of qualitative social welfare based on the dominance plausible rule of Dubois et al. (Dubois, 2002; Dubois, Fargier & Perny, 2003). One important feature of this approach is to take into account the uncertainty of resources via the qualitative relation representing the likelihood of the resources. The use of matrix techniques of representation for the relations involved allows us a better organization of results and a simplification of proofs.

We have generalized the preliminary results presented in (Pino et al., 2016) in three ways: First, the hierarchical relation between agents can be now a total preorder instead of a linear order. Second, the likelihood relation between the resources can be now a total preorder instead of linear order. Finally, the plausibility relation between sets of resources can be now a positive relation extending the likelihood relation between the resources instead of only the posibilistic relation considered in (Pino et al., 2016).

Unlike the results in (Pino et al., 2016) in which an optimal allocation is unique, here the class of optimal allocations can contain more than one element. A future work is to find adequate techniques for discriminating these optimal allocations. We have to note that in this work the attitude of an agent toward a resource is binary that is, the agent requests or not the resource. Thus, another natural generalization of this work could be to consider more complex representations of the agents' preferences.

References

Brams, S., Taylor, A., & Zwicker, W. (1994). Old and new moving-knife schemes. *Economic Research Reports*, 94–30.

Sandholm, T. (1998). Contract types for satisficing task allocation: I Theoretical results. In *AAAI Spring Symposium Series: Satisficing Models* (pp. 68-75). Standford University, CA.

Barberà, S., Bossert, W., & Pattanaik, P. (2004). Ranking sets of objects. In S. Barberà, P. Hammond, & C. Seidl, *Handbook of Utility Theory* (pp. 893-978). Springer.

Beviá, C. (1996). Identical preferences lower bound solution and consistency in economies with indivisible goods. *Social Choice and Welfare*, 113–126.

Brams, S., & Taylor, A. (1996). *Fair division - from cake-cutting to dispute resolution*. Cambridge University Press.

Brams, S. (1995). On Envy-Free Cake Division. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 170–173.

Brams, S., & Taylor, A. (1995). An Envy-Free Cake Division Protoco. *The American Mathematical Monthly*, 9–18.

Brams, S., Taylor, A., & Zwicker, W. (1997). A moving-knife solution to the four-person envy-free cake division problem. *Proceedings of The American Mathematical Society*, 547–554.

Chevaleyre, Y., Endriss, U., & Maudet, N. (2017). Distributed fair allocation of indivisible goods. *Artificial Intelligence* , 1–22.

Chevaleyre, Y., Endriss, U., Estivie, S., & Maudet, N. (2007). Reaching Envy-Free States in Distributed Negotiation Settings. In M. M. Veloso, *Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 1239--1244). AAAI Press.

Dubois, D., Fargier, H., & Perny, P. (2003). Qualitative decision theory with preference relations and comparative uncertainty: An axiomatic approach. *Artificial Intelligence*, 219–260.

Dubois, D., Fargier, H., Prade , H., & Perny, P. (2002). Qualitative decision theory: from savage's axioms to nonmonotonic reasoning. *Journal of the ACM*, 455–495.

Endriss, U., Maudet, N., Sadri, F., & Toni, F. (2006). Negotiating Socially Optimal Allocations of Resources. *Journal Artificial Intelligence Research*, 315–348.

Moulin , H., & Thomson, W. (1997). Axiomatic Analysis of Resource Allocation Problems. In K. Arrow, A. Sen, & K. Suzumura, *Social Choice Re-examinated* (pp. 101-120). International Economic Association.

Moulin, H. (1988). *Axioms of Cooperative Decision Making*. Cambridge University Press.

Moulin, H. (2003). *Fair division and collective welfare*. MIT Press.

Pino P., R., Varela M., J., & Camacho, F. (2016). Resource allocation under uncertainty: Firt steps towars a qualitative approach. In F. Rivas Echeverría, & S. Arciniegas Aguirre, *Avances y aplicaciones de sistemas inteligentes y nuevas tecnologías* (pp. 399-412). Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes.

Sandholm, T. (1999). Distributed rational decision making. In *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence* (pp. 201-258). MIT Press.

Steinhaus, H. (1948). The problem of fair division. *Econometrica*, 101–104.

Steinhaus, H. (1949). Sur la division pragmatique. *Econometrica*, 315-319.

Thomson, W. (2011). Fair Allocation Rules. In K. Arrow, A. Sen, & K. Suzumura, *Handbook of Social Choice and Welfare, Volume 2* (pp. 393-506). Elsevier.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 28/11/2018
Aceitação/Acceptance: 31/01/2019

Cooperative control of robotic spheres for tracking trajectories with visual feedback

Jorge Buele[1a,1b], John Espinoza[2], Ronald Bonilla[3], Edison Salazar-C.[4], Vinicio Pérez-L.[5], Franklin Salazar-L.[6]

jl.buele@uta.edu.ec, jjespinoza6@espe.edu.ec, rabonilla2@espe.edu.ec, edison.salazar@utc.edu.ec, hperez3970@uta.edu.ec, fw.salazar@uta.edu.ec

[1a,5,6] Universidad Técnica de Ambato, 180104, Ambato, Ecuador.

[1b,2,3] Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), 050104, Latacunga, Ecuador.

[4] Universidad Técnica de Cotopaxi, 050108, Latacunga, Ecuador.

Pages:134–145

***Abstract*:** This paper describes the design and implementation of a centralized cooperative control algorithm of 3 sphere-type robots, for the tracking of pre-established trajectories in a structured environment. To analyze the image characteristics of said spheres, a camera is placed in a strategic place over them (eye-to-hand) and different colors are assigned to each sphere. The system design has been made based on a multilayer scheme, where each layer works as an independent module dealing with a specific part, such as: cooperation, trajectory tracking and visual feedback giving greater flexibility to the scheme. In this way, robots move around the plane trying not to deform the fixed virtual structure (triangle), following the desired trajectory. To validate the correct operation of the proposed controller, some simulation and experimental tests are presented.

***Keywords*:** Cooperative control; Formation control; Robotic spheres; Trajectory tracking; Visual feedback.

1. Introduction

Advances in the field of mobile robotics have allowed them to be autonomous and to be included in various areas of knowledge even in domestic and/or industrial environments. Its application in manufacturing field and research has created the requirement of better designs and features with accessible costs to users (Buele et al., 2019). Therefore, the robotic spheres (considered alternative non-holonomic land mobile systems) have been developed, which do not conform to any of the conventional classifications of industrial and service robotics (Cruz, Barrientos, Quesada, Carrillo & Olvera, 2015). Its locomotion principle is based on the controlled positioning of its center of mass CM, with respect to its center of gravity. It consists of a rigid external body or shell and an internal mechanism of movement induction, according to which it can behave as a holonomic system or as a non-holonomic system (Beke, Yuceler & Kumbasar, 2017).

In order to allow robots to have greater independence when moving, control algorithms are implemented. One of them is trajectory tracking used in robotic, automation and control applications, artificial intelligence, among others (Angelini et al., 2018). In addition, due to the need to perform tasks such as surveillance of large land areas, search and rescue of people in emergency situations and the transport of objects, it is more efficient to use a coordinated group of robots, instead of a single specialized robot (Andaluz, Ortiz, Pérez, Roberti & Carelli, 2014). In this context, the term formation or cooperative control is born, which can be defined as the problem of controlling the relative position of robots within a platoon that moves as a solid structure. The coordinated control of multiple mobile robots has attracted the attention of several relevant investigations: In (Du, Wen, Cheng, He & Jia, 2017) a distributed finite-time cooperative control algorithm of multiple non-holonomic higher-order mobile robots is presented. The interest in using these systems is to perform complex tasks and therefore an example of simulation is described. Similarly, in (Mu, Chen, Shi & Chang, 2017) cooperative control of non-uniform sampling is presented in a group of two-wheeled mobile robots. To carry out the design, consensus convergence is analyzed based on the theory of algebraic graphics and stochastic matrix analysis. The experiments confirm the effectiveness of the proposed methods. In addition, the implementation of distributed cooperative control to direct multiple non-holonomic mobile robots is presented in (Wang, Wang, Du, Li & Dong, 2016). In this research, two proposals are developed: transform the original non-holonomic system into a new transformed system, and in the second, a distributed controller for the transformed system is designed using intrinsic system information. Despite having good performance and results, because delays in communication are inevitable in practice, new distributed controllers and other future work are also proposed.

Visual information is one of the tools that is currently used for the recognition of unknown environments, at increasingly accessible costs (Perez & Lopez, 2015). At the present time, using image-based control it is possible to establish a difference between the initial configuration in the image characteristics and the desired one, which varies depending on the application. For this reason, the importance of a correct calibration of the vision system must be stressed, i.e., an adequate measure of the approach to the object to be defined, which will allow a better operation of the controller. All this stuff must be cautiously defined by the criteria of the main coordination schemes for mobile robots, such as: the leader-follower control, where one or a group of robots plays the role of leader, which follow a planned trajectory that is followed by the rest of robots that make up the follower group, On the other hand, hybrid position-force control by decentralized/centralized scheme (Nag, Heffan, Saenz-Otero & Lydon, 2012). Cooperative control based on visual feedback is a technique that is currently gaining strength. For its part in (Cook, Hu & Feng, 2012) each robot is equipped with a camera and through information exchange they obtain a complete description of the operation of the training and in (Panagou & Kumar, 2014) a decentralized technique with vision is implemented, in which each robot is responsible for maintaining the alignment configured to evade obstacles. The interest to apply this type of controls is oriented to applications such as the transport of heavy loads (mobile robots) or the mapping of large areas (aerial robots) (Lyu et al., 2015).

In this context, this work proposes the design of a system which allows the displacement of 3 sphere-type robots on a defined plane, following a trajectory and maintaining their formation. In order to define the displacement of the group, a camera is placed letting the system fed back, as shown in Figure 1. The control algorithm is implemented through the MATLAB software, as well as the acquisition of the image characteristics that robots perform when moving on the workspace. Similarly, an interface is made in the GUIDE of this mathematical software, in which the Bluetooth connection is defined and the path to be followed is established. Through the simulation of the developed algorithm, it is determined that its performance is adequate, in order to contrast with the respective experimental tests.

Including the introduction in section 1, this document is organized as follows: section 2 describes kinematic modeling. The control scheme and its elements are presented in section 3, and the experimental tests and results obtained in section 4. Finally, the conclusions and future work are shown in section 5.

2. Kinematic modeling

A sphere-type mobile robot is considered a unicycle robot that rotates internally within its shell, it has the same advantages as a unicycle robot, i.e., high mobility, high traction with pneumatic wheels and a simple configuration of them. The kinematic model allows to express the configuration of the robot (position and orientation) and in this case, to estimate the position of the center of mass (CM) with respect to its gravitational center (CG). With this, the system response can be calculated based on its linear and angular speed with respect to the sphere orientation. The kinematic model of the mobile robot, considering the non-holonomic constraint is represented in equation (1), where the states are: x, y, ψ and the inputs: u, ω. The graphic representation is illustrated in Figure 2.

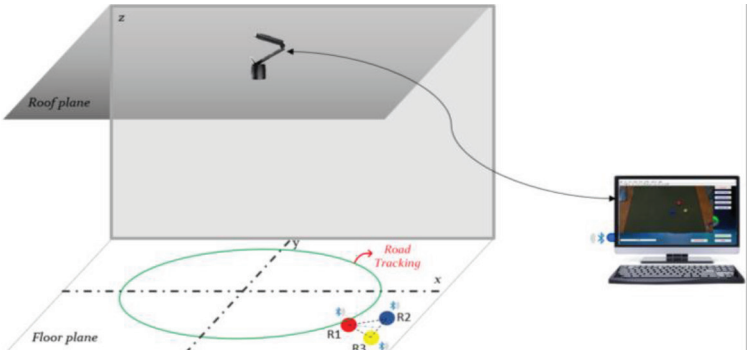


Figure 1 – General system diagram

$$\begin{cases} \dot{x} = u\cos(\psi) \\ \dot{y} = u\sin(\psi) \\ \dot{\psi} = \omega \end{cases} \tag{1}$$

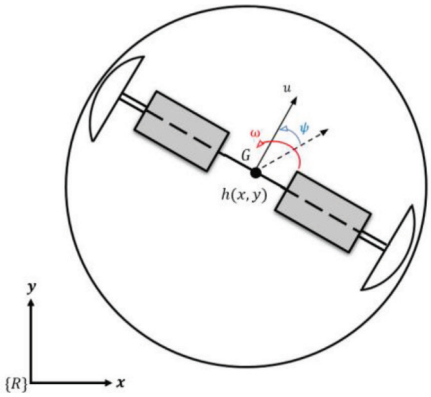


Figure 2 – Kinematic model of the robotic sphere

In this design, G represents the center of mass and is in the center of the axis that joins the wheels, where x and y describe the point h position with respect to the global reference system and ψ defines its orientation with respect to the plane {R}.

3. Control Scheme

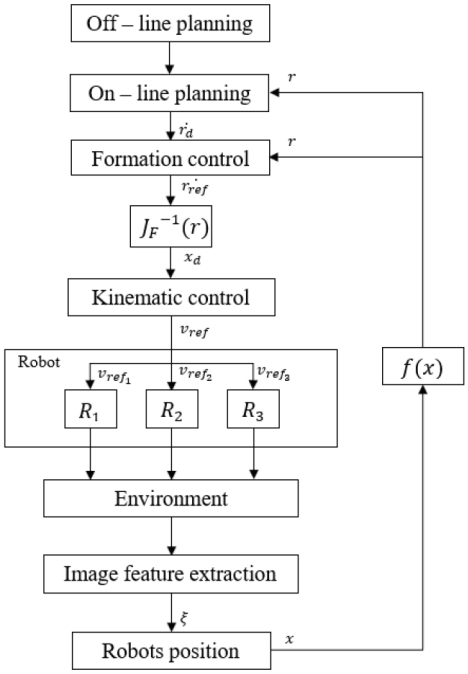


Figure 3 – Control scheme with their respective layers

The system is organized in a multilayer control scheme, where each layer addresses each of the problems of cooperative control with visual feedback, the scheme is made up of the following layers: formation control, kinematic control, robots, environment, extraction of the image characteristics and the robots position layer. Figure 3 shows that before the control stages are the preparation layers, that is, the off-line planning layer, which is responsible for placing the initial conditions and generating the trajectories that the spheres will follow. In addition, the online planning layer is established, in which the references can be changed, thus the training interacts and reacts with the environment.

According to the specified conditions in the initial layers, the training control layer is responsible for sending the alignment signals to each of the robots, so that they behave as a single unit. The kinematic control layer is responsible for sending the control signals to the motors of the spheres considering the necessary displacements. The robot's layer, represents the spheres as a team forming a geometric structure, i.e. a triangle. The layer of the environment where are all the objects that surround the spheres, including obstacles or the same spheres. The extraction layer of the image characteristics is responsible for constantly sending the acquired images of the environment where the camera is positioned at a specific height. Finally, there is a robot's position layer, which sends coordinates of the robots' position to be able to manage the tracking of desired trajectories.

3.1. Kinematic Transformation

In this case, the control method is based on a regular or irregular triangle creation defined by each sphere location. The triangle location in the plane $X-Y$ of the global frame is defined by $P_F = [x_F \quad y_F \quad \psi_F]$, where $(x_F \quad y_F)$ represents the CM position and ψ_F represents the orientation with respect to the global axis Y. The triangle's shape is defined by $S_F = [p_F \quad q_F \quad \beta_F]$, where p_F represents the distance between R_1 and R_2; q_F is the distance between R_1 and R_3; β_F is the formed angle by $R_2\hat{R}_1R_3$. This structure is shown in Figure 4.

The relation between position-orientation-shape of the triangle and each sphere position is given by the inverse kinematic transformation, *i.e.,* $r = f(x)$ and $x = f^{-1}(r)$, where $r = [P_F \quad S_F]^T$ and $x = \begin{bmatrix} h_1^T & h_2^T & h_3^T \end{bmatrix}^T$. The direct kinematic transformation $f(x)$, is given by the (2) and (3) equations.

$$P_F = \begin{bmatrix} \dfrac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \\ \dfrac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \\ \arctan \dfrac{\frac{2}{3}x_1 - \frac{1}{3}(x_2 + x_3)}{\frac{2}{3}y_1 - \frac{1}{3}(y_2 + y_3)} \end{bmatrix}^T \tag{2}$$

$$S_F = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\ \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2} \\ \arccos \dfrac{p_F^2 + q_F^2 - r_F^2}{2 p_F q_F} \end{bmatrix}^T \tag{3}$$

where $r_F = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2}$. For the inverse kinematic transformation $f^{-1}(r)$, the sphere setup is taken into account of the triangle's shape (clockwise or counterclockwise). Based on this, the $x = f^{-1}_{R_1 R_2 R_3}(r)$ disposition is considered, which is given by the equation (4).

$$x = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_F + \dfrac{2}{3} h_F \sin\psi_F \\ y_F + \dfrac{2}{3} h_F \cos\psi_F \\ x_F + \dfrac{2}{3} h_F \sin\psi_F + p_F \sin(\alpha - \psi_F) \\ y_F + \dfrac{2}{3} h_F \cos\psi_F - p_F \cos(\alpha - \psi_F) \\ x_F + \dfrac{2}{3} h_F \sin\psi_F - q_F \sin(\beta_F - \alpha + \psi_F) \\ y_F + \dfrac{2}{3} h_F \cos\psi_F - q_F \cos(\beta_F - \alpha + \psi_F) \end{bmatrix} \tag{4}$$

where, $h_F = \sqrt{\frac{1}{2}\left({p_F}^2 + {q_F}^2 - \frac{1}{2}{r_F}^2\right)}$ represents the median length of the vertex $\widehat{R_1}$, going through $(x_F \quad y_F)$, and $\alpha = \arccos \frac{{p_F}^2 + {h_F}^2 - \frac{1}{4}{r_F}^2}{2 p_F h_F}$.

Taking the derivative time of the direct kinematic transformations, it can be obtained the relation between the **x** and **r** speeds, represented by the Jacobian matrix J_F, which is given by $\dot{r} = J_F(x)\dot{x}$ and its inverse $\dot{x} = {J_F}^{-1}(r)\dot{r}$. Where $J_F(x) = \frac{\partial r_{fx1}}{\partial x_{ex1}}$ and ${J_F}^{-1} = \frac{\partial x_{ex1}}{\partial r_{fx1}}$

3.2. Controller Structure

In Figure 5 a block diagram of the control system is presented. The control layer takes from the superior layer the desired formation and shape $r_d = \begin{bmatrix} P_{F_d} & S_{F_d} \end{bmatrix}^T$ and its desired variations $\dot{r_d} = \begin{bmatrix} \dot{P}_{F_d} & \dot{S}_{F_d} \end{bmatrix}^T$. The position and form of the reference variation are

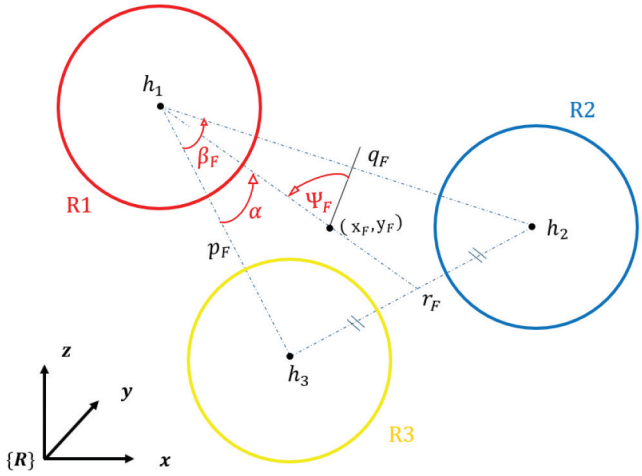


Figure 4 – Geometric structure formed by the robotic spheres which are in a single formation

generated $\dot{r}_{ref} = \left[\dot{p}_{F_{ref}} \; \dot{\varsigma}_{F_{ref}}\right]^T$ where the subscripts *d* and *ref* represents the desired and reference signals respectively.

Defining the formation error as $\tilde{r} = r_d - r$, the formation control law is established in equation (5), where D is a diagonal matrix positively defined

$$\dot{r}_{ref} = \dot{r}_d + D\tilde{r} \tag{5}$$

Now, having the inverse kinematic transformations and (5), the equation (6) is obtained, which represents the desired references vector for each of the spheres

$$\dot{x}_{ref} = J_F^{-1}\dot{r}_{ref} \tag{6}$$

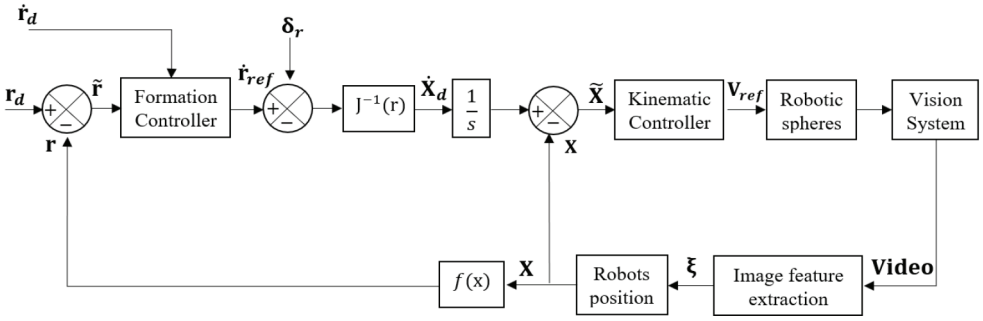


Figure 5 – Block Diagram of the control system

3.3. Interface Design

Controller Structure

The design of the interface has been done using the GUIDE of MATLAB as can be seen in Figure 6. This screen consists of the following buttons:

Camera: It is used to determine the state of the camera, i.e., if detected, an affirmative message is displayed in the text box and turns green and otherwise red. This option has been configured so it does not receive the video coming from the laptop's own webcam.

Preview Camera: Allows you to make an instant video capture in real time to prove that its operation is appropriate.

Connect Sphero: Check the correct connection between the 3 robots and the PC, if one of them has disabled his internal Bluetooth device, it shows the respective message and turns red.

Detect objects: Initializes the robot's position, also makes a minimum displacement of them to corroborate the connection state.

Algorithm ON: Starts the control algorithm for tracking a trajectory and presents a displacement graph performed by the robotic spheres in real time.

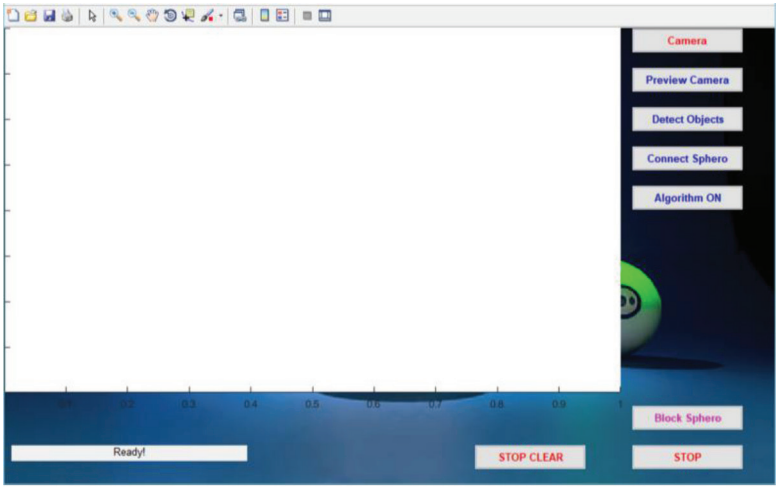


Figure 6 – Main screen of the developed interface

4. Tests and results

4.1. Simulation Test

To test the effectiveness of the proposed control algorithm, a simulation test is carried out as shown in Figure 7. In this case, the path to follow is given by: $x_{fd} = 3\cos(t - \pi)$;

$y_{fd} = 3\sin(t-\pi)+1$. In this way it is corroborated that the design has been correctly carried out and that the formation has been kept along the displacement in the desired path.

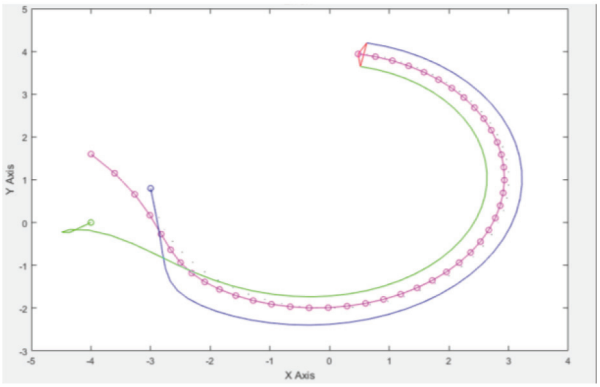


Figure 7 – Performance simulation tests of the designed control algorithm

4.2. Experimental Test

The cooperative trajectory tracking system is made up of three robotic spheres of the Sphero 2.0 brand and a Logitech C920 High Definition camera with 30fps and autofocus capability. Figure 8 shows a real-time capture of the spheres before starting their movement. To evaluate the performance of the cooperative controller, the camera has been placed at a height of 2.15m, so it can cover a workspace of 2.20 x 1.70m. The established path is given by: $x_{fd}(1:24) = [.45:.05:1.6]$; $x_{fd}(25:45) = 1.6$; $x_{fd}(46:69) = [1.6:-.05:.45]$; $x_{fd}(70:90) = .45$ and $y_{fd}(1:24) = .3$; $y_{fd}(25:45) = [.3:.05:1.3]$; $x_{fd}(46:69) = 1.3$; $y_{fd}(70:90) = [1.3:-.05:.3]$ with the following parameters $p_F = 0.15\,[\mathrm{m}]$, $q_F = 0.15\,[\mathrm{m}]$ and $\beta_F = 1.17\,[\mathrm{rad}]$.

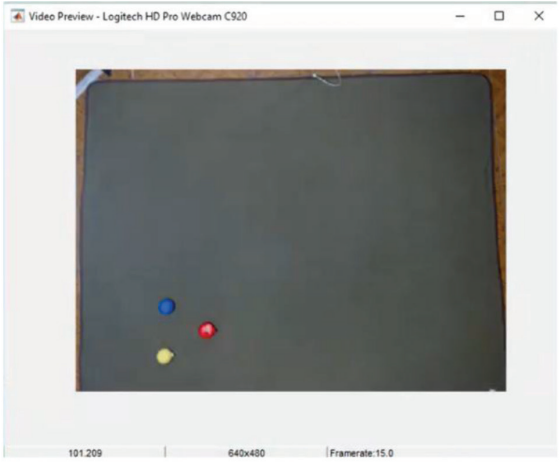


Figure 8 – Capture the robots in real time using the preview camera option

In Figure 9 there are three circles of different colors that represent each of the spheres and based on the images obtained in real time, it can be seen their movement in the workspace. Red circle represents the leader sphere, magenta circle represents the escort sphere on the right side, blue circle represents the escort sphere on the left side, while the black square represents the desired trajectory. As can be seen, the spheres behavior with the implemented controller in the plane $X-Y$ is irregular due to the high computational cost and latency generated by the required image processing, which is 0.77 s. In Figure 10 the speed variations of the 3 robots are shown and in Figure 11 the errors with respect to the position of the CM and the desired orientation angle and those obtained in a period of 90 seconds are presented.

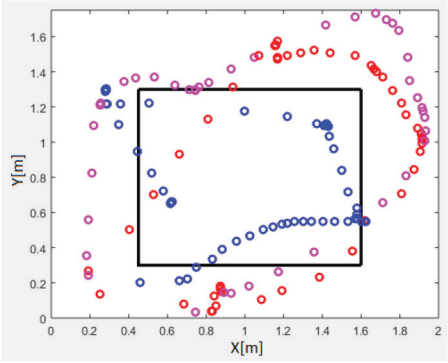


Figure 9 – Displacement of the three robotic spheres in the plane

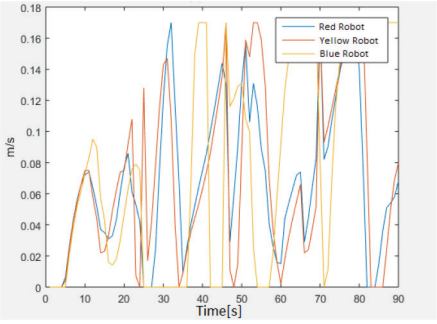


Figure 10 – Variations in the speed of the robots in a time interval

5. Conclusions

The mathematical modeling performed becomes the principal base when trying to test the effectiveness of the algorithm control design. In the same way, the validation through the simulation tests executed using the MATLAB software show that the aim is achieved and that the formation of the robots remains stable. For its part, real-time trajectory tracking with the 3 robotic spheres has shown the presence of a greater error degree, as described in the previous section. Therefore, it is necessary to define that it

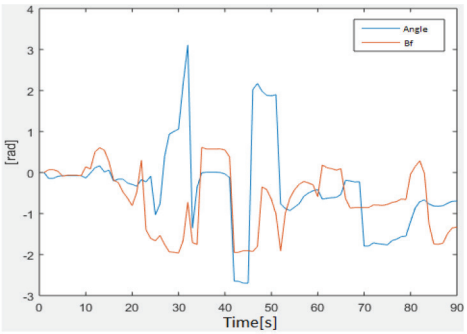


Figure 11 – Errors with respect to the position of the CM and the desired orientation angle in a period of 90 seconds.

is difficult to complete the task required by the high computational cost generated by the system when performing training control, image processing and trajectory tracking with a single personal computer producing a latency of 0.77 seconds. In addition, it has been determined that the robustness and scalability that Sphero 2.0 presents for the implementation of this type of controllers is low. Even so, it sets a precedent for the development of future research involving low-end robots, with a reduced economic investment.

The authors of this paper propose as future work, the implementation of the same control algorithm in other types of robots, since Sphero is considered a commercial entertainment device and not necessarily one of industrial development. In a similar way, we intend to decentralize the system, using a high-end additional computer, which allows us to reduce the response times obtained in this work and increase a fourth robot, obtaining a square-shaped formation.

Acknowledgments

To Víctor H. Andaluz, PhD and to the engineers José Varela Aldás and Fernando A. Chicaiza for their valuable contribution in this work.

References

Andaluz, V. H., Ortiz, J. S., Pérez, M., Roberti, F., & Carelli, R. (2014). Adaptive cooperative control of multi-mobile manipulators. IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2669–2675. IEEE.

Beke, A., Yuceler, A. A., & Kumbasar, T. (2017). A rule based fuzzy gesture recognition system to interact with Sphero 2.0 using a smart phone. *Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP),* 1–4. IEEE.

Buele, J., Salazar L. F., Altamirano S., Aldás R., A. & Urrutia-Urrutia, P. (2019). Plataforma y aplicación móvil para proporcionar información del transporte público utilizando un dispositivo embebido de bajo costo. RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, *E17*, 476–489.

Cook, J., Hu, G. & Feng, Z. (2012). Cooperative state estimation in vision-based robot formation control via a consensus method. *Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese,* 6461–6466. IEEE.

Cruz, E. M., Barrientos, A. G., Quesada, E. S. E., Carrillo, L. R. G. & Olvera, R. T. (2015). An Unmanned Ground Vehicles Experimental Setup for Image-Based Object Tracking. *IEEE Latin America Transactions, 13*(9), 2845–2850.

Du, H., Wen, G., Cheng, Y., He, Y., & Jia, R. (2017). Distributed finite-time cooperative control of multiple high-order nonholonomic mobile robots. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 28*(12), 2998–3006.

Lyu, Y., Pan, Q., Zhang, Y., Zhao, C., Zhu, H., Tang, T. & Liu, L. (2015). Simultaneously multi-UAV mapping and control with visual servoing. *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 125–131.

Mu, B., Chen, J., Shi, Y., & Chang, Y. (2017). Design and implementation of nonuniform sampling cooperative control on a group of two-wheeled mobile robots. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64*(6), 5035–5044.

Nag, S., Heffan, I., Saenz-Otero, A., & Lydon, M. (2012). SPHERES Zero Robotics software development: Lessons on crowdsourcing and collaborative competition. *Aerospace Conference*, 1–17. IEEE.

Panagou, D. & Kumar, V. (2014). Cooperative visibility maintenance for leader–follower formations in obstacle environments. *IEEE Transactions on Robotics, 30*(4), 831–844.

Perez, M. A., & Lopez, M. (2015). 3D visual servoing control for robot manipulators without parametric identification. *IEEE Latin America Transactions,* 13(3), 569–577.

Wang, G., Wang, C., Du, Q., Li, L., & Dong, W. (2016). Distributed cooperative control of multiple nonholonomic mobile robots. *Journal of Intelligent & Robotic Systems, 83*(3-4), 525–541.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 20/12/2018
Aceitação/Acceptance: 09/02/2019

Adopción de videojuegos educativos infantiles, monitoreada con tableros de control en la nube

Nayeth Solórzano Alcívar[1], Lissenia Sornoza Quijije[2], Diego Carrera Gallegos[3]

nsolorza@espol.edu.ec, lsornoza@espol.edu.ec, dcarrera@dit.epm.es

[1,2,3] Escuela Superior Politécnica del Litoral, 090112, Guayaquil, Ecuador.

[3] Universidad Politécnica de Madrid, 28040, Madrid, España.

Pages:146–160

Resumen: Actualmente se utilizan variadas aplicaciones lúdicas digitales o videojuegos educativos para complementar la educación infantil, particularmente dentro de los primeros años de escolaridad. Pero no se genera una recolección de datos automática que proporcione a instructores o usuarios información confiable para retroalimentación sobre aspectos académicos a reforzar en un niño. En este artículo, analizamos los avances de una investigación multidisciplinaria, que involucra la producción de historias y juegos animados con generación de datos, para medir factores de adopción de tecnologías, aplicándolas a videojuegos monitoreados a través de un tablero de control en la nube. Se genera información en gráficos y tablas buscando futuras interpretaciones en lenguaje natural. Se realizan pruebas piloto con niños entre cuatro y ocho años, utilizando aplicaciones de juegos sobre el Entorno Natural y Social, en Ecuador. Los resultados ayudan a profesores y padres a identificar efectos del uso de videojuegos educativos en el aprendizaje del niño.

Palabras-clave: juegos lúdicos digitales; videojuegos educativos; tablero de control; usabilidad; adopción de tecnologías.

Adoption of children's educational video games monitored with dashboards in the cloud

***Abstract**:* Nowadays, a variety of digital ludic applications or educational video games are used to complement childhood education, particularly within their first years of schooling. However, the existing applications do not generate an automatic data collection that can provide to instructors or any user, reliable information for feedback on academic aspects that need to be reinforced in a child. In this article, we analyze the progress of a multidisciplinary research work, that involves the production of stories and animated games which generate data to measure adoption technology factors in a game. These factors are monitored through a control panel in the cloud. To this end, organized information is generated in graphs and tables aiming for interpretations in natural language. Pilot tests are undertaken, applied to children between four and eight years old, using mobile applications games for

learning about the Natural and Social Environment in Ecuador. The results help teachers and parents to identify the effects of using educational video games in children's learning.

***Keywords**:* Ludic digital games; educational video games; dashboard; usability; technology adoption.

1. Introducción

Con la experiencia de los años, las organizaciones que rigen el sistema educativo están optando por buscar nuevas herramientas que apoyen los procesos de enseñanza-aprendizaje, empezando con niños que cursan los primeros años de educación inicial. En este aspecto, las herramientas tecnológicas, entre ellas, los videojuegos, están tomando importancia en el sector interactivo como instrumentos de apoyo para el sistema de enseñanza tradicional (González & Gutiérrez, 2014; Marín, 2011; Marín & Martín, 2014). En el caso del empleo de los videojuegos educativos o juegos lúdicos digitales en las aulas, si bien aún no suele ser algo cotidiano, nuevas tendencias se están abriendo en el sentir de los profesores, quienes, poco a poco, los van incorporando al aula como un instrumento más (Marín & Martín, 2014). Sin embargo, resulta complicado hacer un seguimiento cercano con los estudiantes sin un sistema tecnológico que procese y categorice la información de todo instrumento de apoyo digital que utilicen, ya sea con fines académicos o administrativos. También, el hecho de que su monitoreo brinde un anonimato a los niños, permitiendo mejores prácticas para el aprovechamiento de su aprendizaje.

Se ha observado que muchas organizaciones educativas implementan sistemas para recopilar la información y los resultados de evaluaciones de sus estudiantes, o para tener a disposición el contenido que un docente cubrirá en su respectiva materia. No obstante, ese tipo de sistemas solo es una de las tantas herramientas tecnológicas del mercado de uso general en este aspecto. Éstas, en su mayoría no son adaptadas a parámetros de medición de usabilidad de recursos educativos digitales que se aplican. Existen también aplicaciones de juegos interactivos lúdicos de carácter educativo o videojuegos educativos identificados como *serious games* (López Raventós, 2016), lo que definimos en este artículo como aplicaciones lúdicas digitales o *apps*, cuyo objetivo no ha sido mantener un registro o seguimiento de la información de estudiantes. El propósito de los juegos existentes, ha sido proporcionar un apoyo al aprendizaje de contenidos, una evaluación más didáctica y visualmente más atractiva, con la particularidad de obtener una respuesta sobre comprensión de contenidos (López Raventós, 2016), pero sobre objetivos a muy corto plazo. Esto implica que no se elabora un estudio posterior o interpretación de las acciones que han realizado al usar estas aplicaciones, que proporciona por ejemplo al docente, información de retroalimentación sobre el nivel de aprendizaje de los niños.

Como parte integral y estratégica de este estudio, se evalúa el desarrollo de un tablero de control en línea (*dashboard*), que cuente con una arquitectura de transmisión de información y parámetros necesarios para almacenar, procesar y mostrar datos originados por *apps* de juegos educativos. El *dashboard* permite almacenar y presentar datos organizados para lograr un análisis ordenado y detallado de las acciones que toman los niños al usar un juego (González & Gutiérrez, 2014). Para su análisis y evaluación, en

esta investigación se utilizan, como base, juegos lúdicos digitales sobre la enseñanza del Entorno Natural y Social, conocidos como Multimedios Interactivos Didácticos Infantiles (MIDI). Inicialmente, estos juegos fueron desarrollados para PC (Solorzano, 2006), y actualmente están siendo adaptados y reestructurados como aplicaciones móviles (AM), en un proyecto identificado como MIDI-AM. Las *apps* MIDI-AM, en versiones beta se desarrollan para realizar pruebas sobre dispositivos celulares con tecnología Android.

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia del uso de *apps* de juegos lúdicos en la educación básica infantil. Particularmente, en sectores marginales del Ecuador como Mapasingue, Fortín y Nueva Prosperina, pertenecientes a la ciudad de Guayaquil. Para el efecto, con el análisis de la información obtenida a través del *dashboard*, se busca monitorear el nivel de aprendizaje de los niños, sobre temas que son impartidos dentro de sus primeros años de escolaridad. Los programas curriculares, planteados por el Ministerio de Educación y Cultura del Ecuador, son la guía de referencia para la elaboración de los contenidos para niños de nivel inicial y primero de educación básica. Los resultados de la evaluación de la información obtenida permitirán tener una mejor comprensión del accionar del estudiante, tanto para profesores como para otros responsables de la educación infantil. Esto permitirá obtener una guía de referencia para la toma de decisiones sobre los temas que deben ser reforzados en el proceso de enseñanza-aprendizaje brindado. También ayudará a establecer parámetros de desarrollo de juegos lúdicos, analizando sus niveles de jugabilidad y tendencias de adopción.

2. Revisión literaria

Los niños nacidos en la era digital aprenden a usar dispositivos móviles y ordenadores con cierta facilidad. Esto ocurre debido a que el teléfono móvil es el mayor impacto de la tecnología de los últimos años, dado que su uso es ubicuo e intuitivo, lo que, al tiempo, facilita el uso de los aplicativos que en él se manejan (De Castro Lozano, 2012). Ese diseño intuitivo de muchas aplicaciones, programas y sitios webs acelera el proceso de aprendizaje en el uso de herramientas tecnológicas. Empresas y profesionales en el área de tecnología se han dedicado a desarrollar aplicaciones orientadas a niños, que ayuden e incentiven ciertas áreas como el entretenimiento o la educación (López Raventós, 2016). Un tema importante dentro de esta tendencia tecnológica es, principalmente, la utilización de los videojuegos y juegos digitales en la educación primaria y secundaria, lo cual se está convirtiendo paulatinamente en una realidad dentro de las instituciones educativas (Marín, 2011; Marín & Martín, 2014). Pero, si bien es cierto que la utilización de estos juegos digitales puede darse en un ámbito normal y ordinario, los niños necesitan de una educación y tratamientos adicionales para poder complementar adecuadamente sus desarrollos y habilidades (González, Cabrera, & Gutiérrez, 2007; Knop & Domínguez, 2017).

En el ámbito educativo, las investigaciones intentan demostrar los beneficios de la utilización de los juegos lúdicos digitales o videojuegos educativos (*serius games*) en las aulas (López Raventós, 2016). Estos se sugieren como un medio a través del cual el aprendizaje se obtiene como resultado de tareas (retos), estimuladas por los contenidos del juego. El conocimiento se desarrolla a través de sus contenidos; y, por su parte, las habilidades cognitivas se amplían por la propia acción de jugar (Knop & Domínguez,

2017). El desarrollo de aplicaciones móviles sobre juegos lúdicos digitales o videojuegos educativos representa un avance importante en el sector de producciones interactivas. Estos avances traen como consecuencia la importancia de analizar la experiencia del usuario, dependiendo de la naturaleza del juego. El asegurar su uso –óptimo– puede repercutir en aceptación exitosa de los usuarios, o no (González & Gutiérrez, 2014). Adicionalmente, las revisiones científicas indican que el uso de ciertos juegos digitales proporciona a los niños, beneficios como la motivación e incentivos para que tomen la iniciativa de realizar ciertas acciones; incluso, en niños con problemas de comunicación. Ciertos autores sostienen que estos juegos les ayudan a mejorar algunas limitaciones y sociabilizar con otros niños que tengan sus mismos gustos. También ofrecen una mejora en la coordinación de sus acciones y los centra en un objetivo concreto al querer, por ejemplo, superar un nivel o terminar un juego (González et al., 2007; González & Gutiérrez, 2014). Actualmente, en este contexto existen varias *apps* lúdicas, a manera de historias animadas y videojuegos pedagógicos, que se implementan como herramientas de apoyo en la educación (López Raventós, 2016; Marín & Martín, 2014). Sin embargo, no hay mayores evidencias, particularmente en países de economía en vías de desarrollo, sobre la existencia de investigaciones que busquen monitorear, analizar o interpretar en línea las acciones que se han tomado o se deben tomar al usar estas aplicaciones (González & Gutiérrez, 2014).

Por otro lado, es necesaria la creación de un tablero de control (*dashboard*) con modelos de almacenamiento de base de datos en la nube, similar a un sitio web, que siga un esquema efectivo y creativo, para lograr una clara comunicación a nivel global y monitorear lo que sucede en el uso de un aplicativo. Para el efecto, se debe tener en cuenta características como el diseño, contenido e interactividad (Aktuglu, Ozdem, & Ozbukerci, 2018; Gómez & Chalmeta, 2011). Además, para su elaboración existen criterios de usabilidad y de contenido que deben estar presentes en su diseño, como en el de un sitio web corporativo (Aktuglu, Ozdem & Ozbukerci, 2018). Sin embargo, no es necesario contar con las aplicaciones del juego como parte integral del *dashboard*, para realizar interpretaciones de su data. Para este fin, existen métricas, modelos/teorías de adopción de tecnología e hipótesis sobre evaluación de interacción hombre-máquina, que son aplicables como criterios de evaluación para medir resultados desde un *dashboard*. Se toma *data*, en tablas y bases de datos independientes, del aplicativo o *software* a analizar que permiten evaluar factores de adopción como usabilidad, flexibilidad, efectividad, eficiencia, adaptabilidad, calidad, jugabilidad, entre otros (Booth, 2014; González & Gutiérrez, 2014; Shyr, Feng, Liu, Chiang, & Su, 2017; Solorzano, 2016; Solorzano, Houghton, & Sanzogni, 2017). En esta investigación se utiliza de base el cálculo de métricas como Playability Quality Model (PQM-Metric) de González and Gutiérrez (2014) que permite calcular resultados el grado de calidad de uso, así como también factores propuestos en modelos de adopción probados por décadas, como *Technology Aceptance Model* (TAM) Davis (1989), que han sido adaptados a otras teorías modernas que miden el éxito de adopción de tecnologías y sistemas, como el de SISA (Solorzano, 2016). Sobre estas evaluaciones, se busca una retroalimentación evidenciada de *apps* de juegos utilizadas por niños. El desarrollo de tableros de control, de los que se obtengan las mediciones, pretende ser generalizado, de forma que cualquier aplicación lúdica que genere registros de datos con un formato estándar definido para este trabajo, pudiera ser adaptada.

3. Metodología

Este estudio sigue un enfoque paradigmático pragmatista, donde se aplican métodos de investigación mixtos o pluralistas, lo que nos ayuda a enfocarnos de manera práctica en la resolución del problema, sin importar el método (Creswell, 2013; Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Mingers, 2001). Para la creación de las *apps* beta, sobre el Entorno Natural y Social, se utilizan inicialmente técnicas observacionales cualitativas y de análisis de contenidos. Esto permite explorar la relevancia y otros factores de usabilidad de la enseñanza del juego. Se considera también el uso de métodos cualitativos para evaluar los efectos e impacto de comunicación visual, así como la influencia que pueda tener la línea gráfica que se utiliza en una aplicación. Se emplean, además, técnicas cuantitativas de análisis estadísticos de resultados, generados a partir de los datos capturados de los juegos en el tablero de control, para examinar los grados de jugabilidad, usabilidad y otros factores relacionados con la adopción tecnológica.

3.1. Objetivo metodológico

El proceso metodológico permite revelar cómo las *apps* lúdicas y sus elementos de contenido son abordados durante la acción misma de ejecución de un juego. Se analizan los resultados de las primeras pruebas piloto, realizadas en niños de entre 4 a 8 años, que asisten a escuelas en los sectores de Mapasingue, Nueva Prosperina y Flor de Bastión, de Guayaquil. El propósito es examinar resultados de uso que permitan evaluar las *apps* desarrolladas, utilizando métricas programadas en el *dashboard*. Tanto las *apps* lúdicas como el *dashboard*, constituyen herramientas tecnológicas desarrolladas que contribuyen al objetivo de este estudio.

Por medio del *dashboard* se presentan resultados como información estadística, gráficos, tablas y una futura interpretación en lenguaje natural. Esta información ayudará a interpretar, de manera eficiente, las derivaciones de la ejecución de una *app* lúdica y el detalle de cómo un niño usa cada una de estas aplicaciones. Los primeros desarrollos de *apps* beta fueron probados en grupos focales con niños que cursaban los primeros niveles de escolaridad, en las unidades educativas "Nuestra Señora de Lourdes", "Sagrada Familia de Nazareth" y "Fermín Vera Rojas".

3.2. Aspectos técnicos de desarrollo

Para el desarrollo e implementación de un *dashboard*, se tomaron en consideración todos los componentes requeridos de programación y enlace en tiempo real con las *apps* de los juegos. En el *dashboard* se utiliza lenguaje de programación JavaScript, por medio del *framework* SailsJS. La base de datos es implementada en PostgreSQL y el formato de archivo para la transmisión de datos utiliza registros JSON. En una *app* beta desarrollada se utilizó herramientas de Unity, como medio para unir las imágenes, vídeos y audios necesarios. La segunda *app* fue creada sobre Adobe Animate. Ambas herramientas permiten almacenar los datos que se capturan durante el juego para monitorear el patrón de uso del juego.

En la arquitectura general del sistema se consideran requerimientos como las acciones de los jugadores y su interacción durante el uso de las *apps*. Se definieron tres escenarios sobre las situaciones en que se ejecuta el juego (identificados como *Rooms*) (ver Figura 1).

No solo se miden los resultados del juego, sino el detalle de cómo un niño usa una *app*; tomando como parámetros, por ejemplo: tiempo de respuesta, tiempo jugado, elementos más usados, respuestas correctas, respuestas incorrectas, número de intentos, y niveles abandonados.

Dentro de los aspectos tecnológicos, se ha considerado, principalmente, la abstracción de la transmisión de datos de ejecución de una *app*, a través de su almacenamiento en el móvil hasta que tenga conexión a Internet. Confirmada la conexión a Internet, se suben los datos en formato de JSON y se cargan en el sistema de reportes, a través de un servicio REST alojado en un servidor (http://www.midiapi.espol.edu.ec/). El archivo JSON se adapta al formato que requiere el sistema de reportes y luego, la aplicación web procesa la información para mostrarla en un archivo PDF, o en el mismo sistema. El módulo de reportes capta información de los usuarios en una sala virtual o escenario (Figura 1). Para el desarrollo del *dashboard* se creó una base de datos en la nube.

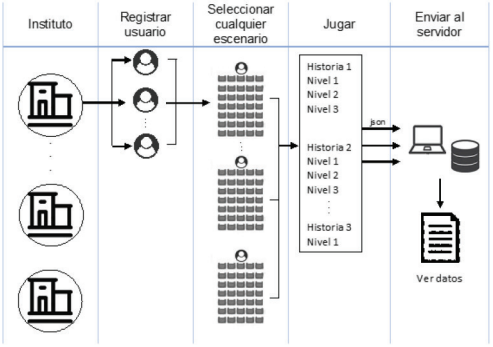


Figura 1 – Arquitectura general del sistema

Se tomó como referencia la utilizada en la aplicación web TeachTown (Whalen et al., 2010), que muestra resultados detallados en un sistema estadístico para su juego. La estructura propuesta, dividida por módulos (ver Figura 2), busca ser adaptada a otros sistemas de juegos educativos.

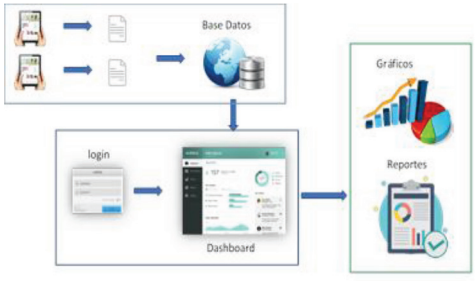


Figura 2 – Estructura gráfica de división por módulos

Se desplegaron también las dos *apps* beta, como instrumentos de prueba, que transmiten el registro de control (JSON) a la base de datos. El sistema de monitoreo (*dashboard*) muestra resultados, detallando el proceso de cómo transmitir información necesaria a través de tablas y gráficos.

3.3. Análisis y Procesamiento de Datos

Tomando como referencia a PQM-Metric, se obtienen resultados de grado de calidad de uso (Figura 3). Para el efecto, se provee un conjunto de métricas que involucran: un propósito o pregunta; fórmulas matemáticas, que se evaluarán con los parámetros de la base de datos; y un intervalo que ayudará para una interpretación de lo evaluado (González & Gutiérrez, 2014). Así, se adoptan como base, algunas de las métricas para uso de videojuegos, pero adecuadas a la medición de resultados de *apps* lúdicas. Sin embargo, como no todas estas métricas se adaptan al objetivo del proyecto, se tomó como referencia estudios sobre teorías de adopción de tecnologías adaptada con base en TAM. Estas teorías permiten identificar los factores de adopción exitosa de sistemas y tecnologías de información como el modelo denominada SISA, orientado a culturas Latinoamericanas (Solorzano et al., 2017). Estos modelos se utilizan como referencia para ampliar el concepto de factores como efectividad, eficiencia y flexibilidad, poniendo en consideración algunos otros factores principales y emergentes a analizar, que afectan la usabilidad y adopción de tecnologías.

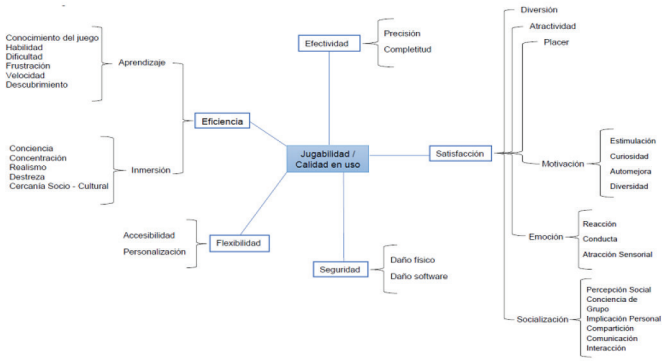


Figura 3 – PQM-Factors: Factores y atributos de calidad basados en la jugabilidad

Por tanto, basados en investigaciones acerca de modelos de jugabilidad y adopción y en métricas de usabilidad implementadas en los artículos mencionados, se adaptaron algunas de las métricas de jugabilidad y usabilidad en el *dashboard* (ver Tabla 1).

Características	Nombre	Pregunta	Parámetros
Eficiencia	Tiempo de meta	¿Cuánto tiempo requiere el jugador para lograr la meta?	Tiempo de juego en el nivel completado
Eficiencia	Eficiencia de meta por respuestas correctas	¿Cómo de eficientes son los usuarios en el nivel?	Respuestas correctas en un nivel completado vs. tiempo que tomó completarlo
Eficiencia	Eficiencia de meta por respuestas incorrectas	¿Qué tan poco eficientes son los usuarios en el nivel?	Respuestas incorrectas en un nivel completado vs. tiempo que tomó completarlo
Eficiencia	Eficiencia relativa a los mejores resultados de jugadores	¿Qué porcentaje de jugadores lo hicieron bastante rápido?	Número de mejores jugadores vs. total de jugadores
Eficiencia	Eficiencia relativa a los jugadores con dificultades en el nivel	¿Qué porcentaje de jugadores tuvieron dificultades?	Número de jugadores que tuvieron dificultades vs. total de jugadores
Efectividad	Efectividad de la meta	¿Qué porcentaje de metas y retos se han alcanzado correctamente?	Relación del total de respuestas correctas vs. el total de intentos
Efectividad	Competitor de la meta	¿Qué porcentaje de metas y retos se han completado?	Número de usuarios que completaron vs. número de usuarios totales
Efectividad	Frecuencia de intentos para llegar a la meta	¿Cuál ha sido la frecuencia de intentos?	Número de intentos en niveles completados vs. número de r. correctas en niveles completados
Flexibilidad	Flexibilidad por metas	¿Qué porcentaje de metas se logran utilizando distintas formas de interacción diferentes a las usadas por defecto?	Número de r. correctas en *rooms* por defecto menos el total de r. correctas por el resto de *rooms*
Flexibilidad	Flexibilidad por tiempo	¿Qué porcentaje de tiempo se logra utilizando distintas formas de interacción, diferentes a las usadas por defecto?	Tiempo en *rooms* por defecto menso e tiempo total del resto de *rooms*
Satisfacción	Preferencias de uso con respecto del nivel vs. el resto de los niveles	¿Qué porcentaje de usuarios prefieren el nivel frente a otro?	Tiempo en el nivel actual menos el total de tiempo del resto de niveles

Tabla 1 – Métricas de jugabilidad/usabilidad por nivel adaptada a *apps* educativas

4. Presentación y discusión de resultados

Con las *apps* de juegos que generan un registro de transmisión (JSON) y el *dashboard* para la captura de los datos en línea, se obtiene la data requerida de los usuarios para su análisis y evaluación. El tablero fue implementado mediante SailsJS, al que se añadió la plantilla de código abierto, programándose las opciones requeridas según la naturaleza de las *apps* móviles a ser probadas para la obtención de resultados preliminares.

4.1. Implementación de módulos del *dashboard*

La aplicación se estructuró en tres módulos principales: la transmisión de información desde la aplicación hacia la base de datos; la parte visual, como es el ingreso de usuarios con la estructura que la soporte (*framework*); y, la visualización del *dashboard*. En el último módulo, se presentan gráficos y reportes que contienen el análisis de la información obtenida. Cada uno se conecta, secuencialmente, con sus respectivos datos de entrada del módulo anterior y sus datos de salida para el siguiente módulo, o para la visualización de datos.

En el módulo 1, "transmisión de datos", se desarrollaron scripts en Adobe Animate y Unity para el envío de información por JSON, intentando que no sea necesario el juego para realizar las pruebas locales del sistema (ver Figura 4). La información se recibe mientras se esté haciendo uso del juego (previa validación del acceso a Internet). Una vez en el juego, si se desea establecer controles de uso por unidad educativa y escenarios, se ingresan las respectivas identificaciones; o el niño se registra directamente, escogiendo un avatar y escribiendo su nombre. Así, se recibirá el primer JSON. Posteriormente, cuando se visualiza la historia y se la culmina o abandona se recibirá el segundo JSON y, finalmente, cuando se culmine o abandone un nivel se recibirá el tercero. Para la transmisión de *data*, se almacena en la base de datos aquella información proveniente de la *app* lúdica, la cual será ejecutada en un dispositivo móvil (en las mediciones realizadas, generalmente se usa tabletas). Los datos son: saltos de niveles, historias, avatar escogido (identificación de usuario), tiempo en completar los niveles o el juego en su totalidad, tiempo de respuesta, respuestas correctas e incorrectas. Según el lenguaje, para la transmisión de la información se usa requerimientos POST.

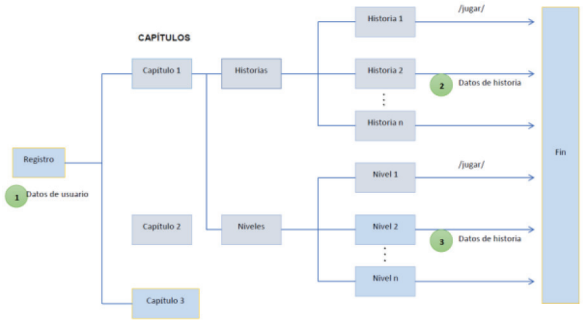


Figura 4 – Diagrama del juego con sus envíos de JSON

El módulo 2 empieza en la parte de ingreso a la aplicación web (verificación de credenciales). Aquí, se muestra el tablero de control (*dashboard*) que contendrá toda la información procesada y lista para ser analizada (ver Figura 2). También se incluyen la estructura de la base de datos y las operaciones principales CRUD (lectura, escritura, actualización y eliminación de datos). En la implementación se utiliza Node.js, SailsJS, PostgreSQL y una plantilla de *dashboard*, de código abierto, para facilitar el desarrollo.

En el Módulo 3, los gráficos se presentan con formato de barra o circular, según el filtro que se haya seleccionado (ver Figura 2). Se utiliza Chartjs, que es una librería de Node.js, la cual permite implementar todo tipo de gráficos, adaptándose, automáticamente, al espacio disponible de la página web (maneja un diseño adaptativo). Los reportes presentados pueden ser generales; es decir, de todas las unidades educativas que hayan usado la aplicación, o por alguna en específico. Se pueden utilizar niveles filtrados, con los datos ya definidos en el primer módulo. También se utilizó Phantom.js, que permite renderizar la página web en la memoria, para luego hacer una captura de pantalla. Por tanto, se usó una librería de Node.js html-pdf para darle formato al PDF y descargar el archivo directamente. Adicionalmente, en base a estos resultados se incursionó en interpretaciones de lenguaje natural de textos, esperando ampliar estas derivaciones en una segunda parte de esta investigación.

4.2. Fiabilidad de los datos

Para otorgar una fiabilidad de datos con resultados sólidos y reales, se estableció una serie de validaciones que permitieron asegurar, en su mayor medida, que los datos no sean erróneos o incoherentes. Por ejemplo, las horas de inicio de un juego deben ser menos a la hora de fin de este, los avatares escogidos deben coincidir con una tabla equivalente cargada en el sistema, la cantidad de respuestas correctas e incorrectas deben coincidir con el total de preguntas establecidas en cada nivel de la aplicación educativa. Además, es necesario verificar la conexión a internet al realizar la subida de los datos, ya que no se debe perder la información de ningún niño para que los gráficos finales sean consistentes.

Para el reconocimiento del usuario, a quien pertenecen los datos recibidos, se estableció un identificador único, enviado desde el juego que, además, fue almacenado en la base de datos.

4.3. Pruebas de campo

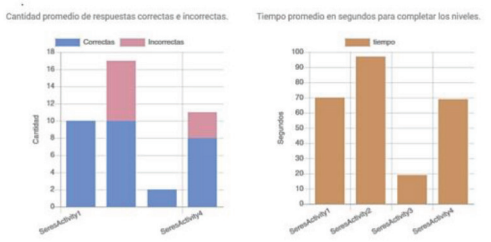
Las pruebas piloto de campo se realizaron en tres unidades educativas en los sectores de Mapasingue, Nueva Prosperina y Flor de Bastión, de la ciudad de Guayaquil. Se trabajó con los maestros y estudiantes de primer año de educación básica e inicial dos. Para llevar a cabo las pruebas, se realizaron trabajos de inducción, previo a usar las *apps*. Se indicó sobre la existencia de historias animadas y videos, revelando contenidos de temas relacionados con los niveles de juegos a completar que ofrecen las *apps* beta. Las enseñanzas animadas, identificadas como "historias", son parte de la misma aplicación lúdica. Para todas las pruebas realizadas y futuras evaluaciones se manejan tres escenarios (Rooms), planeados en el diseño del sistema, los cuales son probados con grupos focales diferentes. El primer grupo de niños revisa en una *app*, las animaciones de la historia y luego utiliza los juegos bajo supervisión (Room1). El segundo grupo no

revisa la historia, solo utiliza el juego bajo supervisión (Room2); y el tercer grupo utiliza la aplicación, tanto en su historia como los juegos que considere según su criterio (Room3). Esto permitió obtener las primeras pruebas de medición de factores relacionados con la usabilidad de las *apps* de juegos, bajo los parámetros indicados en el estudio. Se resaltó que, en los diferentes escenarios, se analizaron los ambientes educativos, donde el uso de la tecnología, como herramienta de apoyo en la educación, es minúsculo o casi nulo. Esto permite una interpretación de resultados más directa y con menos sesgos, dada la baja intervención de conocimientos previos sobre este uso.

4.4. Discusión de resultados preliminares

Las primeras pruebas piloto se realizaron a un universo de 60 niños, de primero y segundo de básica, en las tres unidades educativas seleccionadas para el efecto, ubicadas en los sectores populares de la ciudad de Guayaquil. Los datos que se preliminares que encuentran en el *dashboard*, nos han permitido pulir la herramienta de medición desarrollada, así como realizar los primeros análisis, tanto cuantitativos como cualitativos, de este tipo de *apps*. La base de datos que se maneja en el *dashboard* cuenta con la tabla de los escenarios (*Rooms*), la cual representa el aula virtual, donde están registrados los niños que hacen uso de un juego en diferentes condiciones. También, se cuenta con las tablas (‘*Level_user*’ y ‘*Learn_user*’), donde se almacena la mayoría de los datos provenientes del JSON. Cada registro de JSON trasmitido contiene todos los datos referentes a un niño jugando o visualizando una historia en alguna de las *apps* beta de MIDI. En el *dashboard* se consiente que los datos puedan ser reorganizados de diferentes maneras para la obtención de los resultados requeridos. Los archivos ejecutables de las *apps* beta, desplegadas para Android (APK), están disponibles en Google Play Store para dispositivos móviles registrados en los mercados de Ecuador y España.

En la Figura 5, se muestran los resultados que arrojan los datos obtenidos en el *dashboard*, los cuales son organizados en diferentes opciones de gráficos. Todos los



Información de Historia

	Datos
Fecha Inicio	7/11/2018
Fecha_Fin	7/11/2018
duracion	208
Completado	Sí
intentos	1

	Información de Juego			
Nivel	Fecha Inicio	Fecha_Fin	Intentos	Completado
SeresActivity1	7/11/2018	7/11/2018	1	Sí
SeresActivity2	7/11/2018	7/11/2018	1	Sí
SeresActivity3	7/11/2018	7/11/2018	1	No
SeresActivity4	7/11/2018	7/11/2018	1	No

Figura 5 – Niveles de juego e información adicional por capítulo en opción Específico

datos son almacenados por niveles específicos, por juegos, por niño y por comparación entre juegos. También se pueden obtener reportes de las tablas de puntuaciones, juegos por niños, así como de tablas que permiten analizar referencias de escenarios o niveles. En estas opciones se presentan gráficos de los datos procesados, ya sea de manera general o específica por niños o juegos. Para quien está utilizando el *dashboard*, se hacen interpretaciones de estos datos como ayuda, tanto para evaluaciones académicas como para poder establecer guías de mejoramiento del desarrollo de un juego. Por ejemplo, se comparan los tiempos reales que dura la historia con el tiempo que le ha tomado al niño visualizarla y, así, concluir que ha usado el botón de retroceder o el de avanzar.

En cuanto a los aciertos o desaciertos, durante el uso de los juegos, también se obtiene el porcentaje sobre el total de cada una de las actividades a ser evaluada, y se concluye, por ejemplo, que, si se está midiendo el grado de dificultad de un juego respecto a un tema específico, y el número de desaciertos está por debajo del 25%, es normal; entre el 25% y 50%, el juego tiene un grado de dificultad medio; y mayor al 50%, se debería revisar el contenido del juego y posiblemente modificarlo.

5. Conclusiones

A pesar de que existe una variedad de aplicaciones –a manera de videojuegos o juegos lúdicos infantiles, que pueden ser útiles en la educación de los niños, no se encontró evidencia significativa sobre la existencia de investigaciones que busquen analizar o interpretar su usabilidad en tiempo real y que identifiquen niveles de aprendizaje, jugabilidad o actividades que realizan los niños. También, se identifica la necesidad de buscar retroalimentación sobre acciones que deben mejorar el aprendizaje de los niños que disponen de este tipo de aplicaciones.

Partiendo de estas necesidades, se propuso el desarrollo de un *dashboard* enlazado a la creación *apps* de juegos lúdicos. Estas *apps* permiten capturar datos en línea para presentar resultados estadísticos, gráficos reportes que permiten de manera eficientes dar conocer e interpretar información sobre el uso de las *apps* de juegos. Se logró la creación de un *dashboard* como instrumento de transmisión de datos y parámetros necesarios para procesar y mostrar resultados obtenidos en línea sobre el uso de las *apps*. Se desarrollaron, en paralelo, dos *apps* beta sobre la enseñanza del Entorno Natural y Social, identificadas dentro del proyecto MIDI-AM. Los APKs para Android de los juegos beta, ya disponibles en Google Play Store, han sido probadas con niños entre 4 y 8 años de escolaridad. Se realizaron las primeras pruebas piloto para análisis y evaluaciones preliminares del aprendizaje de los niños, sobre los contenidos de las historias y juegos de las *apps* desarrolladas. Los gráficos implementados y módulos ejecutados en el *dashboard* ayudaron a generar criterios mejor sustentados y ordenado del uso de los juegos beta creados. También, se pudo analizar el desenvolvimiento específico de los niños evaluados en relación con cada historia y nivel jugado de las *apps* beta en prueba.

En esta investigación, no sólo se busca registrar los resultados del juego, sino lograr una interpretación en detalle de cómo un niño usa este tipo de *apps* educativas. También, se enfoca en la retroalimentación que se puede dar a maestros, padres de

familia y a los mismos desarrolladores de videojuegos educativos o juegos lúdicos digitales, estableciendo guías didácticas sobre sobre su uso y desarrollo. Se espera lograr el mejoramiento continuo e innovación constante en la calidad de los jugos digitales lúdicos que se proponen, para alcanzar mayor efectividad en su utilización. Por tanto, es imprescindible dar continuidad a este estudio, esperando completar y ampliar el análisis de los resultados sobre factores que influencian el desarrollo y adopción de este tipo de juegos a nivel tecnológico y educativo.

6. Trabajos futuros

Esta investigación, complementa el desarrollo de un estudio multidisciplinario y longitudinal sobre las áreas de Educación y Tecnología. El objetivo es generar guías didácticas de contenidos y procesos, que se deberían seguir para de la creación de juegos digitales infantiles y su utilización. Para el efecto, se debe continuar el análisis de métricas sobre factores de adopción tecnológica y otros aspectos que tienen que ver con la percepción de utilidad y usabilidad de un aplicativo por parte de los usuarios, por lo que es prescindible continuar reforzando el control y almacenamiento de la *data* en línea producida por el uso de este tipo de *apps*. Adicionalmente, se plantea profundizar esta investigación incluyendo encuestas a los docentes, padres de familia y tutores en general, buscando robustecer la información para el análisis de resultados. Se espera, además, completar pruebas de uso de las *apps,* con la data que se almacene en línea, buscando obtener resultados sobre un tamaño de muestra más representativo. También, se debe continuar con la depuración y mejoramiento del diseño de los juegos y módulos desarrollados del *dashboard*. La información que se logre basada en la medición de resultados de niveles sobre jugabilidad y otros factores que se analicen sobre el uso de *apps*, permitirán evidenciar su utilidad en el sistema educativo.

Agradecimientos: *Nuestro agradecimiento a la Facultad de Diseño y Comunicación Visual (FADCOM) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) como auspiciante de esta investigación. Al grupo de investigación, estudiantes y a los tesistas Marco Mendoza Quelal, José Cedeño Vargas y profesor Boris Vintimilla Burgos de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) por la construcción del dashboard. A los Directivos de la Unidad de Vínculos con la Sociedad (UVS-ESPOL) quienes aportaron con su contingente en esta investigación. También, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCE-SI) por publicar este artículo en el marco del COISINT 2019.*

Referencias

Aktuglu, I., Ozdem, O. O., & Ozbukerci, I. (2018). *Corporate communication by web sites: An analysis of advertising agencies' web sites in terms of usability and content*. Paper presented at the 2018 International Conference on Computers in Management and Business, ICCMB 2018.

Booth, P. (2014). *An Introduction to Human-Computer Interaction (Psychology Revivals)*: Psychology Press.

Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches*. Los Angeles, CA: Sage.

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340.

De Castro Lozano, C. (2012). El futuro de las tecnologías digitales aplicadas al aprendizaje de personas con necesidades educativas especiales. *RED: Revista de Educación a Distancia*(32), 7–43.

Gómez, L. M., & Chalmeta, R. (2011). Corporate responsibility in US corporate websites: A pilot study. *Public relations review, 37*(1), 93–95.

González, J. L., Cabrera, M., & Gutiérrez, F. L. (2007). Diseño de Videojuegos aplicados a la Educación Especial. Recuperado de http://aipo.es/articulos/1/12410.pdf.

González, J. L., & Gutiérrez, F. L. (2014). *Jugabilidad como medida de calidad en el desarrollo de videojuegos*. Paper presented at the CoSECivi.

Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational researcher, 33*(7), 14–26.

Knop, F., & Domínguez, A. K. (2017). El diseño y las características del videojuego en los juguetes lúdicos.

López Raventós, C. (2016). El videojuego como herramienta educativa. Posibilidades y problemáticas acerca de los serious games. *Apertura (Guadalajara, Jal.), 8*(1), 0–0.

Marín, V. (2011). La perspectiva educativa de los videojuegos, una realidad tangible. *Revista Digital de Investigación Educativa Conect@ 2, 2*(2).

Marín, V., & Martín, J. (2014). ¿ Podemos utilizar los videojuegos para el desarrollo del currículo de la etapa de infantil. *New approaches in educational research, 3*, 21–27.

Mingers, J. (2001). Combining IS research methods: Towards a pluralist methodology. *Information Systems Research, 12*(3), 240–259.

Shyr, W.-J., Feng, C.-F., Liu, P.-W., Chiang, T.-L., & Su, T.-J. (2017). Using the Technology Acceptance Model to Understand Behavioral Intentions in the Use of a Human Computer Interface (HCI) System. *International Journal of Engineering Education, 33*(1), 121–127.

Solorzano, N. I. (2006). *Metodologías de Enseñanza para la Educación Infantil Apoyada en el Uso de Herramientas Tecnológicas Interactivas*. Paper presented at the Espolciencia 2006, Campus ESPOL. Recuperado de goo.gl/7Uw8mz

Solorzano, N. I. (2016). *Factors influencing successful information systems adoption in public organisations of Latin America: the case for Ecuador*. (Thesis), Griffith University.

Solorzano, N. I., Houghton, L., & Sanzogni, L. (2017). *Understanding Subjective Aspects in the Use of Human Computer Interface for Government Information Systems: A Reflexive Analysis*. Paper presented at the 2017 International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence, CSAI 2017.

Whalen, C., Moss, D., Ilan, A. B., Vaupel, M., Fielding, P., Macdonald, K., . . . Symon, J. (2010). Efficacy of TeachTown: Basics computer-assisted intervention for the intensive comprehensive autism program in Los Angeles unified school district. *Autism, 14*(3), 179–197.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 04/11/2018
Aceitação/Acceptance: 17/01/2019

Desempeño entre los reguladores de Control por Modelo Interno y Pi-Incremental en una planta de segundo orden

Andrés Morocho-Caiza[1], Williams Villalba-Castillo[2], Iván Sinaluisa-Lozano[3]

andres.morocho@espoch.edu.ec, williams.villalba@eppetroecuador.ec, isinaluisa@unach.edu.ec

[1] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060106, Riobamba, Ecuador.

[2] Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador (EP Petroecuador), 060105, Riobamba, Ecuador.

[3] Universidad Nacional de Chimborazo, 060110, Riobamba, Ecuador.

Pages:161–171

Resumen: Se presentó la metodología para el desarrollo de los reguladores PI-Incremental y Control por Modelo Interno (IMC), a partir de la función de transferencia de la planta. El primer controlador se analizó en base al lugar geométrico de las raíces (LGR), para encontrar las constantes proporcional e integral; en cambio, para el IMC, se reduce a encontrar un único parámetro (λ). En la implementación de los controladores, se discretizó los modelos encontrados para llevarlos a ecuaciones en diferencia, para programar el algoritmo correspondiente a cada controlador. Posteriormente, se compararon los dos diseños y se observó que el IMC presentó un tiempo de establecimiento menor a 5 segundos y el controlador PI un tiempo aproximado de 15 segundos; considerando que ambos reguladores no generaron sobrepaso. Finalmente, la evaluación de rendimiento de los controladores se realizó mediante el criterio integral del cuadrado del error (ISE).

Palabras-clave: PI-Incremental; Control por Modelo Interno; discretización; control convencional; ISE.

Performance between controllers by Internal Model and Pi-Incremental in a second order plant

Abstract: This paper presents the methodology for the development of PI-Incremental and Control Controllers by Internal Model (IMC) from the plant transfer function. In the first controller, it is analyzed based on the root locus (LGR) to find the proportional and integral constants; on the other hand, for the IMC it is reduced to find a single parameter (λ). In the implementation of the controllers, the found models were discretized to take them to differential equations to program the algorithm corresponding to each controller. Afterwards, the two designs are compared and it is observed that the BMI presents an establishment time of less than 5 seconds and the PI controller an approximate time of 15 seconds; considering

that both regulators do not generate overshoot. Finally, the performance evaluation of the controllers is done through the integral criterion of the error square (ISE).

Keywords: PI-Incremental; Internal Model Control; discretization; conventional control; ISE.

1. Introducción

Inicialmente, en el estudio sobre la planta a utilizar, Morocho (2018) desarrolla un PID y un Neurodifuso Adaptativo para su control. Consecuentemente, para la fase de entrenamiento se requirió un equipo computacional de altas capacidades para que el algoritmo de aprendizaje permita mostrar los singletons optimizados y poder implementar, posteriormente, un control difuso. Por esta razón, se pretende continuar con la investigación de otros controladores clásicos para mejorar el tiempo de estabilización, optimizando los recursos en el momento del diseño e implementación.

El desarrollo de un controlador PID, aparentemente, parece ser intuitivo, pero puede ser difícil cuando se desea tener en cuenta transitorios cortos y alta estabilidad, entre otros objetivos múltiples (Ang, Chong & Li, 2007). Esto ha llevado a la incorporación de algunos algoritmos de ajuste avanzados, como técnicas de control inteligente.

En el diseño de un controlador clásico, es necesario contar con el modelo del sistema, para lo cual existen varios métodos de identificación comunes, estudiados en teoría de control. Por otra parte, se conoce la identificación mediante lazos de control PI basado en eventos (Sánchez et al., 2018), donde los resultados de la simulación demuestran que las estimaciones pueden ser tan precisas como las obtenidas con los métodos de identificación de relé. La planta que se desea controlar es un sistema de segundo orden subamortiguado porque presenta sobrepaso, por lo tanto, sus polos son complejos conjugados. Para la sintonización del controlador PI (Ogata, 2010), se puede emplear el lugar geométrico de las raíces (LGR), donde es necesario mover los polos mediante su valor del eje real que depende del producto de la frecuencia natural y el coeficiente de amortiguamiento (Díaz, 2008). Debido a la función de transferencia que presenta la planta, no es posible aplicar el método de Ziegler-Nichols.

Un control por modelo interno no lineal (NLIMC), es una de las técnicas de regulación basadas en modelos de referencia, que permiten obtener el comportamiento deseado y el rendimiento especificado. Por esta razón, Bouzid, Siguerdidjane & Bestaoui (2017) proponen una modificación en la técnica para aumentar el rendimiento y el nivel de robustez ante perturbaciones, pero tuvieron limitaciones en el rechazo del ruido por las desviaciones sucesivas del error de seguimiento.

El control por modelo interno (IMC) emplea en su estructura un filtro pasa bajos (Francis & Wonham, 1976), el mismo que se modifica para derivar controladores de bajo orden, que proporcionan una supresión de perturbaciones presentadas en el sistema a controlar. Horn et al (1996) desarrollaron una tabla de reglas de ajuste que proporciona una buena supresión de la perturbación de la carga para procesos, en la que la velocidad de respuesta de bucle cerrado deseada es más rápida que la velocidad de respuesta de bucle abierto.

Wang & Yuan (2008) presentaron un IMC como una estrategia para el control de válvulas de vapor de generadores síncronos, con la utilización de un filtro de robustez

para la compensación de incertidumbre en la estructura interna del modelo. Otra aplicación de este regulador es empleada para el control tolerante a fallas de la presión de sobrealimentación y la recirculación de los gases de escape de una trayectoria de aire del motor diésel con turbocompresor de dos etapas (Hilsch et al. 2013). El análisis revela que es esencial, en caso de ganancias reducidas del actuador y fallas en los sensores para reconstruir el comportamiento nominal.

Partiendo del modelo de la planta expuesto, se realiza el diseño de los controladores y se enfoca mayormente en el IMC como una opción de control basado en el modelo, y se presenta una estrategia de implementación para aplicarlo a un caso real. Además, se comparan los dos sistemas desarrollados para visualizar la rapidez de respuesta y la robustez ante presencia de ruido.

2. Metodología

El sistema a controlar es una planta de vuelo vertical de National Instruments (NI), herramienta didáctica enfocada para la enseñanza-aprendizaje en el desarrollo y experimentación de controladores. El dispositivo se trata de un sistema de segundo orden (Markham & Gurocak, 2011), de acuerdo a lo indicado en su correspondiente manual.

Morocho (2018) modela la tarjeta de entrenamiento VTOL (Vertical Take-Off and Landing Board) mediante la adquisición de datos (tiempo de muestreo 30ms) y aplicando la técnica del gradiente decreciente. La función de transferencia del sistema se define en la ecuación (1), la misma que presenta un error cuadrático medio (MSE), de 0.56 unidades.

$$\mathbf{G(s) = \frac{2.256}{s^2 + 0.7406\,s + 5.489}} \tag{1}$$

A continuación, se describe la metodología empleada en cada uno de los reguladores para el control de la planta Quanser.

2.1. PI-Incremental

El controlador PI-Incremental se caracteriza porque se realiza por incrementos, cuya expresión matemática se presenta en la ecuación (2).

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} = K_p \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s} \tag{2}$$

Donde U(s), es la señal de salida del controlador; E(s), es la señal de error; Kp, es la constante proporcional; K_i, es la constante integral; y Ti, el tiempo integral. Una vez discretizado este controlador (con un tiempo de muestreo Ts) y llevado a ecuaciones en diferencia, se presenta de la siguiente manera:

$$u(k) = u(k-1) + K_p\left[e(k) - e(k-1) + \frac{T_s}{T_i}e(k)\right] \tag{3}$$

Por lo tanto, partiendo de la ecuación (3) se puede expresar en la forma de incrementos, como se observa en la ecuación (4).

$$\Delta u(k) = K_p\left[\Delta e(k) + \frac{T_s}{T_i}e(k)\right] \tag{4}$$

Las entradas para la parte proporcional e integral son $\Delta e(k)\Delta e(k)$ y $T_s e(k)T_s e(k)$, respectivamente. Debido que la salida $\Delta u(k)$ del controlador son incrementos que necesitan acumularlos, para lo cual se aplica la ley de control definida como:

$$Y_c = u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \tag{5}$$

En conclusión, la salida del controlador PI-Incremental $\Delta u(k)$ se sustituye en la ecuación (5) y en la Figura 1 se detalla el diagrama de bloques de la estructura final.

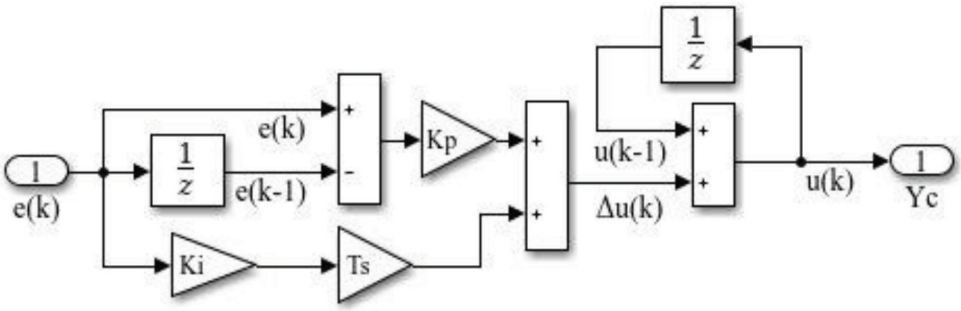


Figura 1 – PI-Incremental con la Ley de Control

Las constantes del controlador (K_p, K_i), se encuentran con el método del lugar geométrico de las raíces (LGR). En un sistema de segundo orden subamortiguado, sus raíces vienen definidas mediante la ecuación (6).

$$s = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -\sigma \pm j\omega_d \tag{6}$$

Donde "ξ", es el factor de amortiguamiento; y "ω_n", es la frecuencia natural. Además, es necesario considerar la definición del tiempo de estabilización (t_{ss}) y el sobrepaso (M_p) , representados en la ecuación (7).

$$t_{ss} = \frac{4}{\xi\omega_n} = \frac{4}{\sigma} \quad \therefore \quad M_p = e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \tag{7}$$

El modelo de la planta, ecuación (1), presenta dos polos complejos conjugados $(s = -0.37 \pm j2.31)$ representados en la Figura 2.

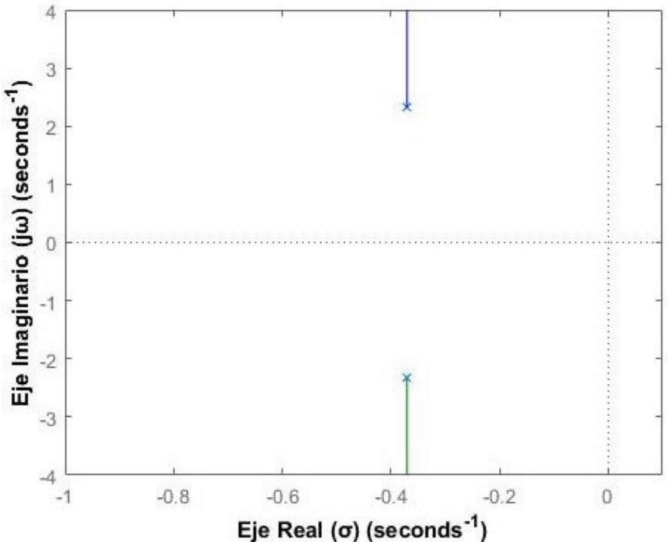


Figura 2 – Lugar geométrico de las raíces del modelo de la planta

Las consideraciones arbitrarias para la sintonización del controlador PI-Incremental son las siguientes:

- El sobrepaso debe ser <= 2%.
- El tiempo de estabilización debe ser inferior a 15 segundos (debido a su LGR).

Con estos requisitos, se observa que empleando la ecuación (7), el valor de "σ" debe moverse a un valor máximo de -0.3.

La función de transferencia en lazo cerrado de la planta y el controlador con la ecuación 1 y 2, respectivamente, vienen expresadas como:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{2.256(K_p s + K_i)}{s^3 + 0.7406\, s^2 + (5.489 + 2.256\, K_p)s + 2.256\, K_i} \tag{8}$$

Se debe evaluar con respecto a una constante del controlador PI, mediante el método del lugar geométrico de las raíces. Luego de varias iteraciones, los valores de las constantes, proporcional e integral, son 0.13 y 0.654, respectivamente. En la Figura 3 se visualiza la respuesta de la planta con el PI-Incremental sintonizado ante una entrada escalón unitario.

2.2. Control por Modelo Interno

La Figura 4 muestra la estructura básica del IMC con un seguimiento ideal, por lo cual, debe cumplir que $Y(s) = R(s)$. Además, se deduce que $Y(s) = R(s)C(s)G(s)$; por consecuencia, se daría que $C(s)G(s) = 1$.

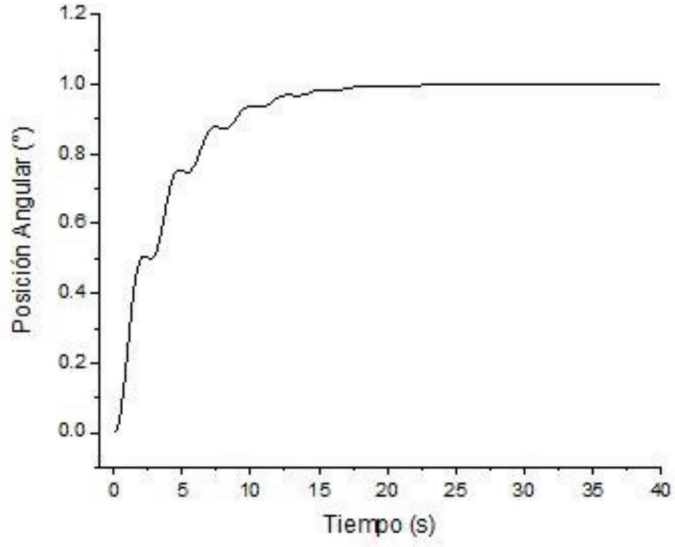


Figura 3 – Respuesta al escalón de la planta con el PI-Incremental

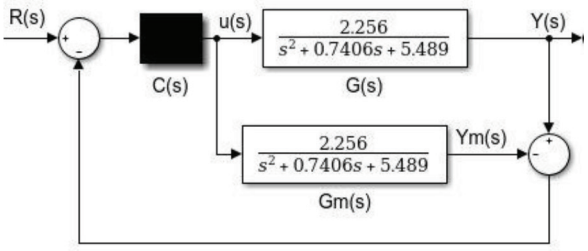


Figura 4 – Estructura del IMC para el modelo de la planta

Finalmente, se define que $C(s)G_m(s) = 1$ siempre y cuando el seguimiento sea ideal. Por lo tanto, el controlador de la Figura 4 se define como $C(s) = G_m^{-1}(s)$. Esto quiere decir que el regulador es igual al modelo inverso de la planta física.

$$C(s) = \frac{s^2 + 0.7406\,s + 5.489}{2.256} \tag{9}$$

La ecuación 9 representa una función de transferencia impropia porque el orden del numerador es superior al denominador. Por esta razón, se debe agregar un filtro pasa bajo que sea al menos de orden dos.

En la Figura 5 se puede observar que existe solo un parámetro por definir (λ). A mayor valor de este parámetro, la respuesta de la salida de la planta será más lenta y viceversa.

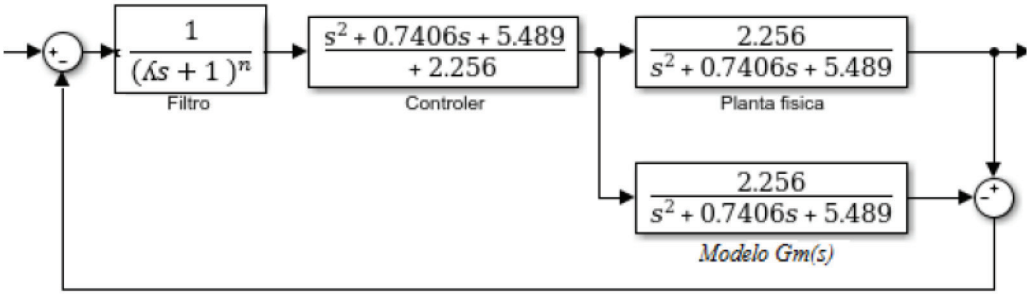


Figura 5 – Controlador IMC con filtro

Para implementar el IMC es necesario reducir, mediante diagramas de bloques, y así presentar la función de transferencia del controlador. La ecuación 10 define el modelo del regulador.

$$C(s) = \frac{s^2 + 0.7406\,s + 5.489}{2.256(\lambda^2\,s^2 + 2\lambda\,s)} \tag{10}$$

La figura 6 representa la respuesta de la planta ante una entrada escalón unitario y con un "λ" de 0.5. Se observa que el sistema responde en un tiempo de estabilización de 5 segundos aproximadamente y sin sobrepaso.

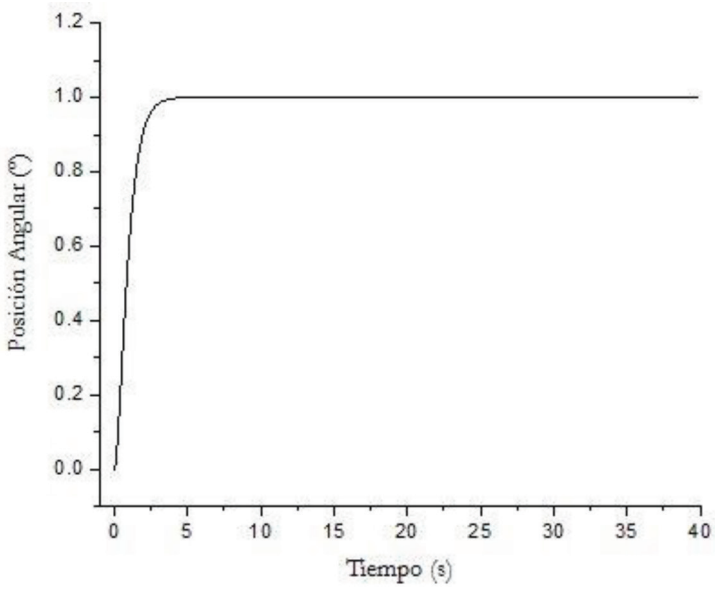


Figura 6 – Respuesta de la planta con el controlador IMC

Para la implementación del controlador diseñado, la ecuación 10 se discretiza mediante Euler en adelanto:

$$C(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{z^2 + (0.7406\,T_s - 2)z + 5.489T_s^2 - 0.7406T_s + 1}{\lambda^2 z^2 + 2(\lambda T_s - \lambda^2)z + \lambda^2 - 2\lambda T_s} \tag{11}$$

Un algoritmo de programación para el controlador se lo puede realizar desde ecuaciones en diferencia, a partir de la ecuación 11.

$$U_k = \frac{E_k + b_0\,E_{k-1} + b_1 E_{k-2} - a_0 U_{k-1} - a_1 U_{k-2}}{\lambda^2} \tag{12}$$

Donde los coeficientes $a_0 = 2\lambda T_s - 2\lambda^2$, $a_1 = \lambda^2 - 2\lambda T_s$, $b_0 = 0.7406\,T_s - 2$, $b_1 = 5.489T_s^2 - 0.7406\,T_s + 1$. La ecuación 12 está definida por el error actual, el error hace una muestra y el error hace dos muestras; además, depende de las salidas anteriores del controlador.

En la siguiente sección se realizará el respectivo análisis para evaluar los dos controladores diseñados para la planta de segundo orden.

3. Resultados

Se analizaron los controladores diseñados ante una entrada escalón de 24° para observar el tiempo de estabilización. Además, la siguiente prueba fue con presencia de ruido para observar el comportamiento de la planta.

3.1. Respuesta a un escalón de 24°

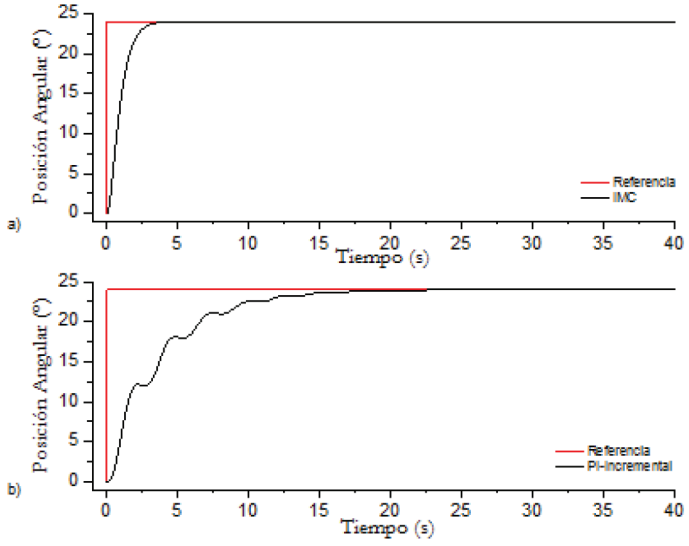


Figura 7 – Respuesta a un escalón de 24°

En la Figura 7 se puede observar la respuesta de la planta con cada controlador diseñado ante una entrada escalón de 24°. El IMC (Figura 7a) presentó un tiempo de estabilización menor a 5 segundos; por otro lado, el PI-Incremental (Figura 7b), se estabilizó a los 15 segundos, aproximadamente. Cabe recalcar que ambos controladores no presentaron sobrepaso.

3.2. Respuesta del sistema en presencia de ruido

La siguiente prueba se realizó ante presencia de ruido, bajo las mismas condiciones que la anterior. La Figura 8 permite observar que los dos controladores no se vieron afectados y sus tiempos de estabilización se mantuvieron.

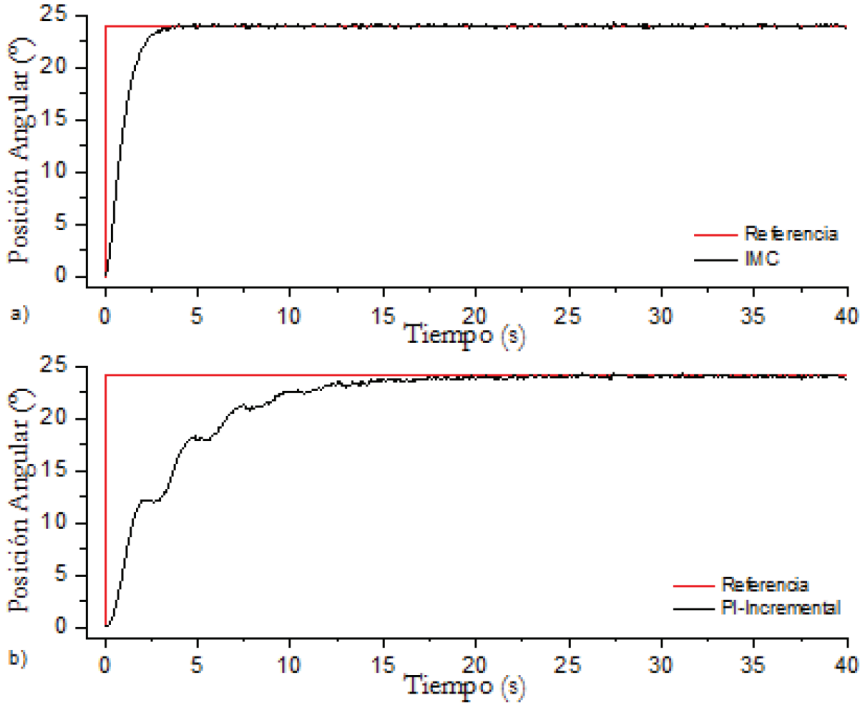


Figura 8 – Respuesta de la planta ante ruido

El diseño de los dos controladores fue tolerante ante la presencia de ruido y permitió mantener el control sobre la dinámica de la planta.

Para evaluar los diseños presentados se utilizó el criterio integral del cuadrado del error (CISE), ya que penaliza los errores grandes producidos en la parte transitoria de la señal de salida de la planta y(k).

La Figura 9 indica que el IMC presentó un valor de 9.21 y el PI-Incremental alcanzó los 26.85, luego de realizar su evaluación bajo este criterio integral.

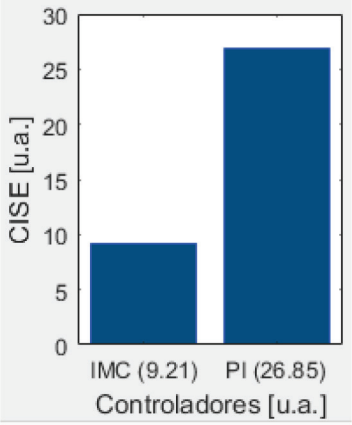


Figura 9 – CISE entre los controladores

4. Discusión

La investigación comparó el rendimiento de los Reguladores P+I Incremental y Control por Modelo Interno IMC, aplicados a una planta real de segundo orden, con el objetivo de mejorar el tiempo de estabilización, evitando sobrepaso y minimizar el error en estado estacionario, lo que representa los parámetros principales en un sistema de control.

El IMC obtuvo 5 segundos de tiempo de establecimiento sin sobrepaso y un error de estado estacionario de cero; por su parte, el P+I incremental mantuvo un tiempo de establecimiento de 15 segundos, sin sobrepaso; sin embargo, este último mantiene oscilaciones prominentes en su fase transitoria aunque alcanza convergencia del error en estado estacionario; adicionalmente, el criterio integral cuadrático del error quien penaliza los errores grandes en la fase transitoria, ha marcado que IMC presenta un valor de 9.21, el cual es casi 3 veces inferior al demostrado por el PI-Incremental. Aunque, claramente, se observa que el IMC ha obtenido mejor rendimiento, vislumbra desventaja al momento de rechazar perturbaciones, sobre todo, en la etapa de implementación, donde se requiere reajustar el coeficiente λ. Por su parte, el PI incremental mostró también una desventaja en su fase transitoria y pudiera ser superado al agregar su coeficiente derivativo.

5. Conclusión

Se diseñó e implementó un control PI-Incremental, el cual dependió de dos parámetros: las constantes de integración y proporcional. Las constantes se encontraron mediante el lugar geométrico de las raíces, y logró un tiempo de estabilización de 15 segundos, aproximadamente, y un valor de 26.85 en la evaluación del criterio integral del cuadrado del error. Por otro lado, el IMC presenta un solo parámetro (λ) para su sintonización, el cual se varía arbitrariamente para alcanzar un menor tiempo de estabilización posible; como en este caso, de 5 segundos, aproximadamente. También, fue evaluado mediante el criterio integral del cuadrado del error y llegó a un valor de 9.21. Por lo tanto, el

control por modelo interno exhibe un mejor rendimiento para el control de esta planta de segundo orden del tipo cero.

Referencias

Ang, K. H., Chong, G. C. Y., & Li, Y. (2007). PID Control System Analysis, Design, and Technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, *4*(13), 559–576.

Bouzid, Y., Siguerdidjane, H., & Bestaoui, Y. (2017). Mechatronics Nonlinear internal model control applied to VTOL multi-rotors UAV R. *Mechatronics, 47*, 49–66. DOI: 10.1016/j.mechatronics.2017.08.002

Díaz, R. (2008). Análisis en el dominio del tiempo de sistemas de primer y segundo orden, 1–28.

Francis, B. A., & Wonham, W. M. (1976). The internal model principle of control theory. *Automatica, 12*(5), 10. DOI: 10.1016/0005-1098(76)90006-6

Hilsch, M., Arndt, T., Lunze, J., & Nitsche, R. (2013). Fault-Tolerant Internal Model Control of a Diesel Engine Air Path. *IFAC*, (43), 6. DOI: 10.3182/20100712-3-DE-2013.00025

Horn, I. G., Arulandu, J. R., Gombas, C. J., VanAntwerp, J. G., & Braatz, R. D. (1996). Improved Filter Design in Internal Model Control. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 35*(10), 3437–3441. DOI: 10.1021/ie9602872

Markham, S. C., & Gurocak, H. (2011). Student Workbook: QNET VTOL Trainer for NI ELVIS. Ontario. *Quanser Innovate Educate*. Recuperado de https://www.lehigh.edu/~inconsy/lab/frames/experiments/QNET_VTOL_User_Manual.pdf

Morocho, A. (2018). *Desarrollo de un Regulador Neurodifuso Adaptativo para el Control de una Planta de Vuelo Vertical de National Instrument*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8069

Ogata, K. (2010). Journal of Chemical Information and Modeling (5th ed., Vol. 53). Madrid: Pearson Educación, S.A. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004

Sánchez, J., Guinaldo, M., Visioli, A., & Dormido, S. (2018). Identification of process transfer function parameters in event-based PI control loops. *ISA*, (75), 157–161. DOI: 10.1016/j.isatra.2018.01.033

Wang, Y., & Yuan, X.-F. (2008). SVM Approximate-based Internal Model Control Strategy. *Acta Automatica Sinica,* (34), 172–179. DOI: 10.3724/SP.J.1004.2008.00172

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 02/12/2018
Aceitação/Acceptance: 12/02/2019

Multi-Objective Genetic Algorithms: are they useful for tuning parameters in Agent-Based Simulation?

Jorge Párraga-Álava[1a,1b], Gustavo Molina Garzón[2], Ricardo Vélez Valarezo[3]

jorge.parraga@usach.cl, ggmolinag@yahoo.es, ryck78@hotmail.com

[1a,2,3] Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, 130602, Calceta, Ecuador.

[1b] Universidad de Santiago de Chile, 9170124, Estación Central, Chile.

Pages:172–184

Abstract: One of the main issues, when an agent-based simulation (ABS) is performed, is the existence of a lot of parameters that should be tuned to adequately represent the dynamics of the system. Recently, Multi-Objective Genetic Algorithms (MOGAs) have been used to parameter tuning in some areas obtaining interesting results. In this paper, we studied the usefulness of a MOGA for parameter tuning in a well-known model presents in the NetLogo library about a colony of ants forages for food. We considered different scenarios (numbers of ants) while we used a MOGA to obtain solutions that represent the best combinations of the two parameters which minimize the emptying time of each food source. Simulations were carried out by using both optimized and random parameter values. The computational results indicate that in five out seven scenarios, the difference in average times between both types of parameters values used in simulation is statistically significant.

Keywords: Multi-Objective Genetic Algorithm; Agent-based Model; Agent-based Simulation; Tuning Parameters; Ants Foraging.

1. Introduction

Agent-based or individual-based models (ABM or IBM) describe how populations evolve, patterns emerge, and collective features are established as outcomes of actions and interactions at the micro-level (Willekens, 2014), i.e., ABM are models aims to capture the behavior of agents within an environment.

In the simulation field, there are approaches for simulating the actions and interactions of autonomous agents for various domains. Some of the important paradigms approaches are System Dynamics Simulation (SDS), Discrete Event Simulation (DES), Dynamic Systems (DS) and Agent-Based Simulation (ABS) (Figueredo & Aickelin, 2011). The agent-based simulation (ABS) approach is a valuable tool for understanding complex systems through the computer simulation of the collective operations and interactions of multiple agents. The ABS has widely been used for build models in areas such as epidemics (Venkatramanan et al., 2018), human emotions (Belhaj, Kebair & Ben Said, 2014) and flocking behavior (Quera, Beltran & Dolado, 2010) in an attempt to re-create and predict the appearance of complex phenomena (Wong, 2017).

When an agent-based simulation (ABS) is performed, one of the key aspects is the parameter tuning of the model used to represent the global dynamics of the system (Calvez & Hutzler, 2006). In this scenario, the model, which is a simplification of the system, is characterized by lots of parameters are used to faithfully represent the dynamics of the modeled system. Due to it, parameter tuning should be performed. The parameters tuning is a process in which optimal settings or values of parameters should be identified that enable model to behave as similar as possible to the system that represents. Achieving the parameter tuning is not a trivial task, in fact, we usually need to execute many simulations to obtain a meaningful insight of the effectivity of the parameters used. Furthermore, as the number of the parameters of a model increases, the parameter space we need to explore expands exponentially (Murase, Uchitane & Ito, 2014) and it becomes infeasible to handle all simulations due to increasing computation time.

The heuristic algorithms, formed by being inspired from the events in nature, are frequently used in optimization problems (Rabia & Bora, 2017) such as parameter tuning because of they allow to achieve more extended areas in parameter space and to obtain solutions close to the optimum in reasonable computational times. Among the heuristic algorithms used for tuning parameters, the genetic algorithms (GAs) (Holland, 1984) stands out. They are adaptive methods based on the theory of natural selection, according to which through the generations, the populations evolve following the principles of natural selection and the survival of the strongest. Thereby, the AGs can create solutions and, the evolution of these solutions, allows to reach the optimal values of the problem in hand. Recently, the use of AG has extended to parameter tuning problems with multiple objectives, giving rise to multi-objective genetic algorithms (MOGAs). Works in (Mannava et al., 2019; Narzisi, Mysore & Mishra, 2006; Read et al., 2016) have used a well-known MOGA, called Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) for emergency response planning, biological simulations and dynamic load balancing, respectively. All these works indicate that the tuning parameters with MOGAs was successful for agent-based simulations. However, in most cases, there is no evidence of comparisons with random parameters that allow evaluating how the simulation process is benefited when a strategy to set the parameters of the model is used. Based on the aforementioned, the question arises: is it worthwhile to carry out the parameters tuning with MOGAs in agent-based simulations or is it more effective to use random parameters only?

In this paper, we evaluated the usefulness of a MOGA for parameter tuning of a model of colony of ants forages for food presents in the NetLogo library. Our main contribution is determining whether it is justified to spend computational time to perform the parameter tuning with MOGAs in agent-based simulations to faithfully represent the dynamics of the modeled system or just use random parameters of the model is enough to achieve such representation.

The paper is organized as follows. Section 2 presents theoretical backgrounds of modeled system in the simulation and multi-objective optimization as well as the description of the stages used in this study. In Section 3 we present the evolutionary parameters and results obtained in the computational experiments. The statistical tests and discussion are exposed in section 4. Finally, section 6 contains the conclusions of this work.

2. Methods

We used NetLogo software[1] (Wilensky, 1999) and the ants foraging model[2], (Wilensky, 1997) to study the usefulness the Multi-Objective Genetic Algorithms (MOGA) for Tuning Parameters in Agent-Based Simulation (ABS). We chose the ants model because it is the simplest model that through algorithms and simulations allows to exploit the wide variety of analogies that exist between the physical, chemical or biological systems and to contribute to solutions of problems that nature found to many of the problems that the scientific community faces today. The ants foraging model, according to the website of NetLogo, it is about "a colony of ants forages for food. Though each ant follows a set of simple rules, the colony as a whole acts in a sophisticated way. When an ant finds a piece of food, it carries the food back to the nest, dropping a chemical as it moves. When other ants "sniff" the chemical, they follow the chemical toward the food. As more ants carry food to the nest, they reinforce the chemical trail".

In Figure 1A, we show a visual representation of this ant's model. Here, ants forage from three sources of food. Each source is positioned at different distances from the ant colony (Florent et al., 2010). To perform its actions, the model uses three parameters:

- Population: number of ants in the model.
- Diffusion-rate: controls the diffusion rate of the chemical.
- Evaporation-rate: controls the evaporation rate of the chemical.

In this sense, the three sources of food are criteria that should be minimized, i.e., the food available in the sources must be emptied in minimum time. To achieve such minimization will demonstrate that MOGA is able to represent the global system dynamics through correctly setting the evaporation and diffusion rates, promoting the chemical to be denser and to stay fresh at all times and thereby to help the ants find the shortest path to carry food to the nest.

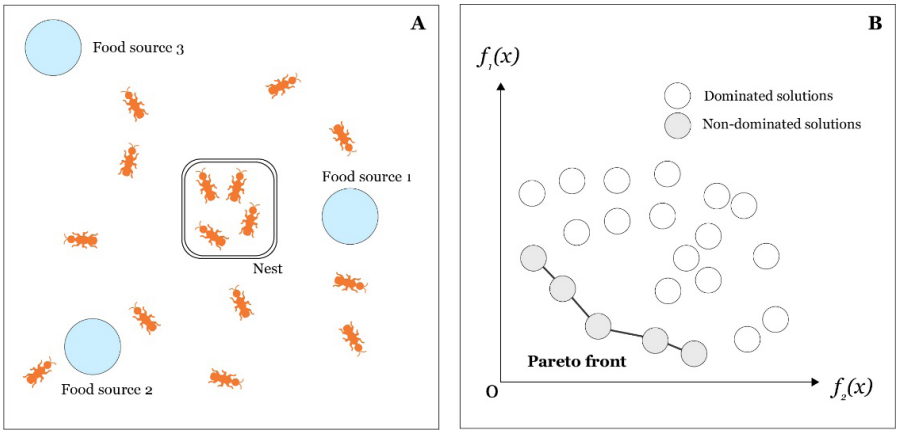


Figure 1 – Visual representation of A) the ants foraging model. B) Pareto definitions in MOOP

[1] http://ccl.northwestern.edu/netlogo/
[2] http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants

We formulated the tuning of parameters of the ants foraging model as a multi-objective optimization problem (MOOP). The MOOP are those problems where the goal is to optimize simultaneously k objective functions. Thus, a multi-objective optimization problem can be defined as:

$$minimize\ \vec{z} = \vec{f}(x) = \left(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\right), x \in X$$

where x is a solution (decision variable) in the set of all possible solutions X, and $z = \vec{f}(x)$ is an objective vector point, meanwhile $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ corresponds to a set of objectives functions that usually are in conflict.

At glance, in the ants foraging model the decision variables are the evaporation-rate and diffusion-rate, i.e. the parameter values of them. Meanwhile, the three minimization objective functions ($f_1(x), f_2(x), f_3(x)$) compute the simulation ticks (time) in what each food source is empty. Thus, the combination of the three "tradeoff" objectives indicates the quality of the parameters used to run the simulation. Such parameters values lead to find *Pareto-optimal solutions*. The *Pareto-optimal solutions* are those for which no other solution is better in all objectives. The points in the objective space corresponding to the *Pareto-optimal* are called *non-dominated solutions*, and they form the Pareto front. A dominated solution is those for which there is a least a solution that dominates to it.

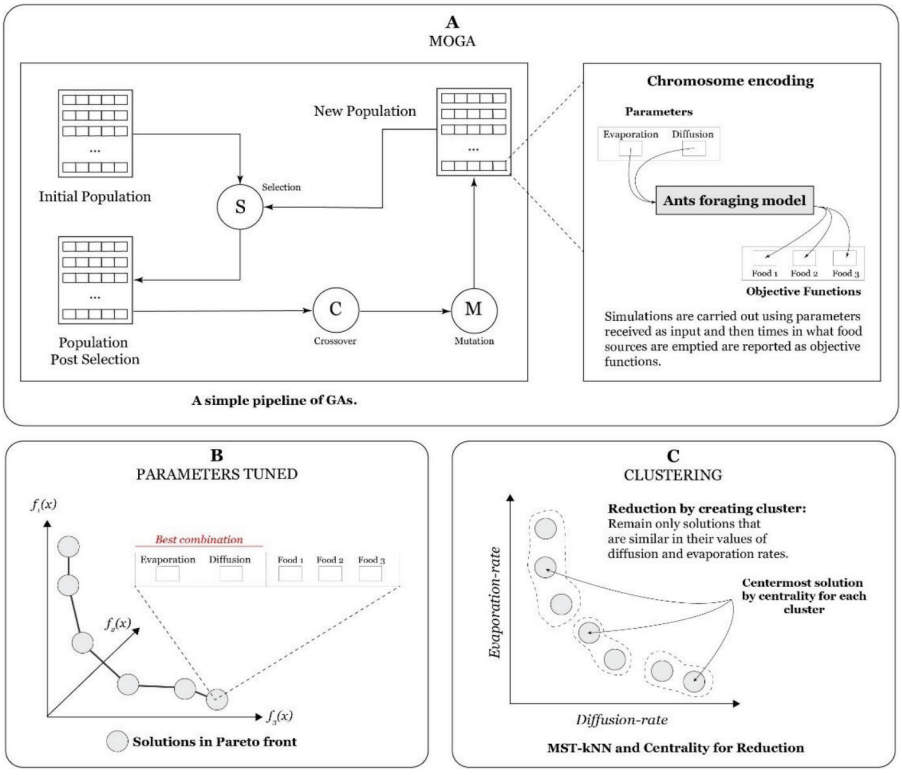


Figure 2 – Schematic representation of stages followed in the study

In Figure 1B, we show a visual example (considering only two objectives) of these definitions. Note that in the described context, the best solutions are those that go toward the lower left of the plot.

In this research, we followed the stages represented by the schema of Figure 2. In a simple way, we used the NetLogo software (Wilensky, 1999) to perform the ABS of the ants foraging model and we calibrated it using the MOGA proposed by (Florent et al., 2010). Such algorithm is based on well-known NSGA-II and it has been widely used in MOOPs in areas such as biology (Parraga-Alava, Dorn & Inostroza-Ponta, 2018; Parraga-Alava & Inostroza-Ponta, 2017; Villalobos-Cid et al., 2018), networks (Párraga-Álava, Dorn & Inostroza-Ponta, 2017) and emergency management (Parraga-Alava, et al., n. d.) with successful results.

The MOGA optimizes the time in which the three sources of food become empty through the parameters evaporation-rate and diffusion-rate. Based on them, it determines a set of the best combinations of such parameters which are expected to represent the global system dynamics. In the MOGA, the chromosome encoding is based on integer numbers to represent a solution. Each chromosome has length two, representing the parameters evaporation-rate and diffusion-rate, and each gene can have an integer value from 0 to 99, which is the range of values allowed in NetLogo (Figure 2A). Once the best combinations of the parameters are obtained by the MOGA, they were stored as solutions in Pareto front. In this set, each solution represents a combination of values (parameters tuned) for evaporation-rate and diffusion-rate as well as their corresponding time in which each food source is emptied (Figure 2B). In the Pareto front all the solutions are of equal quality, so no one dominates another. It leads to obtain many solutions and therefore combinations of parameters. To simplify this and leave only solutions that are similar in their values, we applied a cluster ensemble-based approach to obtain the final solution of parameters tuned. Thereby, we considered all the nondominated solutions with theirs objectives functions values and performed a clustering process using the R version (Inostroza-Ponta, Parraga-Alava & Moscato, n. d.) of the MST-kNN clustering algorithm (Inostroza-Ponta, 2008). The algorithm is based on the intersection of the edges of two proximity graphs: MST (Minimum Spanning Tree) and *k*NN (*k*-Nearest Neighbor). MST-*k*NN works based on the elimination of those edges in the MST, such that the two nodes of the edge are reciprocally not one of the *k*NN of each other. We do not select another traditional clustering algorithm such as k-means because this requires establishing a priori the number of groups *k*. Precisely, MST-*k*NN algorithm stands out because the number of groups *k* is automatically determined and because it is able to identify groups when the data have different shapes. To identify the number of groups *k,* during the creation of *k*NN, the algorithm uses the equation:

$$k = \min\{\lfloor \ln(n) \rfloor; \min k \,|kNN is\ connected\}$$

where n is the number of objects, $\lfloor \ln(n) \rfloor$ is the greatest integer that is less than or equal to $ln(n)$, *k*NN is connected if there is a path between every pair of nodes.

In Figure 2C, once applied the clustering process, this results are used to identify the most central solution in each cluster using the *closeness* (Sabidussi, 1966) centrality

measure. Such solution corresponds to a consensus solution that represents the most similar values of parameters with which the three sources of food are emptied in lesser time.

3. Experiments and simulation results

The goal of the experiments is to determine whether is useful using a MOGA for tuning parameters in agent-based simulation. We evaluated it using a model of colony of ants forages for food presents in the NetLogo 5.3.1 library. We performed simulations in seven scenarios, i.e., considering 50, 75, 100, 125, 150, 175 and 200 ants. For each one, we performed the MOGA for calibration of ants model over 10 consecutive runs using OpenMOLE platform (Florent et al., 2010) with the evolutionary parameters by default, i.e., population={50, 75, ..., 200}, μ=100, diffusion-rate={0,1,2,...,99}, evaporation-rate={0,1,2,...,99}, and termination = 100.

The computational simulations for random parameters values were performed on a computer with Intel Core i7-6500U, 2 CPUs, 2,59Ghz, 4 cores/threads, 8GB RAM.

3.1. Results for tuned parameters values

In Table I, we show the mean time (ticks) values obtained by Pareto front solutions with the MOGA over 10 consecutive runs for all scenarios (numbers of ants). A tick is a unit of time measurement used by NetLogo simulations. They do not correspond necessarily to real-world time. We merged all solutions obtained in the runs and we re-applied the Pareto optimality to obtain the consensus Pareto front. Based on it, we computed the means time (ticks) values for each food source.

Ants	Total solutions in Pareto front	Tick		
		Food source 1	Food source 2	Food source 3
50	39	451	889	2773
75	29	390	1124	1681
100	9	267	415	811
125	30	321	746	1210
150	29	261	578	1274
175	32	359	645	1028
200	27	414	657	1031

Table 1 – Mean time (ticks) values achieved by Pareto fronts of MOGA over 10 runs. Here we report rounded values of ticks for each food source

Over the consensus Pareto front, we used the values of diffusion-rate and evaporation-rate to compute the Euclidean distance between each pair of solutions. Then, we applied the MST-*k*NN algorithm to obtain the groups of solutions and we identified in each cluster the solution with the closeness centrality measure value smallest, which corresponds to the solution with the set of values most similar in each cluster yield. In Table 2 we show central solutions for each cluster and scenario. Here diffusion-rate and

evaporation-rate values are separated by a hyphen. As the simulation process involves stochastic processes, in Figure 3, we show the times (ticks) achieved in 90 consecutive simulations for each solution in scenario of 175 ants in Table 2.

Cluster	Scenario (number of ants)						
	50	**75**	**100**	**125**	**150**	**175**	**200**
1	34-5	27-5	30-6	14-6	64-6	88-9	60-8
2	93-12	77-8	-	61-8	84-17	40-8	35-8
3	93-5	37-7	-	75-9	89-6	66-12	48-9
4	71-7	41-8	-	79-8	58-12	13-7	48-5
5	79-7	-	-	95-15	56-12	28-11	-
6	-	-	-	82-10	40-9	-	-
7	-	-	-	48-5	13-7	-	-
8	-	-	-	45-4	-	-	-

Table 2 – Summary of consensus solutions (diffusion-rate and evaporation-rate values) for each cluster yield and simulation with tuned parameters

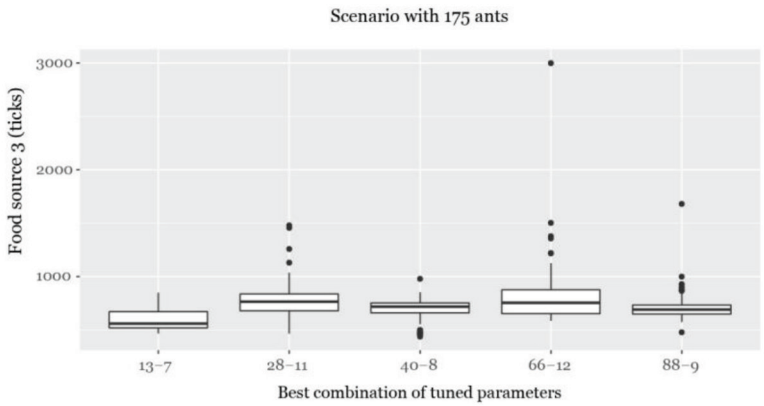


Figure 3 – Times (ticks) achieved when the last food source is emptied. Horizontal axes correspond to diffusion and evaporation rates combination values separated by a hyphen

3.2. Results for random parameters values

We carried out simulations of the ants foraging model with random parameter values on 30 consecutive runs and three replications (90 consecutive simulations). To ensure fair comparisons, we consider the same number of parameter combinations for each scenario (Table 2) as those determined in the tuning parameter process. The results of such simulations are shown in Table 3 and Figure 4.

Ants	Total solutions in Pareto front	Tick		
		Food source 1	Food source 2	Food source 3
50	39	1345	1917	3763
75	29	932	1609	2708
100	9	394	651	951
125	30	541	1140	2064
150	29	525	1013	1688
175	32	415	830	1603
200	27	507	704	1075

Table 3 – Mean time (ticks) values achieved by random parameter values over 30 runs and three replications. Here we report rounded values of ticks for each food source

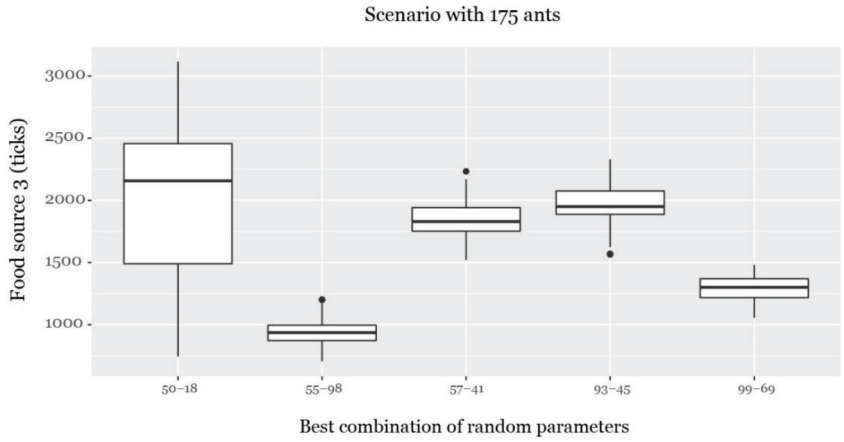


Figure 4 – Times (ticks) achieved when the last food source is emptied. Here, the simulations were performed with the random parameters. Horizontal axes correspond to diffusion and evaporation rate combination values

4. Discussion

We evaluated the usefulness of a MOGA for parameter tuning of a model of colony of ants forages for food presents in the NetLogo library. We considered seven scenarios corresponding to different numbers of ants and we optimized the time in which the food sources are emptied. Table 1 provides information of the effect of such process which reveals that the greater number of solutions available in Pareto front are achieved when 50 ants are considered. Meanwhile, the smaller number of solutions are achieved when 100 ants are considered. Furthermore, in this last scenario, the model of colony of ants forages for food is where achieved the minimum mean time being only 811 ticks.

Because the number of solutions available in most of scenarios is big, in Table 2 we show the results of a process used to reduce the number of optimized solutions (pairs of parameters of the model) in Pareto front. In such table, the values represent the diffusion-rate and evaporation-rate values which are separated by a hyphen. Here,

moreover it can be observed that in scenario with 100 ants, the process determined just one consensus solution which allows to MOGA to obtain a combination of parameters that represents the other solutions at the Pareto front. With this, we can decrease of number of pairs of parameters (diffusion-rate and evaporation-rate) without losing the effectiveness of the simulated model.

In Figure 3, we also show the performance of MOGA regarding the time in which the last source food (source 3) is emptied. We only considered the consensus solutions obtained by the clustering process, because each of these solutions represents all the areas of the objective space covered by the Pareto front. Here, we show boxplots where it is evident that for all the consensus solutions of this scenario of 175 ants, 75% of the data is under 1000 ticks and they have a distribution of very similar values. Whereas when we used random values of parameters (Figure 4) only one of the five cases considered is under 1000 ticks. As our goal is to determine whether parameter tuning with MOGAs in agent-based simulations is more adequate than to use random parameters of the model, in Table 3 we show mean values of food source ticks obtained by the model when random parameter values are used. Here, the scenario with 100 ants also is where the model achieved minimum mean time being only 951 ticks. It is a similar value to the case where the MOGA was used.

To detect whether the use of tuned parameters by MOGA and the use of random parameters allow to the model of colony of ants forages for food to reduce or not the time in which the food sources are emptied from statistical point of view, we carry out the equal-variance t-test for each scenario based on data in Table 4-Table 7. (We do not show the pareto front of each algorithm because of readability issues).

Cluster	Tuned parameters		Random parameter	
	Mean	Deviation	Mean	Deviation
1	1722	29	2876	15
2	5904	59	5557	236
3	2682	20	2873	39
4	2808	296	3385	31
5	1524	8	4129	11

Table 4 – Mean and standard deviation time (ticks) achieved in last food source emptied by simulations using both tuned and simulated parameters over 30 runs and three replications for 50 ants. We report mean and deviation rounded values of ticks for each cluster

Cluster	Tuned parameters		Random parameter	
	Mean	Deviation	Mean	Deviation
1	1548	138	2054	29
2	1217	135	2250	35
3	1356	243	3188	47
4	1005	11	3339	13

Table 5 –Mean and standard deviation time (ticks) achieved in last food source emptied by simulations using both tuned and simulated parameters over 30 runs and three replications for 75 ants. We report mean and deviation rounded values of ticks for each cluster

Cluster	Tuned parameters		Random parameter	
	Mean	Deviation	Mean	Deviation
1	1027	129	1928	15
2	2312	65	2356	43
3	783	29	1388	27
4	745	9	1358	18
5	617	7	1196	16
6	1003	46	1472	27
7	749	6	2119	12

Table 6 – Mean and standard deviation time (ticks) achieved in last food source emptied by simulations using both tuned and simulated parameters over 30 runs and three replications for 150 ants. We report mean and deviation rounded values of ticks for each cluster

Cluster	Tuned parameters		Random parameter	
	Mean	Deviation	Mean	Deviation
1	665	8	916	4
2	627	10	1063	16
3	674	16	1254	19
4	654	20	1069	15

Table 7 – Mean and standard deviation ticks values achieved in last food source emptied by simulations using both tuned and simulated parameters over 30 runs and three replications for 200 ants. We report mean and deviation rounded values of ticks for each cluster

Moreover, in Figure 5 we report a summary of such data contrasting the average time in which the last food source is emptied for the two cases compared, i.e., tuned parameters and random parameters. For the latter, we consider the same number of solutions as number in tuned parameters. The test verifies whether the average time (ticks) in which the food sources are emptied when simulation with tuned parameters are significantly different from the average time (ticks) when random parameters are used in the simulation.

Once we conducted (based on Table 4-Table 7) the equal-variance t-test, we found p-values of 0.3966, 0.0165, 0,0518, 0.0041, 0.0370, 0.0120 and 0.0009 for seven scenarios (50, 75, 100, 125, 150, 175 and 200 ants), respectively. As in five out seven cases values are lesser than our threshold of 0.05, we can say that there is a statistically significant difference in the average times (ticks) of obtained by the simulations when tuned parameters are used from the average time (ticks) when random parameters are used. However, in the cases of 50 and 100 ants the p-values (0.3966 and 0.0518) are greater than threshold of 0.05, hence there is no significant difference in the average times of the cases (tuned or random) of parameters used.

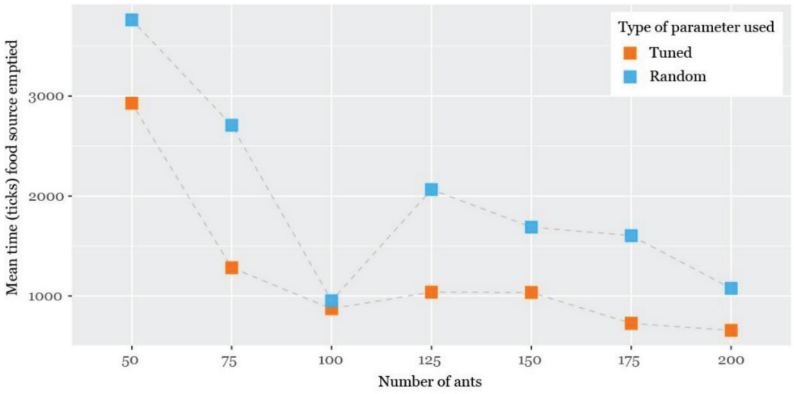


Figure 5 – Mean times (ticks) achieved when the last food source is emptied for tuned and random parameters simulations.

5. Conclusions and further work

In this paper, we studied the usefulness of a MOGA for parameter tuning in a well-known model presents in the NetLogo library about a colony of ants forages for food.

The MOGA is based on well-known algorithm called NSGA-II and it optimized the time in which the three sources of food become empty through the tuning of parameters evaporation-rate and diffusion-rate.

Computational experiments, identification of consensus solutions and statistical results showed that the MOGA for parameter tuning is useful for minimize the emptying time of each food source in the colony of ants forages for food model of NetLogo when it is compared with only random parameters values. However, such situation is not applicable for scenarios where the number of ants used is small (50 and 100), so it seems that finally the simulation is affected mainly by the number of ants (agents) and affected to a lesser degree by the parameters of diffusion-rate and evaporation-rate.

Results of this research can be used as baseline for simulation processes based on models available in NetLogo since out methodology facilitates the parameters tuning. It would allow to developers and scientists represent in a better way the behavior of the modeled systems.

In our experiments parameter values are tuned on a specific model (ants foraging model). There is no guarantee that the genetic algorithm used for parameter tuning will perform well on other unused models of NetLogo. As further work, we would like to evaluate the effectiveness of this algorithm (MOGA) in other simulation models available in the NetLogo. Furthermore, the computer performance is not analyzed in this research although it is an important issue to development a useful simulation that to faithfully represent of the behavior of the modeled system. That is why in further work we would like to study the influence of computer characteristics in the behavior of a system that will be modeled through the simulation.

Acknowledgment: *Authors thank Proyecto CUP 383713 CGI-ESPAMMFL for its financial support.*

References

Belhaj, M., Kebair, F., & Ben Said, L. (2014). Agent-Based Modeling and Simulation of the Emotional and Behavioral Dynamics of Human Civilians during Emergency Situations (pp. 266–281). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-11584-9_18

Calvez, B., & Hutzler, G. (2006). Automatic Tuning of Agent-Based Models Using Genetic Algorithms (pp. 41–57). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/11734680_4

Figueredo, G. P., & Aickelin, U. (2011). Comparing System Dynamics and Agent-based Simulation for Tumour Growth and Its Interactions with Effector Cells. In *Proceedings of the 2011 Summer Computer Simulation Conference* (pp. 52–59).

Florent, R., Thierry, M., David, N., Chuffart, R., Faure, L., & Hill, D. (2010). OpenMOLE. *Altair*. Retrieved from http://www.pbsgridworks.com/

Holland, J. H. (1984). Genetic Algorithms and Adaptation. In O. G. Selfridge, E. L. Rissland, & M. A. Arbib (Eds.), *Adaptive Control of Ill-Defined Systems* (pp. 317–333). Springer US. DOI: 10.1007/978-1-4684-8941-5_21

Inostroza-ponta, M. (2008). *An Integrated and Scalable Approach Based on Combinatorial Optimization Techniques for the Analysis of Microarray Data*. School of Electrical Engineering and Computer Science. University of Newcastle, Newcastle, Australia.

Inostroza-Ponta, M., Parraga-Alava, J., & Moscato, P. (n. d.). *mstknnclust: An R package for MST-kNN Clustering Algorithm*.

Mannava, V., Kodeboyina, S. S., Bodempudi, S. B., & Addada, C. S. P. (2019). An Agent-Based Approach for Dynamic Load Balancing Using Hybrid NSGA II (pp. 605–615). Springer. DOI: 10.1007/978-981-10-8639-7_64

Murase, Y., Uchitane, T., & Ito, N. (2014). A Tool for Parameter-space Explorations. *Physics Procedia*, *57*, 73–76. DOI: 10.1016/J.PHPRO.2014.08.134

Narzisi, G., Mysore, V., & Mishra, B. (2006). Multi-objective evolutionary optimization of agent-based models: An application to emergency response planning. *Computational Intelligence*, *2006*, 224–230.

Parraga-Alava, J., Andrade Sánchez, C., Candela Limongi, J., & Alcívar Cevallos, R. (n. d.). *An Unsupervised Learning Approach For Identifying Emergency Calls Groups By Using Multi-Objective Genetic Algorithm*.

Parraga-Alava, J., Dorn, M., & Inostroza-Ponta, M. (2018). A multi-objective gene clustering algorithm guided by apriori biological knowledge with intensification and diversification strategies. *BioData Mining*, *11*, 16. DOI: 10.1186/s13040-018-0178-4

Párraga-Álava, J., Dorn, M., & Inostroza-Ponta, M. (2017). Using local search strategies to improve the performance of NSGA-II for the Multi-Criteria Minimum Spanning Tree problem. *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2017 - Proceedings*, 1119–1126. DOI: 10.1109/CEC.2017.7969432

Parraga-Alava, J., & Inostroza-Ponta, M. (2017). A Bi-Objective Clustering Algorithm for Gene Expression Data. *CLEI Electronic Journal*, *20*(2), 4. DOI: 10.19153/cleiej.20.2.4

Quera, V., Beltran, F. S., & Dolado, R. (2010). Flocking Behaviour: Agent-Based Simulation and Hierarchical Leadership. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, *13*(2). DOI: 10.18564/jasss.1609

Rabia, K. T., & Bora, S. (2017). Parameter Tuning of Complex Systems Modeled in Agent Based Modeling and Simulation. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, *11*(12), 1252–1261.

Read, M. N., Alden, K., Rose, L. M., & Timmis, J. (2016). Automated multi-objective calibration of biological agent-based simulations. *Journal of the Royal Society, Interface*, *13*(122). DOI: 10.1098/rsif.2016.0543

Sabidussi, G. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, *31*(4), 581–603.

Venkatramanan, S., Lewis, B., Chen, J., Higdon, D., Vullikanti, A., & Marathe, M. (2018). Using data-driven agent-based models for forecasting emerging infectious diseases. *Epidemics*, *22*, 43–49. DOI: 10.1016/J.EPIDEM.2017.02.010

Villalobos-Cid, M., Dorn, M., Ligabue-Braun, R., & Inostroza-Ponta, M. (2018). A memetic algorithm based on an NSGA-II scheme for phylogenetic tree inference. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1–1. DOI: 10.1109/TEVC.2018.2883888

Wilensky, U. (1997). *NetLogo Ants model*. Evanston.

Wilensky, U. (1999). NetLogo. *Evanston*. Retrieved from http://ccl.northwestern.edu/netlogo

Willekens, F. (2014). Agent-based modeling and simulation (ABM-ABS). *Max Planck Institut für Demografische Forschung*. Retrieved from https://bit.ly/2JpXzaa

Wong, K. K. L. (2017). Three-dimensional discrete element method for the prediction of protoplasmic seepage through membrane in a biological cell. *Journal of Biomechanics*, *65*, 115–124. DOI: 10.1016/J.JBIOMECH.2017.10.023

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/11/2018
Aceitação/Acceptance: 26/01/2019

Online Model Predictive Control tuning using Kalman algorithm applied to a vertical take-off and landing platform

Oscar Gonzales[1], Marco Herrera[2], Oscar Camacho[3], Jorge Luis Rosero[4]

oscar.gonzalesz@epn.edu.ec, marco.herrera@epn.edu.ec, oscar.camacho@epn.edu.ec, jorge.rosero@udla.edu.ec

[1,2,3] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[4] Universidad de las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

Pages:185–197

Abstract: Model Predictive Control (MPC) is an optimal algorithm which is having impressive performances on industrial field. However, to implement an MPC on practical fast dynamics systems is essential to avoid the computational load of the algorithm. In many cases, controller tuning is made using heuristic methods that cannot be generalized for other processes. In the present work, the implementation of MPC with online tuning through an Extended Kalman Filter (EKF) is applied to a Vertical Take – Off and Landing Platform (VTOL). The position tracking results of the VTOL are evaluated under different initial conditions of the EKF. The best control performance is determined by evaluating the Integral of Absolute Error value (IAE) criterion.

Keywords: MPC; EKF; performance index; VTOL; online-tuning.

1. Introduction

In recent years, Model Predictive Control (MPC) has been recognized for its advantages to regulate industrial processes compared to classical control methods. Due to its philosophy to see towards the future, predictions on the mathematical model of the process are accomplished to generate optimum control actions looking for reference tracking and steady state stability (Wang, 2009).

In several works the research, design and application of MPC on industrial processes is proposed. In Ratnakumari & Triven (2016), predictive control actions are applied on a CSTR to regulate the reactant temperature inside the tank. The CSTR is a common benchmark plant to prove new algorithms on industrial processes. Suwannik et al (2016) describe a linear MPC, it is used in order to evade nonlinearity complexity in the mathematical model of the plant for developing a level control. Mayer et al (2014) shows a hybrid controller designed between MPC and Fuzzy algorithms. In order to tune the controller, the user's expertise is needed. Finally, a distillation column control is performed by Hieu et al (2017), where the temperature control is accomplished by a

hybrid controller blending an MPC and a neural network, the learning process in the neural network is the key factor to follow set-point values.

In power electronics, diverse works have been applied using MPC to handle fast dynamics in power converters and to reach reference voltage and current values. To deal with computational cost problems in MPC formulation, prediction and control horizons do not reach high values (Hieu et al, 2017; Uno, 2018). Also, hardware platforms like FPGAs help MPC generate fast control actions to achieve better performances (Méndez, 2016).

Despite the large number of researches on MPC, tuning the controller is not always an easy task because of the number of variables, weights values so as prediction and control horizons. In this context, different proposals have been developed in order to tune the MPC. In Zhang et al (2017), an MPC is used to change PID parameters to control an organic power plant. The algorithm used an improved performance index based in Survival Information Potential (SIP) criterion, where the plant performance is based on stochastic signals. Results showed good reference tracking, but the MPC was underutilized without taking advantage of the optimum criterion to minimize the performance index.

In Gholaminejad (2016), an adaptive method based on analytical results was used to tune the MPC in a Ph neutralization process. This method implemented online identification to achieve experimental results. Then, it formulated at each sampling time a mathematical model that MPC used to generate an adaptive control law. Despite the high computational cost at every sampling time due to the estimation and control law formulation, the Ph neutralization process achieves good performance because of its slow dynamics. Another advantage in this research was the use of an approximation to a first order with delay model used to represent the Ph process.

MPC techniques such as Dynamic Matrix Control (DMC) and Generalized Predictive Control (GPC) related to chemical process control were showed in Garriga & Soroush (2010), theoretical formulation models and experimental results to tune the controller are presented. Also, the paper simulated a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) with MPC self-tuning to compare performance and results.

All the reviewed background presents a vast MPC development on industrial processes. Consequently, processes with different nature can be benefited from current research. Recently, unmanned vehicles such as drones have had a great impact on industrial environment due to their multiple applications, for instance: agriculture supervision, security monitoring, 3D-mapping and so on Matsumura et al (2018).

Vertical Take-Off and Landing (VTOL) is a type of drone, an autonomous system that uses a propulsion machines to follow trajectories in different ways (Nandakumar et al, 2017). This system joins mechanical components such us a propeller, with electrical components such us motor drive to control the plant. VTOL prototypes are excellent models to prove advanced control theories.

The main purpose of this work is to optimize the weights estimation in MPC regarded to conventional tuning methods. An MPC online tuning method is applied to a 1 Degree of Freedom (DoF) VTOL system to control the position of the system. Experimental results of position control with the MPC self-tuned algorithm through the Extended Kalman

Filter (EKF) are presented. Different initial values are given to the EKF to observe their effect tuning the online controller.

This paper presents the following structure: section 2 provided a brief description of the VTOL modeling, section 3 shows the development of the controller, section 4 describes the results and the implementation of the MPC in the VTOL, and conclusions are presented in the last section.

2. VTOL modelling

VTOL is a 1-DoF system (Figure 1) which is used in engineering education to understand different fields in technology such as: electronic control, development of control theories, principles of aeronautics, among others (QUANSER, 2011). The VTOL has a fan as a propulsion system and a counterweight on the opposite side that allows to change the initial position. Pitch angle is measured through an encoder and angular speed is estimated through a mathematical algorithm.



Figure 1 – VTOL from National Instruments (QUANSER, 2011)

The mathematical model of the system is obtained from two subsystems. First, the dynamics of the fan is considered through its electrical elements. Second, the pitch angle from the height of the fan. Under these conditions, a cascade control scheme is implemented as follows:

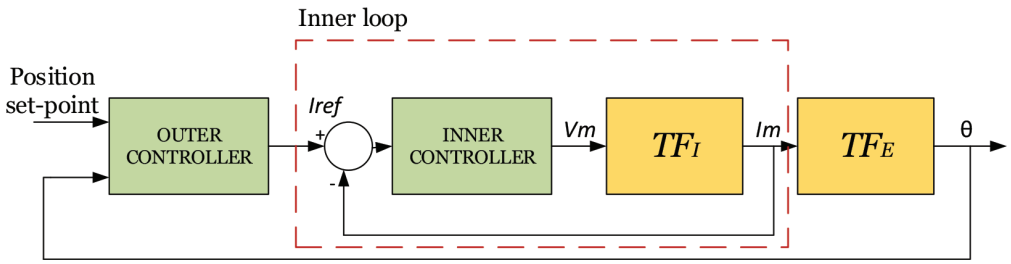


Figure 2 – VTOL control scheme

The model of the inner transfer function (TF_I) is represented by:

$$TF_I = \frac{I_m(s)}{V_m(s)} = \frac{V_m(s)}{R_m + L_m s} \tag{1}$$

Where:

I_m Motor current.

V_m Motor voltage.

R_m Motor resistance.

L_m Motor inductance.

The model of the external transfer function (TF_E) is represented by:

$$TF_E = \frac{\theta(s)}{I_m(s)} = \frac{k_t}{Js^2 + Bs + K} \tag{2}$$

Where:

k_t Motor current.

J Motor voltage.

B Motor resistance.

K Motor inductance.

From (1) and (2), the model in the state space representation is given by:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{K}{J} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_t}{J} \end{bmatrix} u(t)$$
$$y(t) = [1 \quad 0] x(t) \tag{3}$$

Where:

$x = [\theta \quad \dot{\theta}]^T$; Variable states.

$u = I_m$; Control signal.

$y = \theta$; System output.

Description	Parameter	Unit
Torque constant	$k_t = 0.0108$	Nm/A
Moment of equivalent inertia along pitch axis	$J = 0.00347$	Kgm²
Viscous friction constant	$B = 0.002$	Nms/rad
Stiffness	$K = 0.0373$	Nm/rad
DC motor resistance	$R_m = 3$	Ω
DC motor inductance	$L_m = 0.0583$	H

Table 1 – VTOL parameters (QUANSER, 2011)

From Herrera et al (2017), the model is controllable and observable. The matrix A is non-singular, so its eigenvalues are non-zero.

Finally, numerical values of VTOL parameters are shown in Table 1.

3. Controller design

3.1. Model Predictive Control

To implement the MPC, the VTOL model is discretized. From Herrera et al (2017), the settling time is 2 seconds. Therefore, a sampling time of 0.1 seconds is chosen according to Wescott (2010).

The mathematical model is expressed in a discrete state space expression as shown below:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= A_d x_k + B_d u_k \\ y_k &= C_d x_k \end{aligned} \tag{4}$$

In Rossiter (2003), an alternative MPC algorithm is proposed from an approach of deviation variables to obtain zero error at steady state. Thus:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_k &= x_k - x_{ss} \\ \tilde{u}_k &= u_k - u_{ss} \end{aligned} \tag{5}$$

Where:

$\tilde{x}_k$: Deviation of state variables.
x_{ss}: Steady state variables.
$\tilde{u}_k$: Deviation of the control law.
u_{ss}: Steady state control law.

The prediction model is based on state space variables from Rossiter (2003). Thus, the predictions of the plant model on the output variable are given by:

$$\tilde{y}_{k+1} = P_x \tilde{x}_k + H_x \tilde{u}_k \tag{6}$$

Where:

P_x Matrix of coefficients formed by A_d.
H_x Matrix of coefficients formed by A_d and B_d.
$\tilde{y}_{k+1}$ Output process deviations (position error).

Common control objectives in the performance index are the minimization of: steady state error and the incremental of the control signal (Wang, 2009). To avoid negative weights generation from the Kalman Filter convergence, established quadratic weights in the performance index to assure an existing global minimum in the optimization process. Also, prediction and control horizons are set to 1 to avoid computational cost problem (Gonzales & Rosales, 2018).

$$J = e_{k+1}^T Q^2 e_{k+1} + u_k^T R^2 u_k \tag{7}$$

Where:

$e_{k+1} = x_{k+1} - x_{ss}$

Q Variables weights.

R Control weight.

The performance index to be optimized is:

$$\min_{u_k} J \equiv \min_{u_k} u_k^T [H_x^T Q^2 H_x + R^2] u_k + 2\, H_x^T Q^2 [P_x \tilde{x}_k]\, u_k + [P_x \tilde{x}_k]^T Q^2 [P_x \tilde{x}_k] \tag{8}$$

The following equation presents the control law without constraints that Kalman Filter will take in the problem formulation.

$$u_k = -[H_x^T Q^2 H_x + R^2]^{-1} H_x^T Q^2 P_x \tilde{x}_k + u_{ss} \tag{9}$$

Employment of constraints in the performance index is other advantage of MPC over other algorithms. Therefore, the constraints to be optimized by quadratic programming (QP) to find the optimal control signal are (Wang, 2009):

$$\begin{bmatrix} C_{\Delta u} \\ C_u E \end{bmatrix} \Delta u + \begin{bmatrix} 0 \\ C_u L \end{bmatrix} u_{k-1} \leq \begin{bmatrix} d_{\Delta u} \\ d_u \end{bmatrix} \tag{10}$$

Where:

$C_{\Delta u}$ Coefficients from the incremental control signal.

$d_{\Delta u}$ Constraints values for incremental control signal.

C_u Coefficients from the control signal.

d_u Constraints values for the control signal.

Numerical constraints on control signal are ±3A that VTOL's fabricant points out (QUANSER, 2011).

3.2. Extended Kalman Filter

The Extended Kalman Filter (EKF) estimates variables from a system through an online iteration between the real process and its mathematical model. The EKF is a nonlinear extension of Kalman Filter, this is used for linear systems (Yan et al, 2017). The equations of EKF are expressed as follows:

Update stage

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1} + w_k$$

$$z_k = h(y_k, u_k, q, r) + v_k$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k S_{k-1} W_k \tag{11}$$

Measure stage

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - z_k)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (12)$$

Where:

$\hat{x}_k^-$ Predicted value at actual instant.

$\hat{x}_{k-1}$ Estimated value at last instant.

w_k Noise on the process.

z_k Measurements on the process that depend on outputs y_k, input u_k from the VTOL and ponderations q_1, q_2 and r from the MPC.

v_k Noise on the measurements.

P_k^- Covariance matrix a priori.

S_{k-1} Covariance matrix of the measurement noise.

A_k State matrix of the process.

P_{k-1} Covariance matrix estimated at the last instant.

W_k Linearized noise matrix from the process.

K_k Kalman's optimal gain.

H_k Measurement matrix of the process.

V_k Linearized noise matrix from the measurements.

R_k Covariance matrix of the process noise.

Weights for error (variables deviation) and control signal are described as:

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix}$$

$$R = r$$

Where:

q_1 VTOL position error weight.

q_2 VTOL speed error weight.

r Control signal weight.

The matrix H contains the linearized model of the hybrid system between the MPC and VTOL mathematical expressions.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial \theta}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial q_1} & \frac{\partial \theta}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial q_2} & \frac{\partial \theta}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial q_1} & \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial q_2} & \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial r} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Partial derivations from (13) considers mathematical expressions of the control signal and weights of the performance index (Ahn & Truong, 2009):

$$\frac{\partial u_k}{\partial q_1} = -\left[H_x^T Q' P_x \hat{x}_k [H_x^T Q^2 H_x + R^2] - H_x^T Q' H_x [H_x^T Q^2 P_x \hat{x}_k]\right][H_x^T Q^2 H_x + R^2]^{-2}$$

$$\frac{\partial u_k}{\partial q_2} = -\left[H_x^T Q'' P_x \hat{x}_k [H_x^T Q^2 H_x + R^2] - H_x^T Q'' H_x [H_x^T Q^2 P_x \hat{x}_k]\right][H_x^T Q^2 H_x + R^2]^{-2}$$

$$\frac{\partial u_k}{\partial r} = [H_x^T Q^2 P_x \hat{x}_k][H_x^T Q^2 H_x + R^2]^{-2}$$

Where:

$$Q' = \begin{bmatrix} 2q_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q'' = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2q_2 \end{bmatrix}$$

Matrices Q' and Q'' are the results after derivations from matrix Q regarding q_1 and q_2, respectively.

4. Experimental results

In this section, the results of the position control of the VTOL with the MPC self-tuned algorithm through the EKF are presented. Different initial values were given to the EKF to observe their effect in the online tuning of the controller.

As noticed in section 2, process control has a cascade structure (Figure 2). The inner regulator is a PI controller that fixes the current level of the DC motor. The parameters of the PI controller are shown in Table 2.

Parameter	Value
Proportional constant – Kp	0.25
Integral constant – Ki	100

Table 2 – PI parameters (QUANSER, 2011)

Reference for VTOL is established in $\theta_d = \frac{\pi}{6}$[rad] and can be observed in Figure 4.

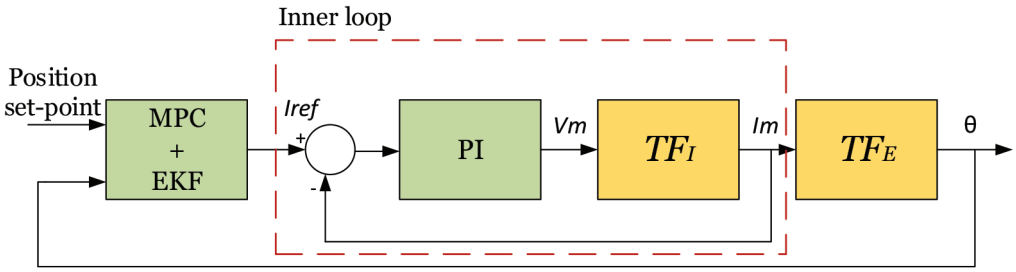


Figure 3 – VTOL cascade control scheme (PI & MPC+EKF)

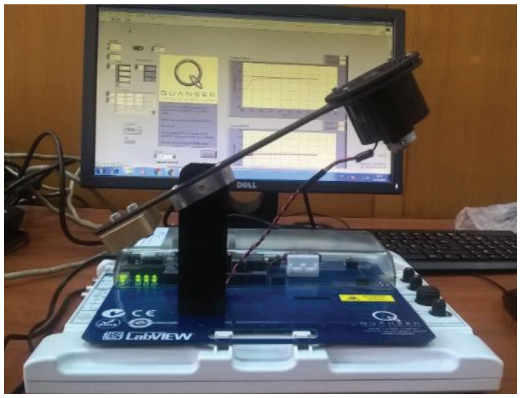


Figure 4 – Position control of VTOL under different initial values of EKF

Tracking of the position reference is observed in Figure 5, and the control action in Figure 6. As previously explained, different scenarios were considered to establish the initial values in the EKF. Without proper initial values, the EKF cannot converge.

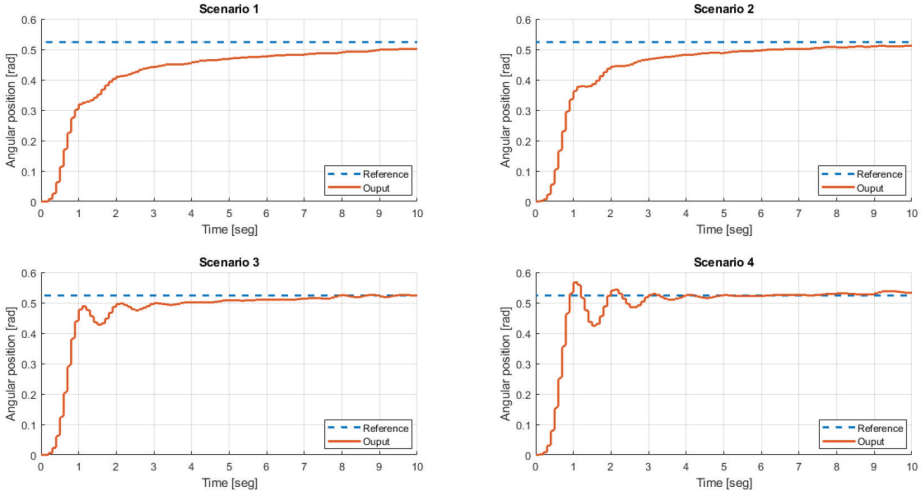


Figure 5 – Position control of VTOL under different initial values of EKF

The test scenarios considered to set EKF initial values are:

- Initial values of 1 for all weights.
- Initial values of 10 for all weights.
- Initial values of 30 for all weights.
- Initial values of 10, 20 and 30 for the position, speed and control signal weights.

From results, higher values of the weights produce better response in the system. However, in the last scenario is observed that is worthless to give high values to all variables, it is enough to set a high weight only to the one variable of more importance in the VTOL that is the control action.

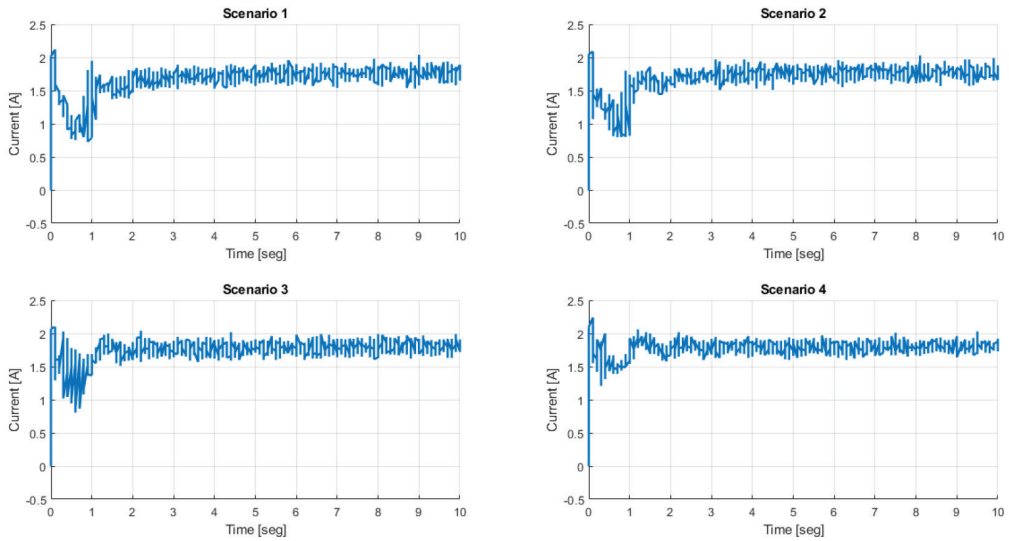


Figure 6 – Control signal under different initial values of EKF

Results of the control actions show that scenario 4 is more consistent because it stays closer to the final value. It also has a faster dynamic signal than the other scenarios, for this reason this scenario gets a better performance.

To quantify the best performance of the controller from the initial values given to the EKF, the criterion of Integral of Absolute value of the Error ($IAEIAE$) was included (Herrera et al, 2017):

$$IAE = \int_0^t |e(t)|dt \tag{3}$$

The error value is difference between reference and pitch position. In table 4, results obtained in each scenario are observed:

Scenario	Initial values q1, q2, r	Final values q1, q2, r	IAE
Scenario 1	1, 1 ,1	1, -1.3, 0.65	0.9922
Scenario 2	10, 10, 10	10, 18.35, 9.13	0.7956
Scenario 3	30, 30, 30	30, 37.91, 29.94	0.5592
Scenario 4	10, 20, 30	10, 27.24, 29.96	0.4407

Table 3 – Numerical results

Evidently, results show that a better performance of the controller is obtained from a personalized weighting of each variable in the performance index. According to the importance of each variable in the MPC optimization, the most important variable is weighted with greater value, as shown in the scenario 4.

5. Conclusions

The present work describes the implementation of an online self-tuning MPC with constraints through an EKF to control the pitch position of a 1 – DoF VTOL.

Implementation and coding into the hardware did not present any issues of computational load because the prediction and control horizons did not reach high values and were limited to have a value of 1.

It was not necessary to incorporate any saturation to the control signal due to one of the advantages of the MPC, which is the use of constraints in the optimization of the performance index through quadratic programming.

The individual weights of each variable offer better results for the control of VTOL position. If priority is given to each one of the variables, better results can be obtained. Hence, the control signal acquired more importance because the internal loop takes as reference in the cascade scheme. In summary, the control action of scenario 4 shows a better performance than the predecessor scenarios due to the lower IAE criterion.

References

Ahn, K. K., & Truong, D. Q. (2009). Online tuning fuzzy PID controller using robust extended Kalman filter. *Journal of Process Control*, *19*(6), 1011–1023.

Garriga, J. L., & Soroush, M. (2010). Model predictive control tuning methods: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *49*(8), 3505–3515.

Gholaminejad, T., Khaki-Sedigh, A., & Bagheri, P. (2016). Adaptive tuning of model predictive control based on analytical results. In *Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA), 2016 4th International Conference on* (pp. 226-232). IEEE.

Gonzales, O., & Rosales, A. (2018). Robust MPC Tuning by Quadratic Weights Online Estimation of the Cost Function through Extended Kalman Filter. In *2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)* (pp. 49-54). IEEE.

Herrera, M., Leica, P., Chávez, D., & Camacho, O. (2017). *A Blended Sliding Mode Control with Linear Quadratic Integral Control based on Reduced Order Model for a VTOL System*. In *ICINCO (1)* (pp. 606-612).

Hieu, D. X., Anh, D. T. L., Phuoc, N. D., & Van Thanh, D. (2017). Temperature prediction and model predictive control (MPC) of a distillation column using an artificial neural network based model. In *System Science and Engineering (ICSSE), 2017 International Conference on* (pp. 113-118). IEEE.

Matsumura, N., Nishimori, K., Taniguchi, R., Mitsui, T., & Hiraguri, T. (2018). Performance Improvement of Drone MIMO Relay Station Using Selection of Drone Placement. In *2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM)* (pp. 1-1). IEEE.

Mayer, B., Killian, M., & Kozek, M. (2014). Cooperative and hierarchical fuzzy MPC for building heating control. In *Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 1054-1059). IEEE.

Méndez, R., Sbarbaro, D., & Espinoza, J. (2016). High dynamic and static performance FCS-MPC strategy for static power converters. In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2016 IEEE* (pp. 1-7). IEEE.

Nandakumar, G., Srinivasan, A., & Thondiyath, A. (2017). Theoretical and Experimental Investigations on the Effect of Overlap and Offset on the Design of a Novel Quadrotor Configuration, VOOPS. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 1–14.

QUANSER (2011). *User Manual QNET VTOL Trainer for NI ELVIS*.

Ratnakumari, U. V., & Triven, M. B. (2016). Implementation of adaptive model predictive controller and model predictive control for temperature regulation and concentration tracking of CSTR. In *Communication and Electronics Systems (ICCES), International Conference on*(pp. 1-6). IEEE.

Rossiter, J. A. (2003). *Model-based predictive control: a practical approach*. CRC press.

Serri, E., & Ahmad, A. Z. (2016). Comparative study of short prediction MPC-KF with PI controller for DC-DC buck converter. In *Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), IEEE International Conference on* (pp. 219-224). IEEE.

Suwannik, P., Jennawasin, T., & Banjerdpongchai, D. (2016). Design of linear model predictive control for level control process with output feedback from wireless transmitter. In *Automatic Control Conference (CACS), 2016 International*(pp. 132-136). IEEE.

Uno, M., Oyama, R., & Sugiyama, K. (2018). Partially-Isolated Single-Magnetic Multi-Port Converter Based on Integration of Series-Resonant Converter and Bidirectional PWM Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*.

Wang, L. (2009). *Model predictive control system design and implementation using MATLAB*. Springer Science & Business Media.

Wescott, T. (2010). Sampling: what nyquist didn't say, and what to do about it. *Wescott Design Services, Oregon City, OR*.

Yan, C., Dong, J., Lu, G., Zhang, D., & Qi, Y. (2017). An adaptive algorithm based on levenberg-marquardt method and two-factor for iterative extended Kalman filter. In *Computer and Communications (ICCC), 2017 3rd IEEE International Conference on* (pp. 1559-1563). IEEE.

Zhang, J., Pu, J., Yin, X., & Ning, M. (2017). An improved approach to tuning MPC-PID controller parameters for non-Gaussian systems. In *Chinese Automation Congress (CAC), 2017* (pp. 7040-7045). IEEE.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/12/2018
Aceitação/Acceptance: 15/02/2019

Implementación de un Sistema de Visión Artificial y Seguimiento de Objetivos Humanos, utilizando un cuadricóptero

Erick P. Herrera-Granda[1], Israel D. Herrera-Granda[2], Leandro L. Lorente-Leyva[3], Pedro D. Granda-Gudiño[4], Jorge A. Caraguay-Procel[5], Iván García-Santillán[6]

epherrera@utn.edu.ec, idherrera@utn.edu.ec, lllorente@utn.edu.ec, pdgranda@utn.edu.ec, jacaraguay@utn.edu.ec, idgarcia@utn.edu.ec

[1,2,3,4,5,6] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

Pages:198–211

Resumen: En el presente proyecto se desarrolló un sistema de visión artificial, con el objetivo de demostrar su aplicación para la detección de rostros humanos en tiempo real obtenidos a través de una entrada de video. Mediante el procesamiento de imágenes digitales se pudo obtener las señales de control para que el dron ejecute su vuelo en tiempo real. Para alcanzar este objetivo, este proyecto se realizó por etapas. Como metodología de detección se usó un detector en cascada empleando el algoritmo de Viola Jones. Inicialmente se seleccionaron los equipos y *software* necesarios para la adquisición del video capturado por la cámara a bordo del cuadricóptero. Posteriormente se desarrolló un sistema de procesamiento de imágenes que permitió mejorar la calidad de las imágenes y prepararlas para la detección. Luego por medio de la segmentación de colores de cada *frame*, umbralización, binarización y detección de bordes fue posible definir automáticamente una región para cada imagen en la cual se ubicó el objetivo humano. De esta manera, ya con la región donde es más probable que se encuentre el rostro, se entrenó un clasificador de cascada que, empleando un algoritmo de seguimiento, permitió obtener la posición y área donde se encontraba el rostro respecto al centro de la imagen con una precisión del 87,58% al 90,14%.

Palabras-clave: Detección; segmentación; seguimiento; umbralización; visión artificial.

Implementation of an Artificial Vision System and Monitoring of Human Objectives using a Quadricopter

Abstract: In the present project an artificial vision system was developed, with the main purpose of demonstrating that its application is possible in the detection of human faces, in real time, through a video input. By means of image processing the control signals were obtained, in order to controlling the drone in real time. To achieve this goal, this project was carried out in stages. Considering that the detection methodology was a cascade detector using the algorithm of Viola Jones. Initially, the equipment and software necessary, for the acquisition of the video

captured by the camera, were selected. Later, an image processing system was developed, in order to improve the quality of the image and prepare it for detection. Then, through the segmentation of colors of each frame, thresholding, binarization and edge detection, the program was able to automatically define a region for each image in which the human objective is located. In this way, having the region where the face is most likely to be found, a cascade classifier was trained, which through a tracking algorithm, will allow to obtain the position and area where the face is located from the center of the image.

Keywords: Detection; segmentation; monitoring; threshold; artificial vision.

1. Introducción

En la actualidad, en consecuencia, al gran desarrollo y comercialización de *drones*, se empieza a pensar en un sinnúmero de aplicaciones que estos podrían tener para el beneficio de la sociedad. Es así, que se dispone en el mercado, de sistemas robotizados aéreos, más conocidos como *drones* o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), los mismos que pueden ser utilizados en diferentes aplicaciones, ya sean industriales, agrícolas y de seguridad (Banda, 2014). De esta manera, este tipo de dispositivos se emplean por ejemplo para la supervisión de producción agrícola, control y monitoreo de instalaciones industriales y personal, e incluso de entretenimiento, siendo utilizados para realizar tomas aéreas durante espectáculos y actividades deportivas.

La implementación de visión artificial en estos dispositivos permitiría realizar un análisis de la información presente las imágenes para reconocer en las mismas un objeto de interés (Calderón, 2014), como sería el caso de rostros humanos, y mediante este reconocimiento poder tomar las acciones de control que se establezcan (Ponce, 2010).

La implementación de un sistema de seguimiento de objetivos humanos y control de vuelo mediante reconocimiento facial demanda un desarrollo tecnológico y aplicación de conocimientos en la captura, procesamiento y reconocimiento de imágenes, mismos que son tema de estudio de la visión artificial (Díaz, 2014). En los últimos años, las técnicas de visión por computadora han sido ampliamente aplicadas a la detección y seguimiento de objetivos móviles gracias al importante desarrollo de técnicas, clasificadores y algoritmos de extracción de información y comparación de las imágenes. La aplicación de estos recursos varía en función de la aplicación práctica hacia la que están orientados (García, Dzul & Lozano, 2013). De esa manera en el presente proyecto se implementó un sistema de procesamiento de imágenes computarizado externo en un dron mediante el desarrollo de algoritmos, así como el uso de funciones y recursos disponibles en librerías de Matlab, que permitieron realizar el seguimiento de un objetivo dado, utilizando segmentación, clasificadores, detección de características y reconocimiento facial para determinar el desplazamiento del objetivo en la secuencia de *frames*.

2. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del presente proyecto de entre las muchas alternativas de drones que se disponía en el mercado, los drones que resultaron seleccionados fueron el AR. Drone 2.0 de Parrot que se muestra en la Figura 1, y el Hubsan H507a. El Parrot fue capaz de brindar una conexión de manera estable y segura con el ordenador, presentando una

fácil y estable sincronización mediante el protocolo de transmisión de los fotogramas TCP. Esto constituyó una gran ventaja en este tipo de aplicaciones, ya que este tipo de protocolo garantiza el envío de datos sin errores y que los mismos sean recibidos en el mismo orden que se fueron transmitidos, ya que permite verificar que la información se está recibiendo antes de continuar con el envío de paquetes de datos.

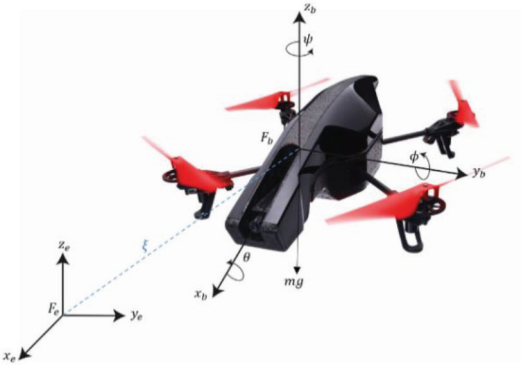


Figura 1 – Sistema de coordenadas del cuadricóptero

Al desarrollar el controlador de vuelo del dron fue necesario tomar como punto de partida que este sistema es no lineal, ya que las matrices de rotación y velocidades angulares involucran funciones trigonométricas y después de un tratamiento algebraico del sistema y representación en el espacio de estados, se obtiene un sistema en el cual la matriz de estados no puede ser separada de las ecuaciones de estados de manera lineal. Para controlar y generar un desplazamiento en un sistema referencial *x*, *y*, *z* que se muestra en la Figura 1, se debe considerar que los cuatro motores del dron son quienes generan un desplazamiento, variando su velocidad angular en conjunto y provocando un empuje en sentido vertical (Santiaguillo et al., 2017).

En caso de que se desee desplazar en el eje vertical *z*, o una variación en la velocidad angular en torno a los ejes para producir un cambio en la orientación del dron. De manera que mediante rotaciones en *roll* θ y *pitch* $\varnothing$ se genera un desplazamiento en las direcciones x, y, y z respectivamente, o mediante el incremento de la velocidad angular sincronizado de los motores se genera una rotación φ en torno al eje vertical (Moeslund, 2012).

La posición del centro de masa del cuadricóptero estaría en las coordenadas $\xi = [x, y, z]^T$ y que su orientación está dada por los ángulos de Euler *yaw*, *roll* y *pitch* $\eta = [\psi, \theta, \phi]^T$ y de esta manera las ecuaciones dinámicas del cuadricóptero son (García et al., 2013):

$$m\ddot{\xi} = mg\boldsymbol{D} + \boldsymbol{R}F \tag{1}$$

$$I\dot{\Omega} = -\Omega \times I\Omega + \tau \tag{2}$$

Donde $\boldsymbol{D} = [0,0,-1]^T$, $\boldsymbol{R} \in SO(3)$ es la matriz de rotación del cuadricóptero F_b respecto a tierra F_e, además el vector de fuerzas aplicado sobre el cuadricóptero es $F = [0,0,u]^T$

siendo u el empuje principal que genera el dron sobre el piso para impulsarse. La masa total del cuadricóptero está denominada como m y g es la aceleración gravitacional. El vector $\Omega = [r, q, p]^T$ se representa mediante la matriz de velocidades angulares del dron, I representa el momento de inercia y τ es el torque total. Tomando a las funciones $sen(*)$ y $cos(*)$ como $S*$ y $C*$ respectivamente, la matriz de rotación es:

$$R = \begin{pmatrix} C\theta C\phi & S\phi S\theta C\psi - C\phi S\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ C\theta S\psi & S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi & C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi \\ -S\theta & S\phi C\theta & C\phi C\theta \end{pmatrix}$$

2.1. Modelo dinámico

El método que se empleó para la obtención del modelo dinámico del dron a controlar es el modelamiento por espacio de estados, donde las variables de estado corresponden a las posiciones *x*, *y*, *z*, y sus respectivas derivadas que corresponden a las velocidades tangenciales a los ejes x, y, z, además las posiciones angulares θ, φ, ψ y sus respectivas derivadas correspondientes a las velocidades angulares θ, ∅, φ. De manera se generan las variables de estado que se presentan en las siguientes ecuaciones (Peña, 2010):

$$\dot{x}_1 = x_2 \tag{1}$$

$$\dot{x}_2 = \left(\frac{sen(x_{11})sen(x_7)+\cos(x_{11})sen(x_9)\cos(x_7)}{m}\right)U(1) \tag{2}$$

$$\dot{x}_3 = x_4 \tag{3}$$

$$\dot{x}_4 = \left(\frac{-cos(x_{11})sen(x_7)+\text{sen}(x_{11})sen(x_9)\cos(x_7)}{m}\right)U(1) \tag{4}$$

$$\dot{x}_5 = x_6 \tag{5}$$

$$\dot{x}_6 = -g + \left(\frac{cos(x_9)cos(x_7)}{m}\right)U(1) \tag{6}$$

$$\dot{x}_7 = x_8 \tag{7}$$

$$\dot{x}_8 = \frac{I_{yy}-I_{zz}}{I_{xx}}x_{10}x_{12} - \frac{J_{tp}}{I_{xx}}x_8\omega + \frac{U(2)}{I_{xx}} \tag{8}$$

$$\dot{x}_9 = x_{10} \tag{9}$$

$$\dot{x}_{10} = \frac{I_{zz}-I_{xx}}{I_{yy}}x_8x_{12} - \frac{J_{tp}}{I_{yy}}x_8\omega + \frac{U(3)}{I_{xx}} \tag{10}$$

$$\dot{x}_{11} = x_{12} \tag{11}$$

$$\dot{x}_{12} = \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} x_8 x_{10} + \frac{U(4)}{I_{zz}} \tag{12}$$

Donde:

$U(1)$: empuje aplicado en el eje vertical
$U(2)$: momento angular aplicado en dirección *roll*
$U(3)$: momento angular aplicado en dirección *pitch*
$U(4)$: momento angular aplicado en dirección *yaw*
Ixx: momento de inercia del cuadricóptero al girar en torno al eje *x*
Iyy: momento de inercia del cuadricóptero al girar en torno al eje *y*
Izz: momento de inercia del cuadricóptero al girar en torno al eje *z*
Jtp: momento de inercia total aplicado en torno al eje de propulsión

2.2. Formulación del controlador

Como se puede notar en las ecuaciones 1 a la 12, el sistema de control de vuelo es no lineal y tiene especial complejidad debido a la presencia de las funciones trigonométricas seno y coseno (Passino, 2015). Por lo tanto, la propuesta del controlador desarrollado consiste en un controlador realimentado cuyas leyes de control se obtendrán mediante un controlador equivalente linealizado en un punto de equilibrio.

Para obtener el punto de equilibrio lo primero que se realizó es igualar las derivadas de cada estado a cero donde se tiene el punto de equilibrio del sistema. Posteriormente para la linealización del sistema se procedió a obtener las matrices *A*, *B*, *C*, *D* de un sistema en el espacio de los estados de comportamiento equivalente en el punto de equilibrio que se muestran en las ecuaciones siguientes:

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{13}$$

$$\dot{y} = Cx + Du \tag{14}$$

Donde las matrices A, B, C y D se obtienen por las ecuaciones 15–18 respectivamente.

$$\bar{A} = \frac{\partial F}{\partial x}\Big|_{\substack{x_Q \\ u_Q}} \tag{15}$$

$$\bar{B} = \frac{\partial F}{\partial u}\Big|_{\substack{x_Q \\ u_Q}} \tag{16}$$

$$\bar{C} = \frac{\partial G}{\partial x}\Big|_{\substack{x_Q \\ u_Q}} \tag{17}$$

$$\bar{D} = \frac{\partial G}{\partial u}\Big|_{\substack{x_Q \\ u_Q}} \tag{18}$$

Reemplazando en el modelo de espacios de estados del controlador se obtuvo el valor exacto de las ganancias del controlador que se muestran a continuación:

K_5 = 40.00289;
K_6 = 12.051;
K_7 = 30.30082;
K_8 = 5.00023;
K_9 = 30.30082;
K_{10} = 5.00023;
K_{11} = 30.30082;
K_{12} = 5.00023;

Una vez obtenido el modelo dinámico del sistema no lineal, y habiéndolo linealizado con el objetivo de que el sistema equivalente permita obtener el valor de las ganancias de control, mediante las que se generan las leyes de control que dotarán al sistema de la capacidad de estabilizarse en los valores deseados ubicados en las leyes de control como Z_d, θ_d, $\varnothing_d$ y ψ_d; se procedió a generar una función en Matlab que permita verificar el correcto funcionamiento del controlador, y su acción de control sobre las variables (Raffo, 2007). De esta manera las leyes de control quedan determinadas mediante las ecuaciones siguientes:

$$U(1) = \frac{m(g - k_5(x_5 - Z_d) - k_6 x_6}{\cos(x_9)\cos(x_7)} \tag{19}$$

$$U(2) = -k_7(x_7 - \theta_d) - k_8 x_8 \tag{20}$$

$$U(3) = -k_9(x_9 - \varnothing_d) - k_{10} x_{10} \tag{21}$$

$$U(4) = -k_{11}(x_{11} - \psi_d) - k_{12} x_{12} U(4) = -k_{11}(x_{11} - \psi_d) - k_{12} x_{12} \tag{22}$$

2.3. Algoritmo de detección y seguimiento

Aplicado un algoritmo de adquisición de imágenes, el resultado obtenido permite obtener cada *frame* que está siendo enfocado por la cámara del Parrot AR. 2.0 en tiempo

real, para posteriormente procesar cada imagen extrayendo su información, y presentar este efecto en la interfaz gráfica de Matlab (GUIDE) reensamblándola como un video. La Figura 2 resume el proceso de adquisición de imágenes hacia Matlab empleado para el Parrot AR. 2.0, mientras que la Figura 3 muestra las imágenes obtenidas a partir del código de adquisición.

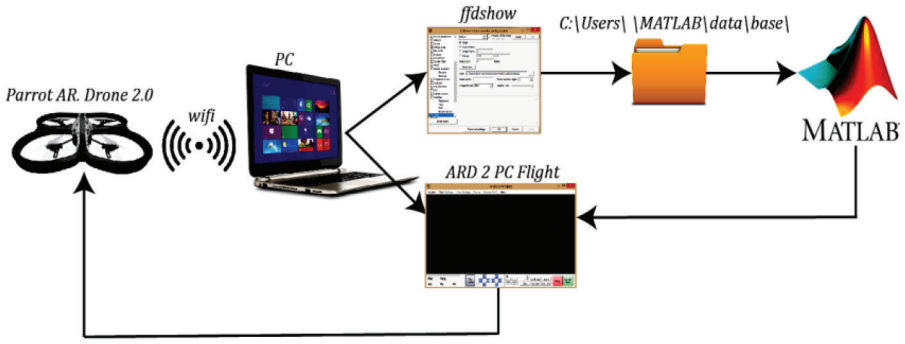


Figura 2 – Esquema de adquisición de imágenes y conexión para el Parrot AR. Drone 2.0



Figura 3 – Resultado generado a partir del código de adquisición Parrot AR. Drone 2.0

Los métodos más comúnmente aplicados en la detección de rostros son: Eigenfaces, Fisherfaces, Viola Jones, entre otros (Turk & Pentland, 1991; Smith, 2002; Peña, 2010), para lo cual fue necesario definir un valor umbral que permita discriminar las características obtenidas mediante Eigenfaces o Fisherfaces dependiendo del caso. Además, en todos los métodos citados, se puede decir que el factor común entre ellos radica en que la detección se realiza a partir de imágenes binarizadas, y en el método empleado en este caso para Matlab la correcta binarización depende de un valor umbral

correctamente seleccionado (Ottado, 2015). En la Figura 4 se puede visualizar los resultados que se obtienen para diferentes valores de umbral; es así como, el ajuste del umbral permite obtener una imagen binarizada enfocada únicamente en las zonas de interés (Sobrado, 2003), en este caso la piel y rostro basado en su luminosidad y tono.

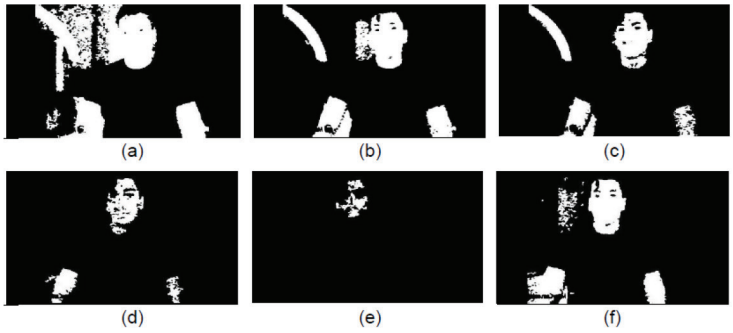


Figura 4 – Ejemplo de imágenes binarizadas obtenidas empleando diferentes valores de umbral, (a) Threshold = 0.001, (b) Threshold = 0.033, (c) Threshold = 0.0060, (d) Threshold = 0.076, (e) Threshold = 0

En la Figura 5 (b) se puede visualizar claramente que el ajuste *greythresh* para la aplicación de detección de rostros no es el mejor ya que se tienen muchos falsos positivos que generarán un mayor costo computacional en el proceso de detección al extraer características y aplicar los clasificadores. Es por esto que el sistema fue dotado de una ventana que permite la calibración manual del umbral para que, posteriormente, mediante el *pushbutton* "Crear base de datos", se inicie la creación de una base de 100 imágenes y 100 *BoundingBox* donde se encuentra el rostro de manera automática mediante las que se entrena el detector de cascada "DetectorRostros.xml".



Figura 5 – Comparación entre resultados obtenidos para el ajuste manual y automático del umbral, (a) ajuste manual Threshold = 0,076, (b) ajuste automático Threshold = 0,039

Para el desarrollo del Algoritmo de reconocimiento del objetivo, se empleó un último elemento de detección, que es el "vision.CascadeObjectDetector" del *toolbox* Computer Vision System de Matlab (Matlab, 2018a; Matlab, 2018b), mismo que está basado en el

algoritmo de Viola Jones para detección facial. Este mecanismo se empleó por encima de otras alternativas existentes, como lo son Eigenfaces, Fisherfaces, entre otros, debido a que es el método que realiza la operación de detección facial de manera más veloz y con resultados satisfactorios los cuales por ejemplo en su investigación original alcanzaron velocidades de hasta 15 fps y una precisión del 77,8% (Viola & Jones, 2001). Esto se da debido a que se basa en el algoritmo Adaboost que emplea clasificadores simples que no requieren mucho costo computacional, que si bien no son muy efectivos por si solos al aplicarse en cascada logran obtener un excelente resultado (Viola & Jones, 2001; Lienhart & Maydt, 2002; Wu et al., 2004).

3. Resultados y discusión

Al ejecutar el programa de simulación en el caso del sistema no lineal, los parámetros de entrada deseados para un primer ejemplo son altura de un metro, *roll*, *pitch* y *yaw* en 45º. Por lo que, se espera que el controlador sea capaz de estabilizar el vuelo del dron a un metro de altura (posición 1). Como se emplea un desplazamiento angular en *yaw* de 45º, el resultado esperado es que el dron gire en torno al eje vertical 45º (posición 2). Además, como se solicita un desplazamiento angular *pitch* de 45º, el resultado esperado es que el dron tome una orientación de 45º en posición de avance, por lo que en los ejes trasladados se espera que el dron sea capaz de continuar a la altura descrita desplazándose en dirección del eje *x*. Finalmente, se define un ángulo *roll* de 45º, el resultado esperado es que el dron se desplace en el sentido del eje *y* al mismo tiempo y con la misma magnitud con la que se desplaza en el eje *x* (posición 3). Por lo que se espera un desplazamiento total resultante en dirección diagonal a 45º en el plano *x y* mientras conserva la altura de 1 metro de manera estable, como se puede observar en la Figura 6.

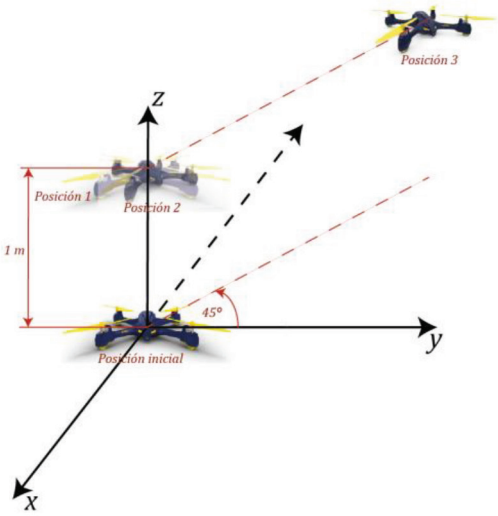


Figura 6 – Resultados esperados de la simulación de vuelo del controlador ante los valores de entrada deseados

Para poner a prueba el controlador diseñado se llevaron a cabo simulaciones donde se comparó el correcto funcionamiento del controlador en los modelos lineal no lineal frente a la trayectoria de vuelo deseada. Donde se visualizó que el comportamiento fue similar, pero difieren en el caso de las variables x y y comparadas en el tiempo, debido a que este controlador no tenía la intención de controlar exactamente las velocidades de x y y del cuadricóptero, sino más bien su altura y orientación de vuelo. Es por esto, que los resultados de los dos modelos son exactamente iguales en las variables a controlar y en ambas simulaciones se obtienen los mismos valores como solución de las ecuaciones diferenciales propuestas, pero desfasadas en el tiempo únicamente para las variables x y y.

Al ejecutar el código de simulación de vuelo los resultados obtenidos mediante la interfaz de Matlab se muestran en la Figura 7.

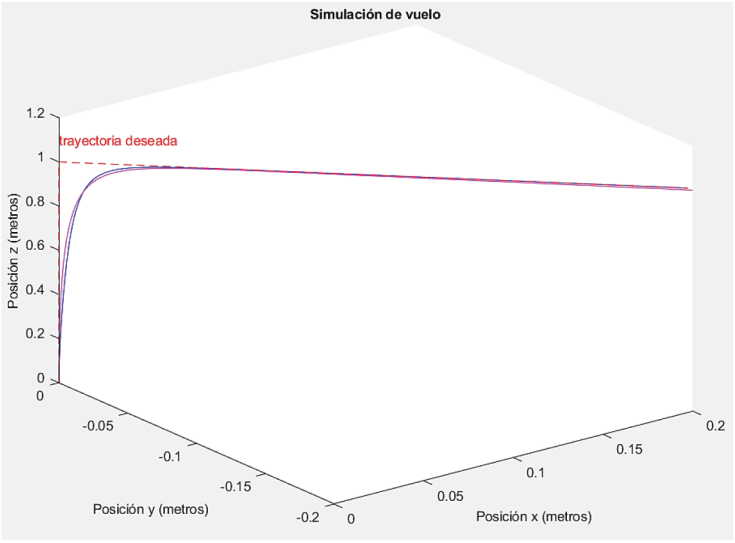


Figura 7 – Simulación de vuelo para el sistema lineal (magenta) y no lineal (azul)

Además mediante las simulaciones efectuadas se pudo apreciar una excelente y veloz respuesta del controlador, ya que en la mayoría de las variables controladas se notó que alcanzan una estabilización, en el valor deseado, en menos 0,5 segundos y todas se estabilizan en menos de un segundo.

Para las pruebas de funcionamiento del algoritmo se empleó la consola virtual Nox Player donde no se tuvieron inconvenientes en ninguno de los ordenadores empleados (Toshiba Satellite S55-C5161 y MSI MS-1799). Por parte del algoritmo de detección se obtuvieron de 1334 a 145 rostros detectados en un intervalo de 10 segundos, lo que implica que se obtuvieron velocidades de detección de 13,4 a 14,5 fps. A su vez, en este

intervalo un total de 14 a 18 rostros no fueron detectados lo que desemboca en una precisión de detección de 87,58% a 90.14%.

Durante las pruebas de funcionamiento del algoritmo en la PC y sincronización se encontró que empleando la PC Toshiba Satellite S55-C5161 se puede realizar la detección de 10 a 15 rostros de manera fluida para el dron Hubsan H507a lo que desemboca en un rango de acciones de control de hasta 60 acciones de control por segundo para las cuatro variables de control (z, *roll*, *pitch* y *yaw*). La Figura 8 muestra un ejemplo de las pruebas realizadas para el algoritmo con el dron aterrizado.

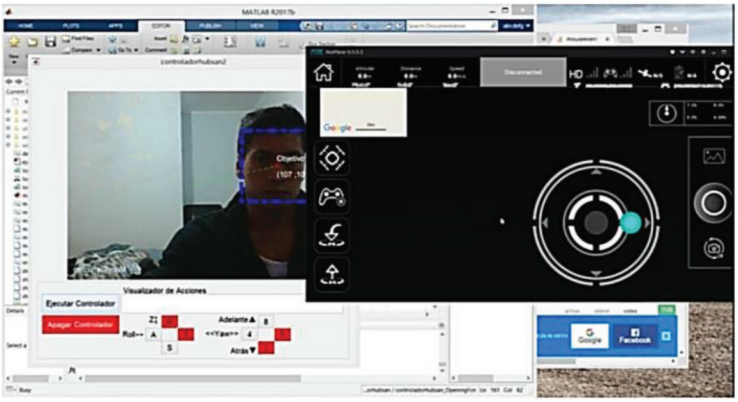


Figura 8 – Resultados de detección y pilotaje del dron obtenidos en las pruebas del algoritmo

De las pruebas realizadas con el dron aterrizado y en vuelo, se evidencia que el uso paralelo del *software* de pilotaje involucra un incremento considerable del costo computacional. En la Figura 10 se visualiza la realización de las pruebas de vuelo efectuadas para el dron HubsanH507a.

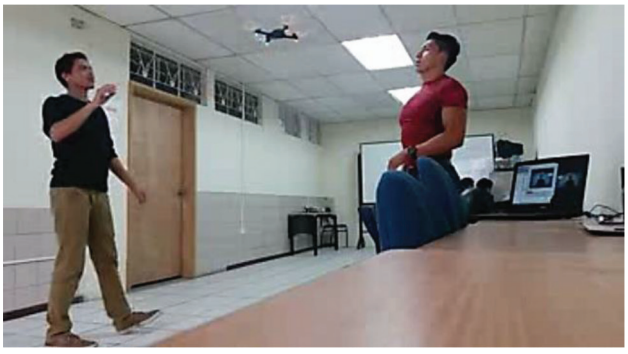


Figura 9 – Resultados obtenidos durante las pruebas de vuelo efectuadas

Para el control de vuelo del cuadricóptero el *software* de pilotaje es manipulado empleando el sistema de visión artificial desarrollado en Matlab mediante el evento de java Robot que simula la pulsación virtual en la pantalla del *software* de pilotaje, de esta manera es capaz de controlar el vuelo del cuadricóptero, como si se tratase de un usuario haciendo *touch* sobre un *smartphone*. Es así que el sistema desarrollado se puede emplear con cualquier software de pilotaje suministrado por los fabricantes de drones comerciales. La estructura del controlador de vuelo se presenta en la Figura 10.

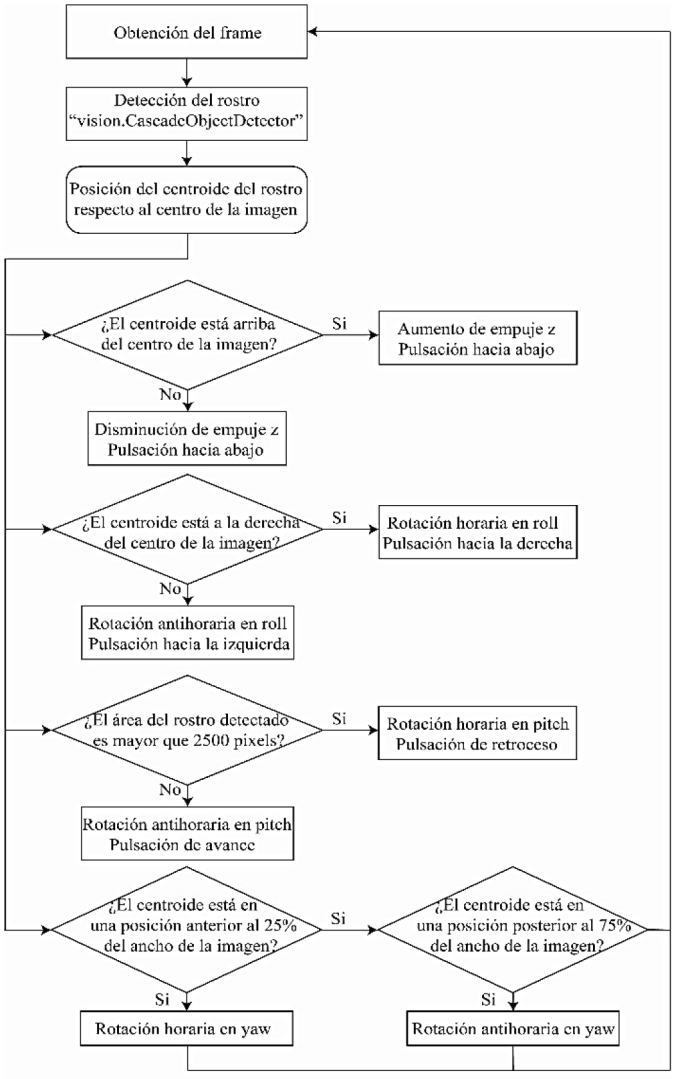


Figura 10 – Control del software de pilotaje mediante el sistema de visión artificial

4. Conclusiones

El desarrollo del algoritmo para el seguimiento y detección de objetivos humanos pudo procesar imágenes con una capacidad de 10 a 30 rostros por segundo, y esto permitió que se ejecuten de 24 hasta 120 acciones de control por cada segundo, concluyendo que el sistema brinda una amplia gama de posibilidades de control para los dispositivos en los que se implementa el sistema de visión artificial.

De las pruebas realizadas con el dron aterrizado y en vuelo, se evidencia que el uso paralelo del *software* de pilotaje involucra un incremento considerable del costo computacional que al emplear las herramientas *vid.FrameGrabInterval, k* y *p*, incluidas en el código del sistema implementado se tiene una considerable disminución del costo computacional y mejora en la fluidez del algoritmo de detección.

La implementación del controlador de vuelo para el dron se pudo realizar a través de técnicas de modelado por espacio de estados, ya que el AR. Drone 2.0 de Parrot cuenta con un procesador a bordo. En el caso de drones comerciales que no cuentan con procesadores como el Hubsan H507a se pudo implementar el controlador a través de estructuras booleanas sincronizadas con el *software* de pilotaje del fabricante, cuyo código fue desarrollado en Matlab.

Mediante el desarrollo del presente proyecto se pudo concluir que el sistema de visión artificial para el reconocimiento de objetivos humanos puede ser implementado en drones comerciales de bajo costo, pudiendo tener sistemas de reconocimiento eficaces a costos asequibles para aplicaciones de investigación e industriales.

Referencias

Banda, H. (2014). *Inteligencia Artificial: Principios y Aplicaciones*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Calderón, M. D. (2014). *Control por visión de un cuadricóptero utilizando ROS* (Tesis de pregrado). Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Díaz, H. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de teleoperación y evasión de obstáculos en un robot móvil mediante el uso del entorno ROS* (Tesis de pregrado). Quito: Escuela Politécnica Nacional.

García, L.R., Dzul, A.E, Lozano, R., & Pégard, C. (2013). Modeling the quad-rotor minirotorcraft. *Quad Rotorcraft Control, Advances in Industrial Control,* 23–24. Londres: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4471-4399-4_2

Lienhart, R., & Maydt, J. (2002). An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection. *IEEE ICIP*, 900-903. DOI: 10.1109/ICIP.2002.1038171

Matlab. (2018a). *Image Processing Toolbox for Using with Matlab*. The Math Works Inc. Natick, MA.

Matlab. (2018b). *Computer Vision Toolbox for Using with Matlab*. The Math Works Inc. Natick, MA.

Moeslund, T. B. (2012). *Introduction to Video and Image Processing: Building Real Systems and Applications*. London: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4471-2503-7

Ottado, G. (2015). Reconocimiento de caras: Eigenfaces y Fisherfaces. *Universidad de la República de Uruguay*. Recuperado de https://eva.fing.edu.uy/file.php/514/ARCHIVO/2010/TrabajosFinales2010/informe_final_ottado.pdf

Passino, K. M. (2015). Intelligent Control: An overview of techniques. Columbus: The Ohio State University. In T. Samad (Ed.). *Perspectives in Control: New Concepts and Applications*, IEEE Press, NJ.

Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Peña, V. E. (2010). *Modelamiento dinámico y control LQR de un Quadrotor*. AVANCES Investigación en Ingeniería.

Peña, A. (2010). *Módulo de visión artificial del robot humanoide HOAP3. Aplicación al seguimiento de objetivos móviles* (Tesis de pregrado). Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

Raffo, G. (2007). *Modelado y Control de un Helicóptero Quadrotor*. (Tesis de Máster). Sevilla: Universidad de SevillA.

Santiaguillo, J., Rosaldo, M. A., & Aranda, E. (2017). Observer-based Time-varying Backstepping Control for Parrot's AR. Drone 2.0. *IFAC-PapersOnLine, 50*(1), 10305–10310. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1497

Smith, L. (2002). A Tutorial on Principal Components Analysis. *University of Otago*. Recuperado de http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf

Sobrado, E. (2003). *Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Turk M., Pentland, A. (1991). Eigenfaces for Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *3*(1), 71–86. DOI: 10.1162/jocn.1991.3.1.71.

Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *IEEE CVPR*. DOI: 10.1109/CVPR.2001.990517

Wu, B., Ai, H., Huang, C., & Lao, S. (2004). Fast rotation invariant multi-view face detection based on real adaboost. *Proc. of Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 79–84. DOI: 10.1109/AFGR.2004.1301512

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 12/11/2018
Aceitação/Acceptance: 11/01/2019

Mean-Variance Mapping Optimization for tuning scaling gains of a fuzzy control applied to a Cart-Inverted Pendulum

Luis Morales[1], David Pozo[2]

luis.moralesec@epn.edu,ec, david.pozo@udla.edu.ec

[1] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[2] Universidad De Las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

Pages:212–226

Abstract: This paper presents the design of a Proportional Derivative (PD) fuzzy controller applied to an inverted pendulum mounted on a cart. The proposed methodology consists in the definition of rules for the controller based on the knowledge of the behavior of the plant. The proposed controller consists of two scaling gains in the input and one in the output, to adjust the response of the system in closed loop (feedback) to stabilize the pendulum in a desired position. The scaling gains are tuned using the Mean-Variance Mapping Optimization (MVMO) algorithm, minimizing a fitness function, in this case, the Integral Square Error (ISE). This performance metric allows knowing how fast the controller takes the system output to the desired reference with the restriction of not saturating the output signal of the controller applied to the cart actuator. The non-optimized and optimized fuzzy controllers are tested through simulations in the complete model of the plant in order to compare the response of both systems.

Keywords: Fuzzy control; optimization; MVMO.

1. Introduction

Cart-inverted pendulum system is a commonly benchmark found in the area of automatic control and in several research literature. This system is used to test the performance of controllers because of its non-linear and unstable behavior without control, that is, the pendulum will fall on the cart if force is not applied to balance it.

There are different techniques for the design of controllers applied to this type of non-linear systems, e.g. those based on model, where the mathematical description of the dynamics of the system is obtained by physical laws. Other method is parametric estimation as the proposed in Morales et al. (2019) based on input and output signals applied and sensed in the plant respectively, however these models are sometimes not exact, or are approximations in which certain details of the real behavior of the system are omitted. Some controllers such as PID (Chang and Shih, 2010; Nour, Ooi, and Chan, 2007), LQR (Vinodh Kumar and Jerome, 2013), SMC (Huang et al. 2010; Mun-Soo Park and Dongkyoung Chwa, 2009), MPC (Magni, Scattolini, and Astrom, 2002) among

others are model-based and have been applied to this system with very good results. However, when the mathematical model of the plant is not available, or it is difficult to obtain, the option of using intelligent controllers appears, which are designed based on the knowledge that an expert has about the plant. One of these controllers is the fuzzy logic controller (FLC) which bases its operation on IF-THEN rules. These rules are taken to the mathematical language by fuzzy logic and based on them a control signal is inferred in a logical way that allows taking the controlled variable to a desired state. In this work, we propose to design a MISO controller (multiple inputs single output). The inputs of the controller corresponding to the error and the error derivative to obtain a controller fuzzy PD, whose inference method used is the Mamdani approach. In the control scheme, two gains have been added for the inputs and one gain at the output, in order to adjust the behavior of the controller and obtain a better performance through the heuristic optimization of these parameters.

Different heuristic optimization methods developed in the field of artificial intelligence such as PSO, AG, EPSO, etc (Eberhart and Yuhui Shi, 2007; Fleming and Purshouse, 2002; Miranda and Fonseca, 1995), have been applied in control systems engineering with very good results in parametric identification also handling restrictions. The literature reports works in which the gains of input to the controller and membership functions are optimized (Campos et al., 2018a; Campos et al., 2018b), however optimizing these functions has a high computational cost due to the considerable quantity of variables to be calibrated. In this work the use of mean-variance mapping optimization algorithm (MVMO) is proposed, which has been in several applications related to the electric field (Erlich et al., 2014; Erlich, Venayagamoorthy and Worawat, 2010; Rueda and Erlich, 2013a, 2013b, 2015a, 2015b; Rueda, Loor and Erlich, 2015; Shouman et al., 2017) presenting very good results with a reduced machine time. The literature does not report the use of MVMO in the field of automatic control, being these the motivation of this work.

The article is organized as follows: Section 2, briefly presents the system model, Section 3, presents the design of the fuzzy controller, Section 4, shows the Mean Variance Mapping Optimization (MVMO) algorithm. In Section 5, the methodology used to find the optimal gains for the controller using MVMO is presented and in Section 6 are shown the simulations of the non-optimized and optimized fuzzy controllers applied to the non-linear Cart-Inverted Pendulum. And finally, Section 7 presents the conclusion of this paper.

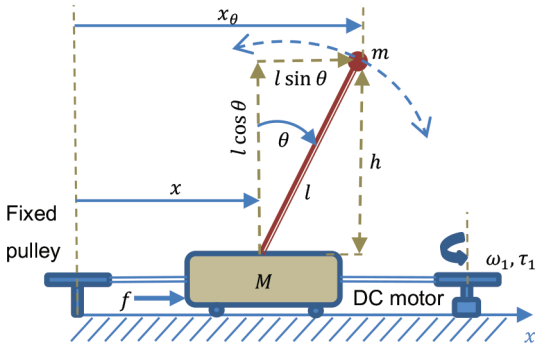


Figure 1 – Cart-inverted pendulum system and pulley mechanism

2. Mathematical model of the system

The complete model is represented by two systems linked by the variable force f. The first system is a mobile cart platform that is attached to an inverted pendulum, which inclination respect to a perpendicular axis reference depends directly to the horizontal movements of the cart. The second system provides the force to move the first one, and it is composed by a DC motor with a pulley system (Fig. 1).

2.1. Cart-inverted pendulum system

In order to describe the dynamic model of the entire system, the Lagrange's equation will be used. It considers a set of generalized coordinates $q = \{q_1, q_2, \dots q_i \dots \dots . q_n\}$, where, each generalized coordinate q_i represents a relationship among different parts of the system. Then, the Lagrange function $\mathcal{L}$ could be stablished by the kinetic energy k and potential energy P, that are according to their generalized coordinates and their derivatives as is shown in (1). The Lagrange's equation is represented in terms of n second differential equations for the n generalized coordinates, where the Q_i represents the applied force according to q_i (2).

$$\mathcal{L} = k(q, \dot{q}) - P(q) \tag{1}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = Q_i \tag{2}$$

To establish the Lagrange's equation to the Cart-inverted pendulum system is necessary to describe their kinematic energy expressions (3) (4).

$$K_M = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 \tag{3}$$

$$K_m = \frac{1}{2} m \dot{x}_\theta^2 + \frac{1}{2} m \dot{h}^2 \tag{4}$$

In (5), (6) are represented the relations among $\dot{h}$, $\dot{\theta}$, θ, $\dot{x}_\theta$ and $\dot{x}$ based on Fig.1.

$$\dot{x}_\theta = \dot{x} + l\dot{\theta}\cos\theta \tag{5}$$

$$\dot{h} = -l\dot{\theta}\sin\theta \tag{6}$$

Therefore, replacing (5) and (6) in (4), the total pendulum kinematic energy is:

$$K_m = \frac{1}{2} m\left(\dot{x}^2 + 2\dot{x} l\dot{\theta}\, cos\theta + l^2\dot{\theta}^2\right) \tag{7}$$

The pendulum potential energy depends of θ and is described as

$$P_m = 2mgh \tag{8}$$

$$P_m = 2mgl\cos\theta \tag{9}$$

The Lagrange function of the system could be stablished as

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}M\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m\left(\dot{x}^2 + 2\dot{x}l\dot{\theta}\cos\theta + l^2\dot{\theta}^2\right) - 2mgl\cos\theta \tag{10}$$

Based on (10) and taken the first generalized coordinate x, the Lagrange's equations for the mobile cart platform is $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{x}}\right) - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial x} = f$. Where $\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial x} = 0$ and the other terms are described as

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{x}} = (M+m)\dot{x} + ml\dot{\theta}\cos\theta \tag{11}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{x}}\right) = (M+m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta}\cos\theta - ml\dot{\theta}^2\sin\theta \tag{12}$$

finally,

$$f = (M+m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta}\cos\theta - ml\dot{\theta}^2\sin\theta \tag{13}$$

In the same way and based on the generalized coordinate θ we have $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{\theta}}\right) - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\theta} = 0$ where,

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{\theta}} = m\dot{x}l\cos\theta + ml^2\dot{\theta} \tag{14}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{\theta}}\right) = m\ddot{x}l\cos\theta - m\dot{x}l\dot{\theta}\sin\theta + ml^2\ddot{\theta} \tag{15}$$

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\theta} = -m\dot{x}l\dot{\theta}\sin\theta + mgl\sin\theta \tag{16}$$

and

$$0 = m\ddot{x}l\cos\theta - m\dot{x}l\dot{\theta}\sin\theta + ml^2\ddot{\theta} + m\dot{x}l\dot{\theta}\sin\theta - mgl\sin\theta \tag{17}$$

$$\ddot{x} = \frac{g \sin\theta - l\ddot{\theta}}{\cos\theta} \tag{18}$$

Finally, replacing (18) in (13) we can rewrite the expression as

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)g \sin\theta - \cos\theta \left(ml\dot{\theta}^2 \sin\theta + f\right)}{l[(M+m) - cos^2\theta]} \tag{19}$$

2.2. DC motor modeling

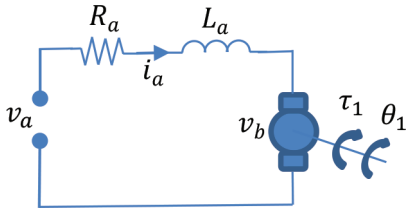


Figure 2 – DC motor electrical scheme

The equations that describe the behavior of the motor in terms of its electrical features Fig. 2, are:

$$i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + v_b = v_a \tag{20}$$

Where $v_b = k_b \frac{d\theta_1}{dt}$, $i_a = \frac{\tau_1}{k_t}$ and $\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{k_t}\frac{d\tau_1}{dt}$

Therefore, we have:

$$\frac{\tau_1}{k_t} R_a + L_a \frac{1}{k_t}\frac{d\tau_1}{dt} + k_b \frac{d\theta_1}{dt} = v_a \tag{21}$$

Where we have the terms $L_a \frac{1}{k_t}\frac{d\tau_1}{dt} \approx 0$, $\frac{d\theta_1}{dt} = \omega_1 = \frac{\dot{x}}{r_1}$ and $\tau_1 = f r_1$. Moreover, r_1 is the radius of the motor's pulley, ω_1 is the angular velocity and τ_1 is the applied torque to generate a force f. Finally, the variable f can be isolated and described as

$$f = \frac{k_t}{R_a r_1}\left(v_a - k_b \frac{\dot{x}}{r_1}\right) \tag{22}$$

To stablish the final model on Simulink, expression (22) is replaced in (19) and can be described as

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)g \sin\theta - \cos\theta \left(ml\dot{\theta}^2 \sin\theta + \frac{k_t}{R_a r_1}\left(v_a - k_b \frac{\dot{x}}{r_1}\right)\right)}{l[(M+m) - cos^2\theta]} \tag{23}$$

3. PD fuzzy controller design

The controller scheme is presented in Fig. 3. A fuzzy PD controller with scaling gains K_p , K_d and K_u is proposed with the objective of improving the behavior of the closed-loop system against reference changes and disturbances.

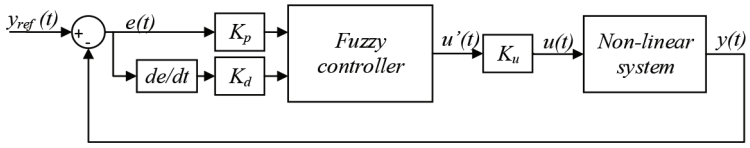


Figure 3 – Fuzzy controller for inverted pendulum with scaling gains K_p, K_d and K_u

Scaling gains are not the only parameters that can be calibrated to improve the performance of the fuzzy control system (Passino, Yurkovich and Reinfrank, 1998), sometimes it is the case that for a given rule-base and membership functions is not possible to obtain the desired performance by tuning only the scaling gains. For example, calibrating the membership functions has high computational cost due to the several numbers of variables involved.

3.1. Membership functions

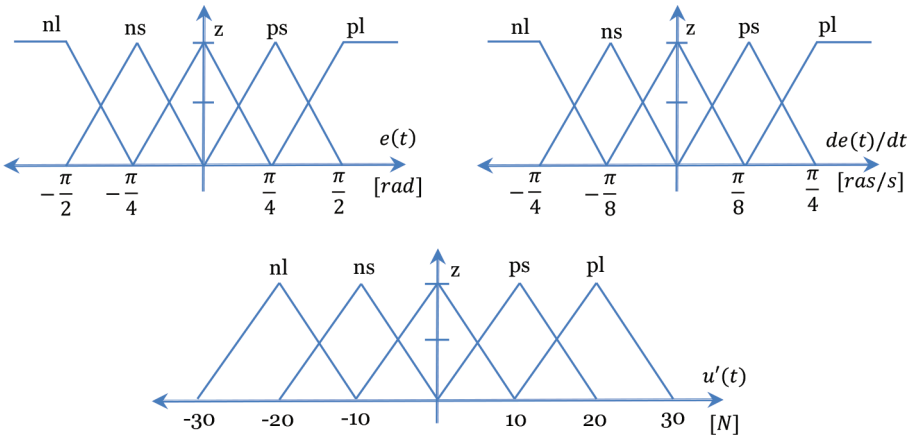


Figure 4 – Fuzzy controller for inverted pendulum with scaling gains K_p, K_d and K_u

The input membership functions initially were set based on the knowledge of the behavior of the non-linear process as is shown in Fig. 4. The universe of discourse for each input are for error $e = \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] [rad]$, for error change $\frac{de}{dt} = \left[-\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right] [rad/s]$ and for the output $u' = [-30,30]\,[N]$.

3.2. Fuzzy Rules for the controller

The if-then rules have been set based on the expertise of the system, we have established 25 which are result from the possible combinations of the membership functions. The rules are shown in Table 1 and summarized in (24).

$$R_n: IF\ e\ is\ i\ and\ \frac{de}{dt}\ is\ j\ THEN\ u'(t)\ \ is\ (i,j) \tag{24}$$

Where $n = 1,2,\ldots,25$; considering $i = nl, ns, z, ps, pl$ for rows and $j = nl, ns, z, ps, pl$ for columns and force $(i,j) = nl, ns, z, ps, pl$.

Force u'		$\frac{de}{dt}$				
		nl	*ns*	*z*	*ps*	*pl*
e	*nl*	pl	pl	pl	ps	z
	ns	pl	pl	ps	z	ns
	z	pl	ps	z	ns	nl
	ps	ps	z	ns	nl	nl
	pl	z	ns	nl	nl	nl

Table 1 – Rule table for the fuzzy controller

4. Mean Variance Mapping Optimization (MVMO)

Mean-variance mapping optimization (MVMO) as well as the genetic algorithms GA and particle swarm optimization PSO, corresponds to the category of "Stochastic optimization techniques based on the population" (Erlich, Venayagamoorthy and Worawat, 2010).

The MVMO is based on selection, mutation and crossing criteria handled by algorithms with evolutionary characteristics. The main difference of the MVMO with respect to other algorithms is the transformation of genes from offspring based on the mean-variance of the *n*-best population also, MVMO is faster than other algorithms because fitness function is valuated once per iteration, obtaining acceptable solutions in a considerable time range. The stages of MVMO are:

4.1. Initialization

The initialization parameters that must be specified are: the size of the population "n", the number of dimensions "m" for the mutation, the number of variables "k" of the problem, the selection method and for the mutation is necessary to set the scaling factor "fs", initial value of the shape factor, "s_d". The initial candidate solution X can be generated randomly. MVMO algorithm requires normalized values of X (between [0,1]). However, in the problem space (objective/fitness function) a denormalization process is required.

4.2. Stop criterion

The algorithm can be stopped by: a specified number of iterations, a desired value of fitness function, or no improvement compared to the fitness functions of the last iterations.

4.3. Dynamic population

MVMO works on a simple concept of pair parent-child with the performance information of the *n*-best individuals placed in the table of solutions. Initially, a minimum of two initial random solutions is necessary. If $n > 2$, the table is completed successively during the iterations in a descending order. Once the table is filled, an update is made only if the fitness of any new solution generated is better than those previously stored. As fitness improves with iterations, members of the population change dynamically. The mean and variance of the variables are calculated after each update of the table in each variable x_i by:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_i(j) \quad (25) \qquad and \qquad v_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(x_i(j) - \bar{x}_i)^2 \quad (25)$$

Where: $j = 1,2,\dots,n$. In the first iteration $\bar{x}_i = x_i$ and variance $v_i = 1$.

Evaluating the best fitness f_{best} is obtained by the father x_{best}, that is the best individual of the table of solutions in that iteration. An offspring $X^{child} = [x_1,\dots,x_k]$, is created through operations based on evolutionary methods.

4.4. Offspring calculation

Three operations are used to create the offspring: selection, mutation and crossover.

Selection: m of k $(m < k)$ dimensions are selected for this operation which is based on several methods, for example: random, moving neighboring groups to the left or right, sequential selection of the first variable and the rest, randomly, for more details see (Erlich, Venayagamoorthy, and Worawat 2010).

Mutation: The values of the selected dimensions m are random from a uniform distribution.

$$x_i^{new} = random(\cdot) \in [0,1] \quad (26)$$

The shape factor s_i is computed using:

$$s_i = -ln(v_i) \cdot f_s \quad (27)$$

Dimensions m of the randomly generated variables are transformed using the mapping function h by:

$$h(\bar{x}_i, s_{i1}, s_{i2}, u_i) = \bar{x}_i(1 - e^{-u_i s_{i1}}) + (1 - \bar{x}_i)e^{(1-u_i)s_{i2}} \quad (28)$$

The new value of each selected dimension x_i is determined using the following equation:

$$x_i = h_x + (1 - h_1 + h_0)x_i^* - h_0 \tag{29}$$

where:

$$h_x = h(u_i = x_i^*), h_0 = h(u_i = 0), h_1 = h(u_i = 1) \tag{30}$$

The vector of the child is evaluated, in case it reflects a better solution than the parent proceeds to reorder the solution file. The mapping function obtained is shown in Fig. 5. (when $s_{i1} = s_{i2}$).

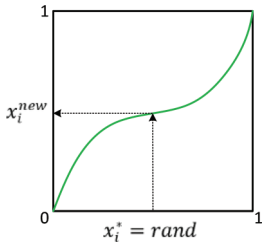


Figure 5 – Mapping function characterized by $\bar{x}_i, s_{i1}, s_{i2}$

By choosing different shape factors, the space to be searched can be controlled by changing the emphasis to the preferred side of the curve around the mean value. To correctly assign the values of the parameters form s_{i1}, s_{i2} the procedure has been proposed (Erlich et al., 2014) :

$$s_{i1} = s_{i2} = s_i$$

$$if\ s_i > 0\ then$$

$$\Delta d = (1 + \Delta d_0) + 2.5\Delta d_0(rand - 0.5)$$

$$if\ s_i > d_i, d_i = d_i \Delta d, else\ d_i = \frac{d_i}{\Delta d}, end$$

$$if\ d_i > s_i\ then:\quad s_a = d_i;\ s_b = s_i$$

$$else:\quad s_a = s_i;\ s_b = d_i$$

$$end\ if$$

$$if\ rand < 0.5\ then:\ s_{i1} = s_a;\ s_{i2} = s_b$$

$$else:\ s_{i1} = s_b;\ s_{i2} = s_a$$

end if

end if

Initially $d_i = 1$ and $\Delta d_0 = 0.1$.

Crossover: For the remaining non-mutated dimensions, the genes of the father x_{best}, are inherited, that is, the values of these unmutated dimensions are clones of the father. The operating flowchart of the MVMO is shown in Figure 6.

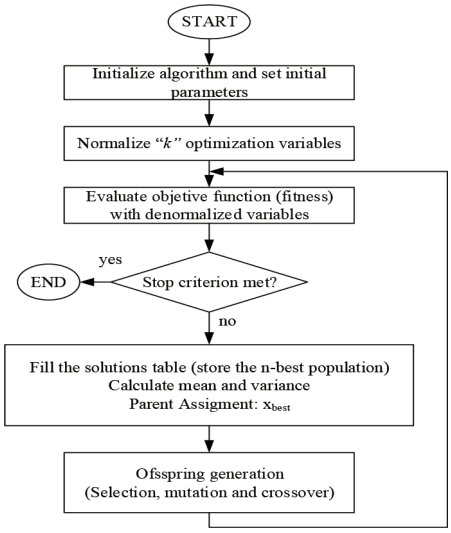


Figure 6 – Flowchart of MVMO

5. Optimization of the PD fuzzy controller by MVMO algorithm

The objective of optimizing the parameters of the controller is to improve the performance of the system based on a certain criterion, in this case the Integral Square Error (ISE), which is calculated using (32), and corresponds to the performance index that allows know how fast the output of the system reaches the desired value.

$$ISE = \int \left(y_{ref}(t) - y(t)\right)^2 dt = \int e^2(t)\, dt \tag{31}$$

A minimum ISE implies that the system converges to the set point quickly (the error goes to zero faster), what causes that the system reaches the set point in the shortest time despite the disturbances. So, we want to minimize that parameter. In Fig. 7. is shown the scheme used for the fitness function (ISE) minimization in the control loop, considering the restriction of not exceeding the threshold of the control action applied to the plant to avoid saturating the controller output.

The restriction to be considered in this system is related to the output $u(t)$, and corresponds to the signal injected to the plant, based on the proposed model the maximum voltage value that the DC motor that moves the cart is $u(t) \leq 15V$.

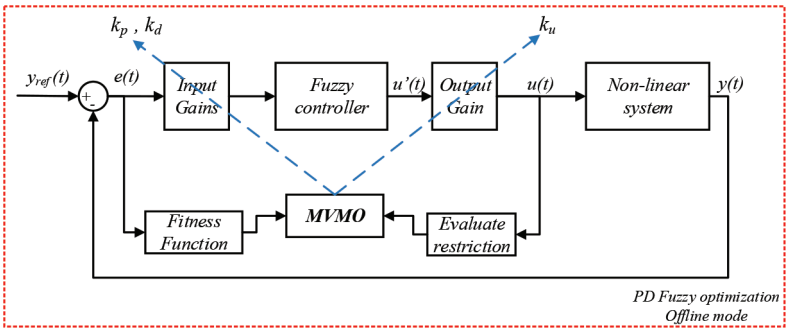


Figure 7 – Offline optimization of the fuzzy controller gains

6. Simulation and Results

To validate the proposed method, the complete model of the Cart-Inverted Pendulum is used. Then, the comparative analysis is performed between PD fuzzy (calibrated by us looking for a good response, without exceeding the restriction of $u(t)$ and decreasing the ISE), and Optimal PD fuzzy (calibrated by MVMO). And finally, after the calibration, both controllers are tested adding a perturbation to the pendulum to verify if the restrictions are satisfied and the controllers are able to stabilize the system. The parameters of the plant are shown in Table 2.

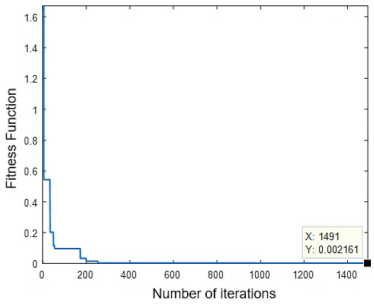
M[Kg]	m[kg]	l[m]	g[m/s²]	k_t[Nm/A]	k_b[Vs/rad]	r_t[m]	R_a[Ω]
0.8	0.35	0.3	9.8	0.014	0.014	0.04	1.00

Table 2 – Cart-Inverted Pendulum parameters

The initial parameters for the optimizer have been configured as follows $k = 2$, $ini\,t_{population} = 50, n = 5, fs = 1, k_p = [0\ 20], k_d = [0\ 10], k_u = [0\ 10]$ ([min max] values).

Fig. 8., shows the values of the constants calibrated by trial and error and by the MVMO and the evolution of the values of the fitness function.

The system responses when the pendulum is stabilized at the desired position without disturbance are shown in Figure 9, and Figure 10. shows the response of the closed loop system when a disturbance of $10[N]$ is applied to the cart at time $t = 3[s]$.



Calibration	k_p	k_d	k_u	*ISE*
Trial and Error	15.700	0.030	0.733	3.77×10^{-3}
MVMO	14.273	0.153	0.749	2.16×10^{-3}
Δ%				53.78%

Figure 8 – (a) Fitness function evolution, (b) Values of the scaling gains

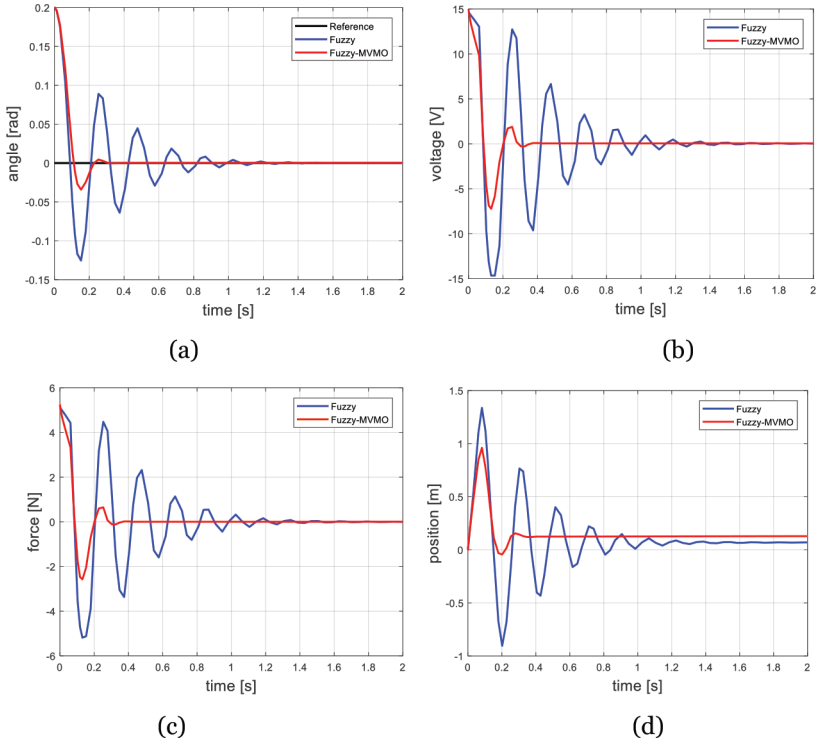


Figure 9 – System without disturbance: (a) Pendulum angle response, (b) control action, (c) applied force, (d) cart position response

The offset in the position of the cart is given by the movement produced to stabilize the pendulum, and because this is not a variable to set in a reference, we do not want the car to remain in zero position.

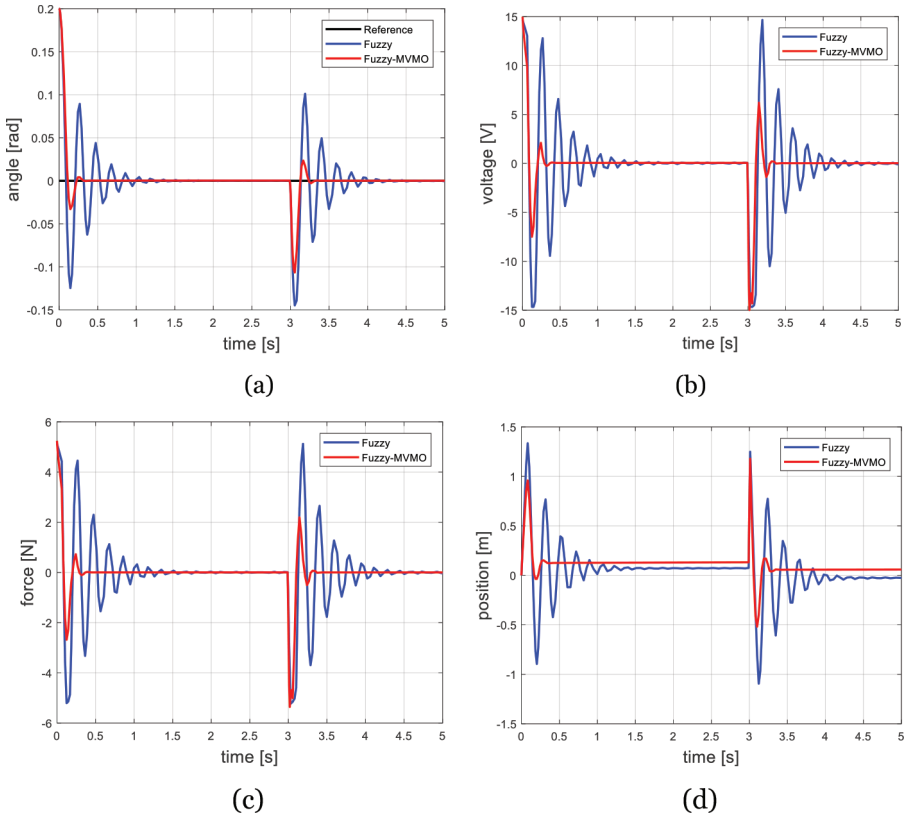


Figure 10 – System with disturbance: (a) Pendulum angle response, (b) control action, (c) applied force, (d) cart position response

The controller optimized by MVMO has the best performance and it is evident that in both cases it has the lowest ISE, that is, the best result when the controller takes the pendulum to the desired reference in in the presence or absence of disturbances. The disturbance applied to the plant is of considerable magnitude, however in both cases the controller acts appropriately. The tests carried out show that both the controller and its optimization allow a better performance of the system.

7. Conclusion

In this paper, an optimal fuzzy PD controller was designed to stabilize the Cart-Inverted Pendulum. The controller has an acceptable performance calibrated by trial and error (heuristics), however, the calibration performed through the MVMO has allowed us to observe that the results are quite good, improving the performance of the closed-loop system by up to 50%, with a low computational cost since in each iteration only

one simulation is performed at a time, being this, one of the most powerful features of the algorithm. Although the calibration performed by trial and error is good, a lot of time is wasted trying to comply with the restriction of $\boldsymbol{u(t)}$, which in turn does not meet optimality criteria, so using the MVMO algorithm is a good alternative for tasks of scaling gains tuning.

References

Campos, J., Jaramillo, S., Morales L., Camacho, O., and Chavez, D. (2018). PD + I Fuzzy Controller Optimized by PSO Applied to a Variable Dead Time Process. In *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, IEEE, 1–6.

Campos, J., Jaramillo, S., Morales L., Camacho, O., and Chavez, D., et al. (2018). PSO Tuning for Fuzzy PD + I Controller Applied to a Mobile Robot Trajectory Control. In *2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, IEEE, 62–68.

Chang, Wei Der, and Shun Peng Shih. (2010). PID Controller Design of Nonlinear Systems Using an Improved Particle Swarm Optimization Approach. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 15*(11), 3632–39.

Eberhart, and Yuhui Shi. (2007). Particle Swarm Optimization: Developments, Applications and Resources. In *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.01TH8546)*, IEEE, 81–86.

Erlich, I., J. Rueda, S Wildenhues, and F Shewarega. (2014). Solving the IEEE-CEC 2014 Expensive Optimization Test Problems by Using Single-Particle MVMO. *Proceedings of the 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2014*, 1084–91.

Erlich, I, G Venayagamoorthy, and N Worawat. (2010). A Mean-Variance Optimization Algorithm. *2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, WCCI 2010 - 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2010*, 1–6.

Fleming, P.J, and R.C Purshouse. (2002). Evolutionary Algorithms in Control Systems Engineering: A Survey. *Control Engineering Practice,* 10(11), 1223–41. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967066102000813.

Huang, Jian et al. (2010). Sliding-Mode Velocity Control of Mobile-Wheeled Inverted-Pendulum Systems. *IEEE Transactions on Robotics,* 26(4), 750–58.

Magni, L, R. Scattolini, and K. J Astrom. (2002). Global Stabilization of the Inverted Pendulum. *15th IFAC World Congress*: 590–590.

Miranda, V., and N. Fonseca. (1995). EPSO-Evolutionary Particle Swarm Optimization, a New Algorithm with Applications in Power Systems. In *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, IEEE, 745–50.

Morales, L., Camacho, O., Chávez, D., and Aguilar, J. (2019). An Evolutionary Intelligent Approach for the LTI Systems Identification in Continuous Time. In *Technology Trends*. Cham: Springer International Publishing.

Mun-Soo Park, and Dongkyoung Chwa. (2009). Swing-Up and Stabilization Control of Inverted-Pendulum Systems via Coupled Sliding-Mode Control Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* 56(9), 3541–55.

Nour, M. I. H., J. Ooi, and K. Y. Chan. (2007). Fuzzy Logic Control vs. Conventional PID Control of an Inverted Pendulum Robot. In *2007 International Conference on Intelligent and Advanced Systems*, IEEE, 209–14.

Passino, Kevin M., Stephen. Yurkovich, and Michael. Reinfrank. (1998). *Fuzzy Control*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.

Rueda, J., and I. Erlich. (2013a). Hybrid Mean-Variance Mapping Optimization for Solving the IEEE-CEC 2013 Competition Problems. *2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2013*, 1664–71.

Rueda, J., and I. Erlich. (2013b). Optimal Dispatch of Reactive Power Sources by Using MVMOs Optimization. *IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid, CIASG,* 0(1), 29–36.

Rueda, J., and I. Erlich. (2015a). MVMO for Bound Constrained Single-Objective Computationally Expensive Numerical Optimization. *2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2015 - Proceedings*, 1011–17.

Rueda, J., Loor, R. and I. Erlich. (2015). MVMO for Optimal Reconfiguration in Smart Distribution Systems. *IFAC-PapersOnLine,* 48(30), 276–81.

Rueda, J, and I Erlich. (2015b). Testing MVMO on Learning-Based Real-Parameter Single Objective Benchmark Optimization Problems." *2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2015 - Proceedings*, 1025–32.

Shouman, Noha, Y. G. Hegazy, Gerhard Krost, and Walid A. Omran. (2017). Mean Variance Mapping Optimization for Solving Economic Load Dispatch Problem. *2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017.*

Vinodh K., E., and Jovitha J. (2013). Robust LQR Controller Design for Stabilizing and Trajectory Tracking of Inverted Pendulum. *Procedia Engineering, 64*, 169–78.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 16/12/2018
Aceitação/Acceptance: 03/02/2019

Management of educative data in university students with the use of big data techniques

William Villegas-Ch.[1], Xavier Palacios-Pacheco[2], Iván Ortiz-Garcés[3], Sergio Luján-Mora[4]

william.villegas@udla.edu.ec, xpalacio@uide.edu.ec, ivan.ortiz@udla.edu.ec, sergio.lujan@ua.es

[1-3] Universidad de Las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

[2] Universidad Internacional del Ecuador, 170411, Quito, Ecuador.

[4] Universidad de Alicante, 03080, Alicante, España.

Pages:227–238

Abstract: The large volumes of data that exist in the universities keep important information of each student. Analyzing this data represents a challenge for data scientists due to the number of resources they consume. Many of the universities do not have the capacity of infrastructure as well as human resources to do it for this reason they desist from the analysis of data depriving themselves of generating knowledge about their students. The range of sensors that generate data in a university is so wide that doing an analysis of data through a traditional method such as business intelligence does not provide accurate results and their response times are not as expected. This work proposes the use of big data techniques in a university to obtain accurate results in real time that will help in making decisions improving education and learning.

Keywords: big data; Hadoop; analysis of data.

1. Introduction

Universities, like companies with their clients, make decisions for their students based on the data they have about them. However, this process increasingly requires methods that allow an analysis of the data superior and that the results appear at appropriate times. This does not mean that the universities have not already been doing work on the data and getting knowledge. The problem lies in the large volume of data generated from student activities that greatly exceed the capabilities of classical analysis platforms such as business intelligence (BI). The variety of sources and that these do not respond to a strictly structured data model leads to the search for other alternatives, as well as concepts in data analysis (Cheng & Cheng, 2011).

One of these alternatives and that is marked, as a trend in the analysis is the use of big data. These platforms offer alternatives for the treatment of data and that obtaining knowledge is more flexible, with lower costs and in shorter times. For example, in a common and very important analysis for universities is to detect and classify students who have learning problems and which leads to high dropout rates. With the use of

business intelligence and data mining it can be done, however, many data that are not structured are left aside (Villegas-Ch, Lujan-Mora & Buenano-Fernandez, 2018). The experience in the management of these tools suggests that the greater the sources considered in the analysis closest to reality are the results. These unstructured sources usually come from the students' navigation log, their Internet searches, and their interaction in social networks. All this data is impossible to leave out since the use of information and communication technologies (ICT) are an active part of the students (Li, Zhang & Wang, 2013). Being able to draw trends or determine the best way to learn from a student benefits all the components within an educational environment.

This paper considers the use of big data as an alternative to data analysis of a university where there are great diversity sources. The purpose is to consider the steps that an institution should consider to include in its processes the integration of these tools, as well as the use of the Hadoop framework as a manager in the analysis of data. The work is divided as follows: section 2 presents the concepts used for the development of the method; section 3 contains the method where the different phases to be considered for the implementation of a big data platform is established; section 4 presents the conclusions found in the development of the work.

2. Preliminary concepts

2.1. Big data

Big data is the massive data analysis, an amount of data, so large, that traditional data processing software applications are not able to capture, process and present results in a reasonable time (Shah, Soriano, & Coutroubis, 2017). Big Data was born with the aim of covering needs not met by existing technologies. In education, it can have an important impact on teachers, school systems, students and curricula. The analysis of big data can identify students at risk, ensure that students have adequate progress and can implement a better system for the evaluation and support of teachers and principals (Villegas-Ch et al., 2018). To comply with this process, big data techniques work in the storage and processing of large volumes of data that have specific characteristics such as:

- Volume refers to the size of the data that can come from multiple sources.
- Speed defines the speed with which the data arrive using units such as tera, peta or exabytes.
- Variety, we speak of data, structured, Semi-structured, Unstructured.

2.2. Data sources

The information available in universities has grown exponentially due to the inclusion of ICT in education (Cong & Xiaoyi, 2009). The data of this interaction is stored in multiple data sources that support academic management. Next, the following stand out:

- Produced by people. Send an email, write a comment on Facebook, answer a survey, enter information in a spreadsheet, use the learning management systems (LMS) and click on an Internet link. These actions, which are basic and carried out on a daily basis, represent an immense source of data.

- Between machines. The machines share data directly; this action is known as machine-to-machine (M2M). Thus, the parking meters mobile phones, vending machines for drinks and food in the university, to put a few examples, communicate through devices with other machines (Datta & Bonnet, 2014). The transmitted data is stored in different repositories. The communication networks to carry out these actions are very varied. Among the best known are Wifi, ADSL, fiber optics and Bluetooth.
- Biometrics. The data may originate from fingerprint sensors, retinal scanners, DNA readers, face recognition sensors or speech recognition. Its use is common in terms of safety in all its variants.
- Web marketing. All movement in the network is subject to all types of measurements that have marketing studies and behavioral analysis. With the analysis of these data, one can conclude the trends of each student (Bengel, Shawki, & Aggarwal, 2015). For example, the websites most accessed by students or places where they spend more time.

2.3. Type of data

In addition to their origin, the data can have classified into three classes according to their structure: Unstructured data types: documents, videos, audios, etc.; semi-structured data types: software, spreadsheets, reports; types of structured data. Only a small percentage of the information is structured and that can cause many errors if a data quality process is not applied (Gubanov, Stonebraker & Bruckner, 2014).

3. Method

The university that participates in this study stores a large amount of data. The majority of this data comes from the activities carried out by students in the LMS, academic management systems and sensors located in the university facilities. The sensors acquire and store all kinds of information about the activities that students perform within the university. This information in conjunction with all systems that are responsible for academic management can promote an important redesign in the learning methods used today.

When a big data process is included for the first time in a university it is important to generate working groups that prepare all the actors for the future change. The characteristic of this change is that the main value of big data does not come from the data in its raw form, but from its processing and analysis and from the insights, products, and services emanating from the analysis (Laigner et al., 2018). Radical changes in technologies and management methods are similarly dramatic changes in the way data supports decisions and innovation in products/services.

3.1. Phases of big data

The analysis prior to the implementation of a big data model is to determine the budget allocated during the process and the resources that will intervene considering the following parameters (Mohammed, Humbe & Chowhan, 2016):

- Managers are the sponsors, project managers, coordinators and quality managers immersed in an educational environment.
- Designers and data architects have technical profiles with clear objectives regarding the implementation of the project.
- Implementers, is the qualified personnel, analysts and developers, with knowledge of the sector and technology.
- Data operators are the analysts in charge of data at the entry, intermediate and result level.

Once the budget is determined, it passed to the design phase according to the needs of the university and it optimized considering the cost, the scalability and the different options of the market. It consists of two stages:

- Infrastructure, are networks, computers or servers, that is, the physical support of the solution.
- Architecture is the logical support of the solution, formed by protocols, communications or procedures.

For the implementation of the big data model in addition to the phases indicated, it is important to define aspects such as administration, maintenance, and security. The steps, for this, are:

- Installation of servers, components and start-up of the infrastructure.
- Configuration of the infrastructure for its correct functioning.

Figure 1 shows the phases that allow the execution of big data where two processes are considered. The first process is the engineering of big data that is composed of the acquisition and preparation of data (Chen, Mao, & Liu, 2014). The second process is the big data analytics, which consists of analyzing the data, reporting and acting.



Figure 1 – Phases of execution of big data

3.2. Acquisition (big data engineering)

The first step in the application of big data in a university environment is to understand where the data comes from (Arruda & Madhavji, 2017). For which, the selection of sources considers three categories that fit this type of environment:

- Streaming data. It includes data that reaches the ICT systems of a network of connected devices. The data is analyzed as they arrive, this process determines which data to keep and which requires a deeper analysis.
- Social media data. Social interaction data is an attractive set of information, particularly for marketing, academic monitoring, and support functions. These data often have unstructured or semi-structured formats, so they present a unique challenge when it comes to consumption and analysis.
- Fonts machine to machine. The data of the different sensors contribute to the process identifying tendencies, places and times of permanence of the students in the university.

3.3. Preparation (big data engineering)

For the preparation of the data, certain guidelines are considered that make it possible to take full advantage of the information. The clarity in the guidelines supports the preparation of the data, the amount of data considered and how to use the knowledge discovered.

Raw data extracted directly from the sources are never in the format needed to analyze them. To solve the problem, it is important to prepare the data by applying two main objectives (Taleb & Serhani, 2017). The first is to purge the data to address data quality problems, and the second to transform the raw data to adapt it to the analysis.

The refinement identifies the erroneous data, corrects them or eliminates them; this process allows to improve the data and to consider only those that present a certain level of quality. There are quality problems with data from applications that are in production that include inconsistent data, duplicate records, missing data, etc. For example, the address of a student registered in two different places. This is an example of records that do not match; the lack of demographic data, unavailable values such as lack of a student's age, invalid data. For example, a telephone number, and outliers that cause values to be much higher or lower than expected. The quality problems in the data are solved by detection and correction of errors. In the correction, there are several methods; all depend on a previous analysis that allows applying to correct them. One of these methods is the elimination of records with unavailable values. Another method is to combine the duplicate records presenting unique and validated information.

The correction of the invalid values is made by replacing these values with the best estimate of a fair value. For example, for a missing value in the field of a student's age, the semester the student attends is estimated as a fair value. Outliers can have deleted as long as they are not important for the analysis. An effective process in the correction of errors implies having the clear knowledge of the application (Sehgal & Agarwal, 2016). For example, how the data has been collected, the population and the intended use of the application. This knowledge of the domain is essential to make decisions about how to handle incomplete or incorrect data.

The second part of the data preparation is to manipulate the purified data to convert it to the format needed for the analysis (Londhe & Rao, 2017). Some operations in this phase include scaling, transformation, feature selection, dimensionality reduction, and data manipulation.

- Scaling involves changing the range of values so that it is within a specific range, such as from zero to one. This is done to prevent certain features with large values from dominating the results.
- The transformation in the data eliminates noise and variability. The result of the transformations are considered as aggregate data. Adding data to the process results in a decrease in variability, which helps the analysis.
- The selection of data involves the elimination of redundant or irrelevant features, the combination or creation of new features. During the data exploration phase, it is possible to discover that some characteristics are correlated. In this case, it is possible to eliminate one of the characteristics without adversely affecting the results of the analysis.
- The reduction of dimensionality is useful when the data set has a large number of dimensions. The reduction allows finding a smaller subset of dimensions that captures most of the variation in the data.
- The manipulation is a way to verify that the raw data is in the correct format for the analysis. For example, from samples that record semi-annual changes in student grades, it is possible to capture changes in student performance for a given cycle. With this information, they can be grouped and calculate the mean, range and standard deviation for each group.

The preparation stage includes the socialization of the solution to the different departments responsible for the educational management and obtains the relevant authorizations to be able to carry it out. This stage includes:

- Detect the needs, have to do with the volume of data to be stored, its variety, the speed of collection, processing, and horizontal scalability. This process also reveals shortcomings when confronting the new technology with the existing one in the university.
- Justify the investment, big data improves the identification of both academic and technical problems and this by creating a high-performance environment that enables cost savings and improvement in academic quality.
- Evaluate the limitations; consider the infrastructure, technological maturity, resources, even the legal aspects in relation to data privacy.

3.4. Analysis (analytics of big data)

Data analysis involves constructing a model from the input data using an analysis technique to generate the output data (Eluri et al., 2016). There are different types of problems and different types of analysis techniques such as classification, regression, clustering, association analysis, and graphical analysis (Agnihotri & Sharma, 2015).

- The classification predicts the category of the input data. For example, predict the possible problems that a student encounters in the development of mathematical exercises.
- The regression predicts a numerical value instead of a category. For example, the prediction of the qualification of a questionnaire. The rating is a numerical value, not a category, so it is a regression task instead of a classification task.

- Clustering is organizing similar elements in groups. For example, group the base of students in different segments to recommend activities in such a way that learning is more effective.
- The association consists of developing a set of rules to capture associations within elements or events. Rules are used to determine when elements or events occur at the same time. For example, the association analysis may reveal that students who have good grades also tend to be interested in extracurricular activities.
- Graphical analysis to analyze data occurs when there is a large number of entities and connections between these, as in social networks. For example, in the graphic analysis, it may be useful to study the performance of a student over a period.

3.5. Reports (analytics of big data)

The potential of Big Data lies in the analysis and in converting the data into relevant information. Here comes into play the use of different techniques such as data mining and methodologies based on machine learning. These techniques and methodologies are those that can extract the true value to the information (Cao & Gao, 2018). The reports and the way in which the information is presented manage to complete the transformation of the commercial model created in previous phases into one or more representations of specific data of the university. Once the reports are obtained and with the complete modeling, it is necessary to evaluate and validate the results. The evaluation of the results depends on the type of analysis techniques used. For example, to get an idea of the model's performance with the data, it is evaluated based on questions such as:

- Is it necessary to perform the analysis with more data in order to obtain a better performance of the model?
- Does it help to use different types of data?
- Is it difficult to distinguish students with different needs in the results of clustering?
- Does adding the zip code to the input data help generate more granular student segments?
- Do the results of the analysis suggest a more detailed view of some aspects of the problem?

For example, the prediction of the percentage of students who pass mathematics gives good results, but the predictions of the results in the subject of calculation are not good. In the second case, the samples of the academic activities in the matter of calculation need deeper analysis. The factors that influence the results can be as diverse as for example; the existence of anomalies in the sample or the need to include additional data to fully capture the students' performance. What is sought is that the model is effective with respect to the success criteria defined at the beginning of the project. In this case, communication and action must be prepared on the results obtained in the analysis.

3.6. Decision making (analytics of big data)

The decision making works in tandem with the previous phase since after the analysis the conclusions come to carry out actions and make decisions. The final goal of data

analysis is to execute new strategies that improve academic management and student learning. The premise is that the analysis is in real time and as quickly as possible. The results obtained in the analysis convert the raw data into "actionable knowledge". For an adequate and understandable management of the different areas, it is necessary to integrate visualization tools that conceive the reality of the study environment or be able to predict the future.

3.7. Data management with Hadoop

For data management, considering the different existing sources it is important to use tools capable of carrying out the process at the appropriate times. For this work, Hadoop is used as an open source framework to store data and run applications in clusters. Provides massive storage for any type of data, enormous processing power and the ability to process virtually unlimited concurrent tasks or works (Mazumdar & Dhar, 2015).

The architecture of Hadoop allows carrying out an effective analysis of large volumes of data, adding a value helps to make strategic decisions, to improve educational processes. This architecture allows to monitor what the students think or to draw scientific conclusions about the learning problems presented by different groups of students. With Hadoop, universities can explore complex data through customized analysis tailored to their students and needs.

The architecture of Hadoop is composed of three fundamental pillars that make it a versatile tool, flexible and fault tolerant. Its pillars are a distributed file system, called HDFS for its operation. The Hadoop engine consists of a MapReduce job scheduler, as well as a series of nodes responsible for executing them (Bhandarkar, 2010). A set of utilities that make possible the integration of subprojects.

On the file system is the MapReduce engine, which is a job scheduler, called JobTracker that is responsible for sending jobs to the nodes. MapReduce sends the incoming workflow to the TaskTracker nodes available in the cluster that are responsible for executing the map functions and reduces in each node. The planner keeps those jobs as close to the machine that has issued that information as possible. If the work cannot be located in the current node in which the information resides, the nodes in the same rack are given priority. This allocation reduces network traffic on the cluster's core network. If a TaskTracker fails or suffers a waiting time, that part of the work is reprogrammed. Hadoop responds to a master-slave structure where the JobTracker is located in the master while there is a TaskTracker for each slave machine as shown in Figure 2. The JobTracker records the pending jobs that reside in the file system. When a JobTracker starts, it looks for that information, so that it can start the work again from the point where it was left.

The Hadoop file system (HDFS) handles two fundamental elements in the architecture: The NameNode and the DataNode. The NameNode is only found in the master node and is responsible for keeping all the stored data indexed. That is, the application needs specific information about the location of the data. The NameNode is found in the slaves and is responsible for storing the data.

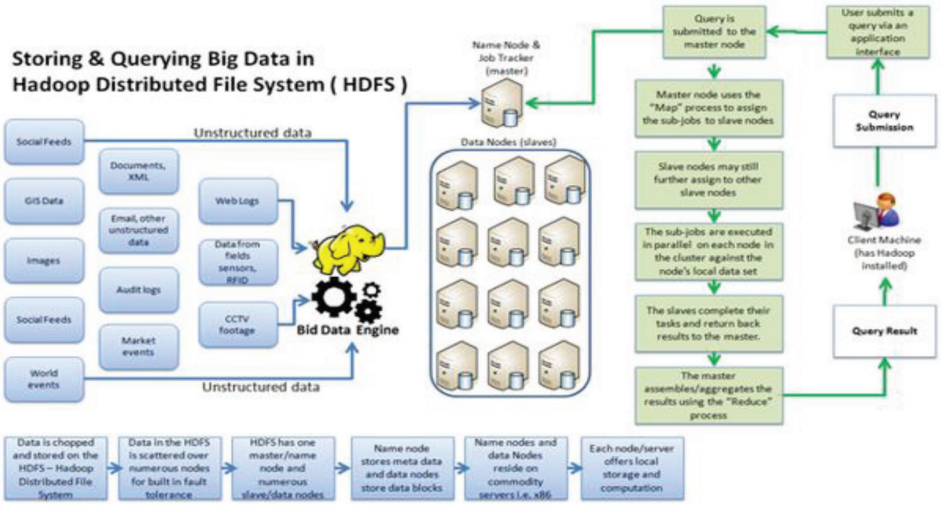


Figure 2 – Hadoop architecture (Ticout Outsourcing Center, 2013)

3.8. Hadoop MapReduce

Hadoop provides an execution environment oriented to applications developed under the MapReduce programming paradigm (Merla & Liang, 2017). Under this model, the execution of an application presents two stages:

- Map: where ingestion and transformation of the input data takes place, in which the input registers are processed in parallel.
- Reduce: aggregation or summary phase, where all the associated records are processed by the same entity.

The main idea, on which the Hadoop MapReduce execution environment revolves is that the entry is divided into fragments and, each fragment, is treated independently by a map task. The results of processing each fragment are physically divided into different groups. Each group is sorted and goes to a task reduced.

The execution cycle of an application in Hadoop is shown schematically. The developer only provides four functions to the Hadoop framework: the function that reads the input records and transforms them into tuples (RecordReader), the map (Mapper) function, the reduce (Reducer) function, and the function that transforms the pairs generated by the function reduces in output registers (RecordWriter).

3.9. Application cycle

The execution of an application in Hadoop consists of the presentation of the application, the generation of the ApplicationMaster for the application and the execution of the application managed by the ApplicationMaster. For example, a client program sends the request, including the necessary specifications to launch the application ApplicationMaster itself. The ResourceManager assumes the responsibility

of negotiating a container in which the ApplicationMaster must start, and then executes the ApplicationMaster. The ApplicationMaster, once started, is registered with the ResourceManager.

The registry allows the program to consult details of the resources to the ResourceManager. During normal operation of the execution, the ApplicationMaster negotiates containers of appropriate resources through the resource protocol. When the container assignment is satisfactory, the ApplicationMaster launches the container, providing the specifications of the container execution to the NodeManager. The execution information, in general, includes the necessary information to allow the container to communicate with the same ApplicationMaster.

The code of the application that runs inside the container provides the necessary information (progress, status, etc.) to your ApplicationMaster through a specific protocol of the application. During the execution of the application, the client that presented the program communicates directly with the ApplicationMaster to check the status, progress updates, etc. Through a specific protocol of the application. Once the application is completed and all work is completed, ApplicationMaster cancels the registration with the ResourceManager and closes, allowing the container to be reused for another application (Verma & Pandey, 2016).

4. Conclusions

This work is a detail of the steps that must be followed for the application of a big data platform. This method is in the testing phase where a large amount of data from different types of sources has been added. The exercise before going to production requires the comparison of results and the evaluation of all phases. So far it has not been possible to perform the evaluation because Hadoop needs deep knowledge in Java to be able to correctly integrate structured data. However, it has been possible to carry out tests in the different phases and the speed of processing, as well as the high savings in infrastructure, are details that allow us to continue with the investigation.

Several methods and models help the implementation of big data in a university institution. The first and most important step in the process is the location, analysis and data cleansing, this has taken more than 60% of the project's execution time.

Having a tool that allows knowing the students' tendency and the way they learn in a university environment is necessary for decision making. It must be borne in mind that in order to carry out this analysis what data scientists are looking for is that there is no ambiguity in the data. For this reason, consider the data that students generate in their normal activities without these being the results of surveys or questionnaires where the answers can be biased, it is an advantage over traditional data analysis platforms.

References

Agnihotri, N., & Sharma, A. K. (2015). Proposed algorithms for effective real time stream analysis in big data. In *2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP)* (pp. 348–352). IEEE. DOI: 10.1109/ICIIP.2015.7414793

Arruda, D., & Madhavji, N. H. (2017). Towards a requirements engineering artefact model in the context of big data software development projects: Research in progress. In *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 2314–2319). DOI: 10.1109/BigData.2017.8258185

Bengel, A., Shawki, A., & Aggarwal, D. (2015). Simplifying web analytics for digital marketing. In *2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 1917–1918). IEEE. DOI: 10.1109/BigData.2015.7363968

Bhandarkar, M. (2010). MapReduce programming with apache Hadoop. In *2010 IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing (IPDPS)* (p. 1). IEEE. DOI: 10.1109/IPDPS.2010.5470377

Cao, R., & Gao, J. (2018). Research on reliability evaluation of big data system. In *2018 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA)* (pp. 261–265). IEEE. DOI: 10.1109/ICCCBDA.2018.8386523

Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big Data: A Survey. *Mobile Networks and Applications*, *19*(2), 171–209. DOI: 10.1007/s11036-013-0489-0

Cheng, L., & Cheng, P. (2011). Integration: Knowledge Management and Business Intelligence. In *2011 Fourth International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering (BIFE)* (pp. 307–310). IEEE. DOI: 10.1109/BIFE.2011.172

Cong, P., & Xiaoyi, Z. (2009). Research and Design of Interactive Data Transformation and Migration System for Heterogeneous Data Sources. In *2009 WASE International Conference on Information Engineering (ICIE)* (pp. 534–536). IEEE. DOI: 10.1109/ICIE.2009.222

Datta, S. K., & Bonnet, C. (2014). Smart M2M Gateway Based Architecture for M2M Device and Endpoint Management. In *2014 IEEE International Conference on Internet of Things(iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing(CPSCom)* (pp. 61–68). IEEE. DOI: 10.1109/iThings.2014.18

Eluri, V. R., Ramesh, M., Al-Jabri, A. S. M., & Jane, M. (2016). A comparative study of various clustering techniques on big data sets using Apache Mahout. In *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)* (pp. 1–4). IEEE. DOI: 10.1109/ICBDSC.2016.7460397

Gubanov, M., Stonebraker, M., & Bruckner, D. (2014). Text and structured data fusion in data tamer at scale. In *2014 IEEE 30th International Conference on Data Engineering (ICDE)* (pp. 1258–1261). IEEE. DOI: 10.1109/ICDE.2014.6816755

Laigner, R., Kalinowski, M., Lifschitz, S., Salvador Monteiro, R., & de Oliveira, D. (2018). A Systematic Mapping of Software Engineering Approaches to Develop Big Data Systems. In *2018 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)* (pp. 446–453). IEEE. DOI: 10.1109/SEAA.2018.00079

Li, X., Zhang, F., & Wang, Y. (2013). Research on Big Data Architecture, Key Technologies and Its Measures. In *2013 IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC)* (pp. 1–4). IEEE. DOI: 10.1109/DASC.2013.28

Londhe, A., & Rao, P. P. (2017). Platforms for big data analytics: Trend towards hybrid era. In *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* (pp. 3235–3238). IEEE. DOI: 10.1109/ICECDS.2017.8390056

Mazumdar, S., & Dhar, S. (2015). Hadoop as Big Data Operating System -- The Emerging Approach for Managing Challenges of Enterprise Big Data Platform. In *2015 IEEE First International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService)* (pp. 499–505). IEEE. DOI: 10.1109/BigDataService.2015.72

Merla, P., & Liang, Y. (2017). Data analysis using hadoop MapReduce environment. In *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 4783–4785). IEEE. DOI: 10.1109/BigData.2017.8258541

Mohammed, A. F., Humbe, V. T., & Chowhan, S. S. (2016). A review of big data environment and its related technologies. In *2016 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)* (pp. 1–5). IEEE. DOI: 10.1109/ICICES.2016.7518904

Sehgal, D., & Agarwal, A. K. (2016). Sentiment analysis of big data applications using Twitter Data with the help of HADOOP framework. In *2016 International Conference System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)* (pp. 251–255). IEEE. DOI: 10.1109/SYSMART.2016.7894530

Shah, S., Soriano, C. B., & Coutroubis, A. D. (2017). Is big data for everyone? the challenges of big data adoption in SMEs. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 803–807). IEEE. DOI: 10.1109/IEEM.2017.8290002

Taleb, I., & Serhani, M. A. (2017). Big Data Pre-Processing: Closing the Data Quality Enforcement Loop. In *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)* (pp. 498–501). IEEE. DOI: 10.1109/BigDataCongress.2017.73

Ticout Outsourcing Center. (2013). Introducción a Hadoop y su ecosistema. *Ticout*. Retrieved from http://www.ticout.com/blog/2013/04/02/introduccion-a-hadoop-y-su-ecosistema/

Verma, C., & Pandey, R. (2016). Big Data representation for grade analysis through Hadoop framework. In *2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)* (pp. 312–315). IEEE. DOI: 10.1109/CONFLUENCE.2016.7508134

Villegas-Ch., W., Lujan-Mora, S., & Buenano-Fernandez, D. (2018). Towards the Integration of Business Intelligence Tools Applied to Educational Data Mining. In *2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)* (pp. 1–5). IEEE. DOI: 10.1109/EDUNINE.2018.8450954

Villegas-Ch., W., Luján-Mora, S., Buenaño-Fernandez, D., & Palacios-Pacheco, X. (2018). *Big data, the next step in the evolution of educational data analysis*. *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 721). DOI: 10.1007/978-3-319-73450-7_14

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 23/11/2019
Aceitação/Acceptance: 06/01/2019

Gestión del diálogo de un Agente Conversacional Pedagógico para aprender a programar

José Miguel Ocaña Ch.[1], Elizabeth Morales-Urrutia[2], Diana Pérez-Marín[3], Silvia Tamayo[4]

jmocanac@ejercito.mil.ec, ek.morales@uta.edu.ec, diana.perez@urjc.es, silviatamayomoreno@gmail.com

[1] Ejército Ecuatoriano, 182020, Ambato, Ecuador.

[2] Universidad Técnica de Ambato, 182020, Ambato, Ecuador.

[3,4] Universidad Rey Juan Carlos, 28933, Madrid, España.

Pages:239–251

Resumen: Los Agentes Conversacionales Pedagógicos (ACP) son sistemas interactivos que enseñan hablando con los estudiantes. En los estudios revisados no se han encontrado casos de uso de agentes para enseñar programación a niños. En este artículo se propone un agente para instruir a los infantes en esta área. En particular, dada la complejidad para diseñar este nuevo tipo de agente, este artículo se centra en cómo diseñar el diálogo agente-estudiante. Para esto, se pidió a 66 estudiantes de 8 a 10 años de edad, que escribieran un diálogo entre ellos y el ordenador, sobre cómo les gustaría que se les enseñara la programación. Del análisis de los diálogos recopilados, se proporciona una lista de recomendaciones para cualquier investigador o profesor que desee utilizar los ACP para enseñar programación en Educación primaria.

Palabras-clave: Agente Conversacional Pedagógico; Educación Primaria; Diálogo agente-alumno; Enseñanza de programación; Pensamiento Computacional.

Pedagogic Conversational Agent dialogue management to learn how to program

Abstract: Pedagogic Conversational Agents are interactive systems that teach by talking to the students. In the literature, no cases of using agents for teaching programming to children have been found. In this paper, an agent to instruct to children in this subject is proposed. However, given the complexity of designing this new type of agent, the focus is on how to design the agent-student dialogue. 66 students, from 8 to 10 years old, were requested to type a dialogue between them and the computer on how they would like to be taught programming. From the analysis of the dialogues gathered, a list of recommendations is provided for any researcher or teacher who would like to use PCAs to teach programming in Primary Education.

Keywords: Pedagogic Conversational Agent; Primary Education; Agent-student dialogue; Teaching Programming; Computational Thinking.

1. Introducción

En la actualidad, los Agentes Conversacionales se consideran como una entidad artificial diseñada para tener conversaciones, estas pueden expresarse por medio de textos, de forma oral y en ciertos casos una conversación no verbal. Los Agentes Conversacionales también son conocidos como *chatbots* (van Lun, 2010a), pueden encontrarse en aplicaciones móviles, mundos virtuales, pero también en el mundo real, a través de proyecciones (por ejemplo, con proyección holográfica) o físicamente, hablando y respondiendo bajo la figura de marionetas, juguetes y robots (van Lun, 2010b). Entre las características de los agentes se encuentra la autonomía, proactividad y sociabilidad, esto quiere decir que un agente debe tener la capacidad de comunicarse, cooperar y negociar. Sin embargo, cuando los agentes presentan personalidad y emociones se los denomina Agente Conversacional (Monroy, 2008; Kopp, 2009). Los Agentes Conversacionales son de mucha utilidad. Se pueden encontrar en diversas áreas, realizando funciones como: w*izards*, en aplicaciones de escritorio; Asistentes Virtuales, en sitios webs de comercio electrónico y negocios; o como Tutores, en el ámbito educativo, por lo general en escuelas, entre otras (Morales y Domínguez, 2011).

Para Ayuso y Rioja (2005), las características que deben tener los Agentes pedagógicos conversacionales para que sean amigables y efectivos para los usuarios, sea cual fuere su uso, son las siguientes: tener capacidad de reconocimiento del habla, extraer información semántica de las frases, gestionar el diálogo, generar respuestas y contar con síntesis de voz.

En virtud de que el habla constituye la forma más natural de comunicación entre las personas, los sistemas de Agentes Conversacionales Pedagógicos pueden aumentar la rapidez, efectividad y facilidad a la hora de realizar tareas de forma automática. Actualmente, las tecnologías de reconocimiento del habla están en un punto de desarrollo en el que se consigue un alto grado de certeza en el reconocimiento de la voz. Sin embargo, debido a la naturaleza de este tipo de tecnologías, dependientes del idioma, este desarrollo no se encuentra en el mismo punto en todos los casos, siendo el idioma inglés el que más ha logrado evolucionar (Mestras, 2009).

Es por ello que en la presente investigación se pretende establecer las pautas a seguir en la gestión del diálogo del Agente Conversacional Pedagógico para la enseñanza de programación, basado en las características de diálogo en español, establecidas por los niños participantes. En un trabajo anterior, se propuso utilizar Agentes Conversacionales Pedagógicos para enseñar programación a niños, con miras a desarrollar el pensamiento computacional dado que, en los últimos años, algunos autores han afirmado que el pensamiento computacional se puede adquirir y desarrollar enseñando programación a los niños, desde edades tempranas (Kazakoff et al., 2013; McCartney y Tenenberg, 2014; McCartney, 2015; Strawhacker et al., 2015; Heintz et al., 2016; Papadakis et al. 2016; Bers et al., 2006). El Pensamiento Computacional también se puede definir como el proceso de pensamiento para resolver problemas usando un conjunto de pasos computacionales y algoritmos (Aho, 2012).

El pensamiento computacional ha tomado sentido en el ámbito educativo cuando se plantea como una habilidad que puede desarrollarse a través de la abstracción, el razonamiento lógico y secuencial de las ideas por medio de diferentes ejercicios, ya sea que se relacionen con las matemáticas, con la programación o con la actuación.

La actividad de programar en los niños, no pretende reemplazar la creatividad, el razonamiento o el pensamiento crítico, sino que busca reforzar esas habilidades mientras mejora la capacidad de resolver problemas. Por lo tanto, debido a esto, varios países han implementado la asignatura de Computación en la educación primaria para transformar a los estudiantes en creadores de programas (Heintz et al., 2016).

Para el diseño, desarrollo y evaluación del agente, se ha aplicado la Metodología (MEDIE) (Tamayo-Moreno, 2017). La razón para usar MEDIE es debido a que actualmente no existen estudios sobre Agentes Conversacionales Pedagógicos para la enseñanza de la programación en educación primaria. Por lo tanto, el agente se desarrollará de acuerdo a la opinión de profesores y alumnos.

En este documento se muestra el análisis de 66 diálogos propuestos por niños de 8 a 10 años, acerca de cómo les gustaría que se les enseñe programación, con especial énfasis en cómo les gustaría hablar con el ordenador. Del análisis realizado, se proporciona una lista de cinco recomendaciones para cualquier investigador, diseñador o maestro interesado en utilizar Agentes Conversacionales Pedagógicos para enseñar programación en educación primaria.

2. Trabajos relacionados

2.1. Agentes Conversacionales Pedagógicos

La apariencia del agente es un tema clave en el diseño de un Agente Conversacional Pedagógico (ACP). Hay estudios que indican que una forma humana, como la que se muestra en la Figura 1, proporciona ventajas (Lester et al., 1997).



Figura 1 – Agente de muestra con apariencia humana

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que puede no ser cierto para todos los casos. Algunos investigadores han advertido que la creación de agentes que parecen humanos perfectos crea la expectativa de que es posible mantener un diálogo perfecto con el agente (Koda y Maes, 1996).

En general, la elección del aspecto del agente va a depender de la naturaleza de la tarea y las características y habilidades personales de los usuarios (Mencia, 2011). Podrían ser agentes representados por animales, cuyo objetivo es brindar apoyo a los estudiantes para evitar sentirse solos cuando trabajan con el ordenador (Chen et al., 2009), o agentes representados por niños pequeños como personajes animados que

buscan ayudar a los estudiantes que tienen dificultades al momento de realizar las tareas (Biswas et al., 2009).

Se han realizado varios experimentos utilizando agentes para diferentes dominios y diferentes roles (profesores, compañeros o incluso estudiantes). En esta sección, la atención se centrará en los resultados obtenidos en el ámbito educativo. Además, se hace referencia a algunos de los estudios donde se han descubierto efectos o se ha encontrado algún resultado significativo después de un estudio a largo plazo.

Lester et al. (1997) descubrieron el efecto Persona, que establece que solo la presencia de un agente en un sistema educativo puede tener un efecto positivo en la percepción de la experiencia educativa por parte del estudiante. Yee & Bailenson (2007) descubrieron el efecto Proteo, que se refiere a que los estudiantes podrían aprender motivados con el objetivo de parecerse más a los agentes. Chase et al. (2009) develaron el efecto *Protégé*, lo que significa que los estudiantes pueden hacer un esfuerzo para enseñar al avatar y aprender en este proceso.

Los agentes pueden conseguir mejores posibilidades de enseñanza y de interacción, como demuestran los estudios de usabilidad (Rias et al., 2014), aunque la conversación agente-humano está aún lejos de ser tan natural como una conversación entre humanos.

2.2. Enseñanza de programación en educación primaria

Aprender a programar puede inducir cambios en la manera de pensar de las personas (Papert, 1980). El pensamiento computacional puede ser útil no solo para estudiantes o profesionales de Ciencias de la Computación, sino también para cualquier persona (Wing, 2006). Esta es la razón por la cual la enseñanza de programación se ha implementado en la educación primaria en varios países de todo el mundo (Heintz et al., 2016). Un enfoque comúnmente utilizado para enseñar a programar a los niños es usar *Scratch* (Resnick et al., 2009). Otros enfoques incluyen crear su propio programa (Campe & Denner, 2015), usar los robots Lego WeDo o Mindstorms EV3 (Sović et al. 2014), o recursos gratuitos de sitios como Code.org, cuando los ordenadores no están disponibles (Brackmann et al., 2016).

Solo se ha encontrado una metodología para enseñar programación a niños, que se basa en el uso de metáforas de cocina y se ha aplicado a niños inscritos en 4º, 5º y 6º grados, con un aumento significativo de sus conocimientos en conceptos de programación y, en general, de su pensamiento computacional (Hijón-Neira et al., 2017; Pérez-Marín et al., 2018).

La importancia de esta propuesta es motivar al estudiante aprender a programar por medio del dialogo lógico y secuencial dado que en la investigación realizada se preguntó a los niños, qué es para ellos programar, a lo que contestaron que programar es mover un objeto o crear algo, de lo que se deduce que los niños asocian el término con las actividades que realizan en *Scratch*. En general, todavía se está investigando qué método y tecnología pueden considerarse más adecuado para enseñar programación en el nivel primario.

3. Alcody

Dados los beneficios de usar un Agente Conversacional Pedagógico en otros ámbitos y para aprovechar todas las posibilidades en un estudio anterior se propuso el uso de un Agente Conversacional Pedagógico (Morales-Urrutia et al. 2017), con la

finalidad de fomentar el pensamiento computacional por medio de la enseñanza de programación, para diseñar y evaluar al agente se ha seleccionado la metodología MEDIE (Tamayo-Moreno, 2017), que basa su análisis en el Diseño Centrado en el usuario (Lorés et al., 2002), metodología de Interacción Humano-Ordenador para diseñar sistemas interactivos considerando al usuario durante todo el proceso. Por lo tanto, el nuevo agente, llamado Alcody, está siendo codiseñado con maestros y estudiantes.

El primer paso fue comunicarse con los profesores. Para esto fue necesario un análisis del contexto en el que se usará el Agente Conversacional Pedagógico, así como los requisitos que debe cumplir. Como resultado de este paso, se creó una primera interfaz de prototipo y mostrarla a los maestros para su validación. Una vez que los maestros la hayan validado, los estudiantes también deben validarla.

Las Figuras 2 y 3 muestran interfaces de Alcody, que ya han sido validadas por los maestros y 66 estudiantes, matriculados en 4º y 5º grado de primaria, en Madrid (España). El escenario elegido es una cocina, y Alcody se viste como cocinero, porque sigue la metodología MECOPROG basada en el uso de metáforas de cocina para enseñar programación; es decir, programa como receta, despensa como memoria, variable como caja en la cocina, etc. (Hijón-Neira et al., 2017; Pérez-Marín et al., 2018).

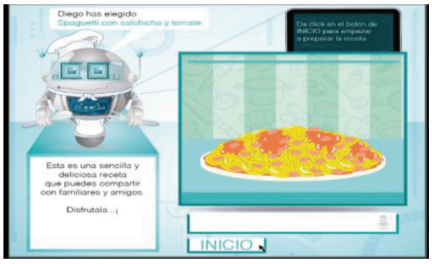


Figura 2 – Muestra la interfaz de Alcody y le dice al alumno que ha elegido cocinar pasta con salchichas y tomate, y que es una receta sencilla y deliciosa que se puede compartir con familiares y amigos



Figura 3 – Alcody le dice al estudiante que debe seguir los pasos para cocinar la receta, y el estudiante llamado Diego le pregunta a Alcody qué utensilios deben elegir primero

Alcody no se ha representado como un ser humano para evitar crear las expectativas de un diálogo perfecto de lenguaje natural entre el agente y el estudiante. El siguiente paso en el desarrollo de Alcody es diseñar el diálogo entre estudiantes y agentes.

4. Análisis de los diálogos estudiante-agente

En el momento de diseñar el diálogo Alcody-alumno, fue necesario comprender cómo les gustaría a los alumnos hablar con el agente. Además, era necesario validar si realmente querían que Alcody solo fuera cocinero, o si les gustaría tener más libertad para elegir otros escenarios. Se formularon las siguientes preguntas de investigación:

- RQ1. ¿Sobre qué tema les gustaría a los estudiantes hablar con su ordenador?
- RQ2. ¿Los estudiantes usarían preguntas para hacer actividades en el ordenador? ¿Cómo? ¿Cuántas?
- RQ3. ¿Los estudiantes usarían exclamaciones para preguntar al ordenador? ¿Cómo? ¿Cuántas?
- RQ4. ¿Los estudiantes usarían oraciones cortas / medias / largas?
- RQ5. ¿Los estudiantes saben muchas palabras relacionadas con la programación?
- RQ6. ¿Los estudiantes consideran el ordenador como su amigo?
- RQ7. ¿Hay diferencias significativas entre los cursos?

Como parte del estudio se realizó un experimento con los 66 estudiantes españoles que habían validado la interfaz de Alcody en el año académico 2017/2018, para responder a estas preguntas. Se pidió a los estudiantes que escribieran un diálogo breve (máximo de 1 página) con Alcody en el formato que eligieran, y que se lo entregaran a su profesor, justo después de ver las interfaces finales de Alcody que se muestran en las Figuras 2 y 3.

De manera intencional se dio libertad a los estudiantes para que pudieran ser creativos, la única condición dada fue que debían imaginarse hablando con el ordenador y escribirlo en un papel. Debido a la política de privacidad de la escuela sobre los datos personales de los niños, no fue posible recopilar ninguno, sino solo sus diálogos anónimos.

Tampoco fue posible tener más tiempo durante la clase debido al plan de estudios que los maestros deben seguir en su horario. Los niños tenían que usar papel porque no había suficientes ordenadores para que escribieran el diálogo individualmente. Sin embargo, de acuerdo con la Teoría del Procesamiento de la Información (Kail & Bisanz, 1992), cuando se pidió a los niños que imaginaran su diálogo con el agente, los niños pensaron en términos de códigos y procesos internos, bastante similares a los ordenadores que procesan la información. Por lo tanto, no importa si los niños escribieron su diálogo en un papel o lo escribieron en el ordenador, estaban procesando la información como si la estuvieran procesando en sus mentes.

Según Carrier (1973), es probable que los niños consideraran el papel como una pantalla, ya que la imaginación de los niños es tan poderosa que, incluso sin hablar realmente con el ordenador, su mente estaba creando todo el diálogo como real. Hasta que los niños cumplen 12 años, la mayoría de ellos ni siquiera son capaces de distinguir la fantasía de la realidad (Piaget, 1929). Estudios empíricos, como los realizados por Morison & Gardner (1978), Flavell et al. (1986) y, Sharon & Woolley (2004), demostraron que los niños de hasta 12 años están confundidos acerca de si los dragones son reales, con solo

mirar a alguien disfrazado de dragón (la imaginación de los niños hace que no necesite tener un dragón real para imaginar que lo es). Estos estudios comprueban la utilidad de pedirles a los niños que escriban sobre su diálogo con el agente, incluso si aún no tienen el agente real.

Para responder a las preguntas de investigación, se crearon ocho parámetros, como se indica en la Tabla 1, con valores discretos para calcular en cada diálogo. Los casos fueron contados manualmente para evitar errores. Además, cada diálogo fue leído cuidadosamente por otro autor del artículo para verificar los valores proporcionados.

Criterios	**Posibles Valores**
Curso	4th, 5th (Educación primaria, 8-10 años)
Tipo	Cuento de fantasía, diálogo, cuento personal o programa.
Tema	Cocinero, Fantasía, videojuegos, Deportes, Música, Danza ...
#Preguntas	Número de preguntas utilizadas por el niño.
#Exclamaciones	Número de exclamaciones utilizadas por el niño.
Longitud	1 (oraciones cortas con menos de 10 palabras) 2 (oraciones medianas con 10-20 palabras) 3 (oraciones largas con más de 20 palabras)
Conocimiento	1 (bajo con menos de 5 palabras relacionadas con ordenadores) 2 (medio con 5-10 palabras relacionadas con las ordenadores) 3 (alto con más de 20 palabras relacionadas con las ordenadores)
Amistad	1 (el niño considera a Alcody como un amigo 0 (el niño no habla de amistad en absoluto)

Tabla 1 – Parámetros para analizar los diálogos agente-alumno

4.1. Resultados para estudiantes matriculados en cuarto grado

En la aplicación del estudio, se plantearon varias preguntas a los estudiantes, con la finalidad de determinar los conocimientos previos sobre programación. El estudio se dividió en dos grupos: del primero se obtuvo 17 encuestas de los niños de cuarto grado. La primera observación interesante es que cuando se les dio libertad para escribir, solo uno de ellos escribió un diálogo real (ver Figura 4). El resto de los niños escribieron cuentos de fantasía y cuentos personales.

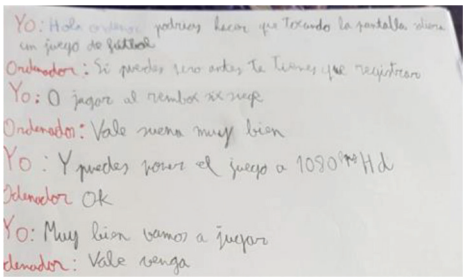


Figura 4 – Ejemplo de diálogo de un alumno de cuarto grado.

De la figura expuesta se puede analizar que el estudiante (I) le pregunta al Ordenador (C) si puede ejecutar un juego de fútbol en la pantalla; (C): Sí, pero debes registrarte; (I): Yo también quiero jugar; (C): OK, suena genial. (I): ¿Puedes jugar el juego a 1080 HD? (C): OK. (I): Vamos a jugar. (C): OK.

Además, pese a que a los estudiantes se les dijo que el objetivo es aprender a programar, muchos optaron por escribir sobre programas ya existentes: programas deportivos (5 estudiantes), videojuegos (5 estudiantes), realidad virtual (2 estudiantes), controles (1 estudiante), coches (1 estudiante), películas (1 estudiante), animales (1 estudiante) y robots (1 estudiante). Solo dos estudiantes hicieron preguntas al ordenador, como "¿Puedo jugar contigo en el fútbol?"; y un estudiante usó la exclamación "¡Has ganado!".

Con respecto a la longitud de las oraciones, no se encontraron diferencias claras, ya que 6 estudiantes usaron oraciones cortas, mientras que 7 estudiantes usaron oraciones largas, y 4 estudiantes oraciones de longitud media. Por lo tanto, se puede decir que escriben desde oraciones cortas hasta oraciones largas, y el agente debe estar preparado para manejar los errores ortográficos y gramaticales (incluso para el lector humano fue difícil entender algunos errores gramaticales y algunas de las palabras debido a la mala ortografía de los niños).

Con respecto al vocabulario, los niños utilizaron muy pocas palabras relacionadas con la informática (normalmente solo se utilizaron palabras como robot, videojuego, programa, ordenador o pantalla). En general, cuando utilizaban algún término informático, era bastante sofisticado, como realidad virtual, gafas 3D, 1080 HD. Los niños también sabían nombres específicos de videojuegos como *Clash Royale* o *Minecraft*, incluso a pesar de su corta edad.

Durante la construcción de los diálogos de manera general, los estudiantes mostraron expresiones amistosas al momento de desarrollar las historias. En particular, de lo analizado, cuatro estudiantes hablaron con el agente como si fuera su amigo.

4.2. Resultados de los estudiantes de quinto año

En la aplicación del estudio con el segundo grupo de estudiantes de quinto año, 49 entregaron su trabajo. Cinco estudiantes escribieron diálogos como el que se muestra en la Figura 5. Dos estudiantes eligieron contar una historia personal, dos estudiantes escribieron algo sin ninguna estructura y sin relación con los ordenadores, y el resto escribió historias relacionadas con Ciencias de la Computación como creadores o usuarios de programas.

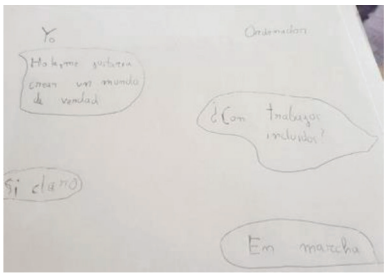


Figura 5 – Ejemplo de diálogo de un alumno de 5º curso. El estudiante (I) le pregunta al ordenador (C) si puede crear un mundo real: (C): ¿Con obras? (I): Sí, por supuesto; (C): OK

La lista de temas ordenados por mayor uso por parte de los estudiantes fue: deportes (8 estudiantes), videojuegos (7 estudiantes), amistad (6 estudiantes), animales (6 estudiantes), fantasía (5 estudiantes), ordenadores (5 estudiantes), deseos (3 estudiantes), música (3 estudiantes), para crear un mundo (2 estudiantes), automóviles (1 estudiante), cocinero (1 estudiante) y no relacionado (2 estudiantes).

12 estudiantes hicieron preguntas al ordenador como "¿Podemos programar un juego?" o "¿Qué es un programa?"; y 6 estudiantes usaron exclamaciones como "¡El ordenador habla!" o "¡Me encanta mi ordenador!". Con respecto a la longitud de las oraciones (sin considerar las dos historias no relacionadas): 25 estudiantes usaron oraciones largas, 18 oraciones de longitud media, y 4 estudiantes usaron oraciones cortas. Finalmente, con respecto al conocimiento de términos relacionados con el ordenador, 3 estudiantes tienen un conocimiento medio, 35 de bajo conocimiento y el resto no usó ninguna palabra relacionada con la programación.

Las palabras más utilizadas fueron: ordenador, Internet, virus, digital, cables, programa, pantalla. Como en el caso de los estudiantes de cuarto grado, los estudiantes de quinto también usaron palabras sofisticadas como realidad virtual o *Scratch*, y nombres de videojuegos como *Clash Royale*. 17 estudiantes hablaron con Alcody como si fuera su amigo.

4.3. Respuestas a las preguntas de investigación

En esta sección, y de acuerdo con los datos recopilados en las secciones anteriores, se proporcionan las respuestas a las preguntas de investigación sobre cómo diseñar el diálogo entre agente y estudiante.

RQ1. ¿Sobre qué tema les gustaría a los estudiantes hablar con su ordenador? El tema favorito de los estudiantes es el deporte, seguido de cerca por los videojuegos. Podría ser interesante cambiar la interfaz de Alcody para que no esté tan centrado en la cocina sino en los juegos de estrategia, ya que parece un tema que es más interesante para los estudiantes.

RQ2. ¿Los estudiantes usarían preguntas para hacer al ordenador? ¿Cómo? ¿Cuántos? Los estudiantes no suelen usar preguntas, y algunos realizan preguntas de qué/cómo.

RQ3. ¿Los estudiantes usarían exclamaciones para preguntar al ordenador? ¿Cómo? ¿Cuántos? Los estudiantes no suelen usar exclamaciones, solo para expresar emociones como "¡Me encanta mi ordenador!", "¡Muy bien!"

RQ4. ¿Los estudiantes usarían oraciones cortas/medias/largas? Los estudiantes pueden usar oraciones que van de muy cortas a muy largas con muchos errores gramaticales y ortográficos que el agente debe poder manejar.

RQ5. ¿Los estudiantes saben muchas palabras relacionadas con la programación? No utilizan más de cinco palabras diferentes relacionadas con la programación. Aunque conocen algunas palabras sofisticadas y nombres de videojuegos.

RQ6. ¿Los estudiantes consideran el ordenador como su amigo/a? 21 de los 66 estudiantes que proporcionaron una historia relacionada con ordenadores lo consideraron como un amigo.

RQ7. ¿Hay diferencias significativas entre los cursos? No hay muchas diferencias entre los cursos. Aunque, se puede apreciar una variabilidad más léxica relacionada con la programación en el caso de estudiantes mayores, y también una mayor variedad de temas y estructuras en sus historias.

5. Conclusiones

En base al estudio realizado con estudiantes de 4to y 5to año de Educación Primaria de una escuela de Madrid, se obtuvieron lineamientos para la construcción del dialogo con los Agentes Conversacionales Pedagógicos, siendo una alternativa para enseñar programación a niños, siempre que se sigan las siguientes recomendaciones:

1. Acoplar diferentes temas y escenarios para el agente como juegos de estrategia, naturaleza y deportes.
2. El agente debe poder manejar oraciones bastante largas (incluso más de 20 palabras). Es porque los estudiantes de esta edad todavía no pueden estructurar las oraciones correctamente. Además, el uso de signos de puntuación a veces es erróneo, y cometen muchos errores ortográficos que el agente debería poder resolver.
3. El conocimiento de las palabras relacionadas con programación es bajo en esta edad. Por lo tanto, el agente debe tener cuidado y verificar si los estudiantes conocen el significado de las palabras. Por ejemplo, un estudiante de cuarto o quinto grado puede ignorar el significado de palabras como “secuencia” o “condicional”, que son conceptos básicos de la programación de ordenadores.
4. Las emociones deben ser consideradas en el diálogo agente-alumno. El agente debe usar palabras amigables porque 21 estudiantes se han dirigido al ordenador como su amigo. En sus historias, el ordenador les ayudó, jugó con ellos e incluso, en algunos casos, los niños agregaron piernas y las manos al ordenador para interactuar más con él (como si fuera un ser humano).
5. Cuanto mayor sea la edad del alumno, mayor será la variedad en las estructuras encontradas en los diálogos. Por lo tanto, a los niños más pequeños se les debe proporcionar patrones regulares en los diálogos. Facilita el procesamiento automático del diálogo y, al mismo tiempo, ayuda a los alumnos a comprenderlo.

También es importante destacar que los niños parecen ignorar la diferencia entre el agente y el ordenador. Ningún niño ha usado la palabra “agente”, y todos los estudiantes se han dirigido a Alcody como ordenador. Por otro lado, incluso con una descripción muy vaga e intencional sobre qué hacer, solo 2 niños de 66 escribieron una historia no relacionada con Informática. Además, no usaron malas palabras y sus historias no trataron sobre la violencia. No se observó pensamiento computacional en ninguno de los diálogos, como se esperaba, ya que los niños aún no han recibido ninguna lección de programación con el agente.

Los resultados, aunque reveladores, son algo limitados ya que todos los niños son de la misma escuela. Se pretende hacer extensible el estudio a otras escuelas, incluso de otros países, con el objetivo de recopilar más muestras y seguir trabajando en la gestión de un buen diálogo entre agentes y estudiantes para enseñar programación a los niños y analizar su impacto en sus habilidades de pensamiento computacional.

Agradecimientos: *Este trabajo ha sido patrocinado por TIN2015-66731-C2-1-R y P2018 / TCS-4307. Agradecemos a la Universidad Técnica de Ambato, DIDE por el financiamiento brindado.*

Referencias

Aho, A. V. (2012). Computation and computational thinking. *The Computer Journal*, 55(7), 832–835.

Ayuso, A. J. R., & Rioja, I. H. (2005). *Libro blanco de tecnologías del habla*.Universidad de Granada

Bers, M., Rogers, C., Beals, L., Portsmore, M., Staszowski, K., Cejka, E., & Barnett, M. (2006). Innovative session: early childhood robotics for learning. In: *Proceedings of ISTE, CT in K–12 Education Leadership Toolkit*.

Biswas, G., Roscoe, R., Jeong H., & Sulcer, B. (2009). Promoting Self-Regulated Learning Skills in Agent-based Learning Environments. *Proceedings of the 17th Inter-national Conference on Computers in Education*.

Campe, S. & Denner, J. (2015). Programming Games for Learning: A Research Synthesis. *Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association*, Chicago, IL.

Carrier, D. (1973). Three Kinds of Imagination. *The Journal of Philosophy*, *70*(22), 819–831. DOI: 10.2307/2025155

Chase, C., Chin, D., Oppezzo, M., & Schwartz, D. (2009). Teachable agents and The protégé effect: Increasing the effort towards learning. *Journal of Science Education and Technology 18*, 334–352.

Chen, Z., Liao, C., Chien, T.m & Chan, T. (2009). Animal Companion Approach to Fostering Students' Effort-Making Behaviors, *Artificial Intelligence in Education*, IOS Press, 728–730.

Flavell, J.H., Green, F.L., Flavell, E.R. (1986). Development of knowledge about the appearance-reality distinction. *Monogr Soc Res Child Dev*. *51*(1):i-v, 1–87.

Heintz, F., Mannila, L., & Färnqvist, T. (2016). A review of models for introducing computational thinking, computer science and computing in K-12 education. *In Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2016 IEEE.1-9.

Hijón-Neira, R., Santacruz-Valencia, L., Pérez-Marín, D., & Gómez, M. (2017). An analysis of the current situation of teaching programming in Primary Education. *IEEE Xplore, 978-1-5386-0648-3*. Spanish Version: International Symposium on Computers in Education (SIIE), "Un análisis de la situación sobre el estado de la enseñanza de la Programación en Primaria y su didáctica", 103–109.

Kail, R., & Bisanz, J. (1992). The information-processing perspective on cognitive development in childhood and adolescence. *Intellectual development*, 1, 229–260.

Kazakoff, E.R., Sullivan, A., & Bers, M.U. (2013). The Effect of a Classroom Based Intensive Robotics and Programming Workshop on Sequencing Ability in Early Childhood. *Early Childhood Education*, *41,* 245–255.

Koda, T., & Maes, P. (1996). Agents with faces: the effects of personification of agents. *Processing of HCI*, 96–98.

Kopp, S. (2009). Social Resonance and Embodied Coordination inFace-to-Face Conversation with Artificial Interlocutors. *Speech Communication*, 12 pp.

Lester, J.; Converse, S.; Kahler, S.; Barlow, S.; Stone, B. & Bhogal, R. (1997), The persona effect: affective impact of animated pedagogical agents. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems,* 366.

Lorés, J., Granollers, T. and Lana, S. (2002). Introducción a la interacción persona-ordenador. En J. Lorés (ed.) *La interacción persona-ordenador*. Lérida, 20-40.

Lun, E. Van. (2010a). Conversational Agent - a program that acts on behalf of humans and chats. Recuperado de *http://www.chatbots.org/conversational_agent/*

Lun, E. Van. (2010b). Forum and even smarter account pages News. *Chatbots.org*. Recuperado de http://www.chatbots.org/community/buzz_stop/welcome_to_chatbot.org_2.0/

Mestras, J. P. (2009). Talking Agents: Arquitectura para Sistemas de Agentes Conversacionales.

McCartney, R. (Ed.). (2015). Special Issue II on Computer Science Education in K-12 Schools. *Transactions on Computing Education*, ACM, 14, 2.

McCartney, R., & Tenenberg, J. (Eds.). (2014). Special Issue on Computing Education in (K-12) Schools. *Transactions on Computing Education, ACM*, *14*, 2.

Mencia, B. (2011). Agentes Animados Personificados en Sistemas Interactivos: Diseño y Evaluación. *PhD Thesis. Universidad Politécnica de Madrid.*

Morales-Urrutia, E. Ocaña, J. M. Pérez-Marín, D. Tamayo, S. (2017). A first proposal of Pedagogic Conversational Agents to develop Computational Thinking in children. In *Proceedings of ACM TEEM 2017.*

Morales-Rodríguez, M., & Domínguez-Martínez, J. (2011). Agentes Conversacionales como un Sistema de Diálogo. *Memorias del V Encuentro de Investigadores del ITCM*.

Morison P, Gardner H. (1978). Dragons and dinosaurs: The child's capacity to differentiate fantasy from reality. *Child Development, 49*, 642–648.

Monroy, G. López. (2008). Interfaz grafica para la edición de cuentos interactivos para niños. *Universidad de las Américas Puebla*. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/lopez_m_g/index.html

Ouahbi, I., Kaddari, F., Darhmaoui, H., Elachqar, A., & Lahmine, S. (2015). Learning basic programming concepts by creating games with Scratch programming environment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 191,* 1479–1482.

Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2016). Developing fundamental programming concepts and computational thinking with ScratchJr in preschool education: a case study. *International Journal of Mobile Learning and Organisation, 10*(3), 187–202.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York, NY: Basic Books.

Pérez-Marín, D., Hijón-Neira, R., Martín-Lope. M. (2018). *A Methodology Proposal based on Metaphors to teach Programming to children*. DOI: 10.1109/*RITA*.2018.2809944.

Piaget J. (1929). *The child's conception of the world*. London: Routledge & Kegan Paul.

Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernandez, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., et al., (2009). Scratch: Programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60–67.

Rias, R. M., Bakar, N. S. A., Wah, Y. B., & Salam, N. H. A. (2014). Applying animated pedagogical agent for statistical learning: A usability study. *In proceedings of the 8th International Technology, Education and Development Conference. IATED,* 7142–7148.

Sharon T, Woolley JD. (2004). Do monsters dream? Young children's understanding of the fantasy/reality distinction. *British Journal of Developmental Psychology, 22*, 293–310.

Sović, A., Jagušt, T., & Seršić, D. (2014). How to teach basic university-level programming concepts to first graders? *In Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, IEEE, 1–6.

Strawhacker, A., Portelance, D., Lee, M., & Bers, M. (2015). Designing Tools for Developing Minds: The Role of Child Development in Educational Technology. *IDC 2015 Workshop*. Recuperado de http://everychildacoder.org.uk/wp-content/uploads/2015/05/Strawhacker_et_al_final.pdf. Last visit: June 12nd, 2018.

Tamayo-Moreno, S. (2017). Propuesta de Metodología para el Diseño e Integración en el Aula de un Agente Conversacional Pedagógico desde Educación Secundaria hasta Educación Infantil. *Tesis Doctoral*. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid.: Móstoles.

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33–35.

Yee, N. & Bailenson, J. (2007). The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human Communication Research, 33*(3), 271–290.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/12/2018
Aceitação/Acceptance: 07/02/2019

Educación en TIC: enseñar a usar, enseñar a protegerse y enseñar a crear tecnología

Johan Smith Rueda-Rueda[1], Dewar Rico-Bautista[2], Éder Flórez-Solano[3]

jrueda526@unab.edu.co, dwricob@ufpso.edu.co, enflorezs@ufpso.edu.co

[1] Universidad Autónoma de Bucaramanga, 680003, Bucaramanga, Colombia.

[2,3] Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña Sede Algodonal, 546551, Ocaña, Colombia.

Pages:252–264

Resumen: La forma como se enseña e interactúa con las TIC se puede entender en un proceso basado en tres ejes: enseñar a usar, enseñar a protegerse y enseñar a crear tecnología. Este trabajo presenta la experiencia obtenida en la ejecución de dos iniciativas que contribuyen en el segundo y tercer eje de enseñanza en TIC. La primera de ellas busca crear espacios de toma de conciencia para orientar a niños y padres sobre los cuidados que hay que tener en el uso de las plataformas digitales; el segundo, crea estrategias para incentivar el estudio en el área de TIC. Este proyecto se orientó a través de la investigación-acción y tiene como propósito cambiar las actividades y percepciones en torno a los dos temas tratados: la seguridad en las redes sociales e internet, y la relevancia que tiene la Ingeniería de Sistemas y las áreas afines en la actualidad. Dentro de los resultados obtenidos de estas experiencias, se evidencia que el desconocimiento es perjudicial, en cada uno de los casos, pero que, a través de trabajos pedagógicos dichas percepciones pueden ser cambiadas. Las TIC en la educación han dejado de ser solamente una herramienta pedagógica, las condiciones actuales están exigiendo que se conviertan en áreas de estudio para preparar a profesionales con habilidades digitales que enfrenten los retos del nuevo siglo. Dentro de este proceso de cambio, las Instituciones de Educación Superior (IES) juegan un rol importante como agentes generadores de dicha transformación.

Palabras-clave: educación en ciencias computacionales; educación y TIC; enseñanza técnica y profesional; investigación social; pensamiento computacional.

Education in ICT: teaching to use, teaching to protect oneself and teaching to create

Abstract: The way in teaching and interacting with ICT can be understood in a process based on three axes: Teach to use, teach to protect and teach to create technology. This paper presents the experience obtained in the implementation of two initiatives that contribute to the second and third axis of teaching in ICT. The first of them seeks to create awareness spaces to guide children and parents about the care that must be taken in the use of digital platforms; the second, create strategies to encourage the study of IT. This project was oriented through action research and aims to change the activities and perceptions around the two topics

discussed: security in social networks and the Internet and the relevance of systems engineering and related areas in the present. Within the results obtained from these experiences it is evident that ignorance is harmful in each case, but that, through pedagogical works, these perceptions can be changed. ICT in education is no longer just a pedagogical tool, current conditions are demanding that they become areas of study to prepare professionals with digital skills to face the challenges of the new century. Within this process of change, the Higher Education Institutions play an important role as agents that generate this transformation.

***Keywords**:* computational science and engineering education; computational thinking; education and ICT; social research; technical and vocational education.

1. Introducción

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son un recurso importante en la actualidad, haciendo parte, casi que integral, de nuestras actividades diarias, tanto personal, profesional y laboralmente. Las TIC no solo están transformando la educación, como apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje (World Economic Forum, 2016b), sino que, es necesario transformar la forma cómo se educa respecto a las TIC como un objeto de estudio y el enfoque en que se abordan.

La forma como se enseña e interactúa con las TIC se puede entender en un proceso de basado en tres ejes. Eje 1: enseñar a usar; eje 2: enseñar a protegerse; y eje 3: enseñar a crear tecnología. Ver Figura 1. Según el World Economic Forum, dentro de las habilidades que los estudiantes necesitan para el 2020 se encuentra la alfabetización TIC (World Economic Forum, 2016a), y otro informe, de la misma organización, menciona que el desarrollo de las tecnologías es un trabajo del futuro inmediato (World Economic Forum, 2016c).

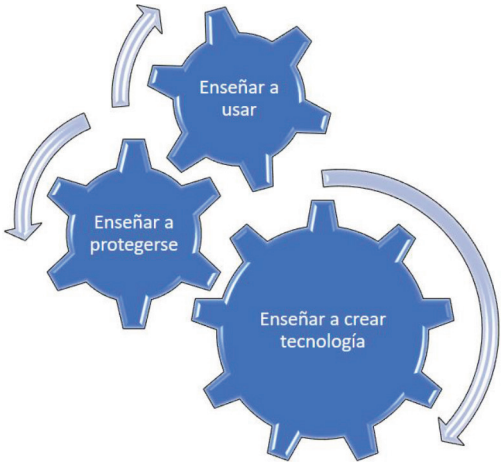


Figura 1 – Ejes de la educación en TIC

El eje enseñar a usar, es una actividad más natural, de aprendizaje con respecto a la interacción que los individuos tienen con la tecnología en sus actividades diarias, de cómo se pueden usar las TIC para aumentar la productividad; es un proceso más ubicuo.

En relación al eje enseñar a protegerse, va más allá de saber usar las tecnologías, y aborda la forma cómo nos comportamos al usarlas, salvaguardando la seguridad y privacidad de nuestra información; en este eje han surgido iniciativas para ayudar a padres y niños en el uso seguro de internet y redes sociales, algunos ejemplos son: Digipadres (ESET Latinoamérica, 2017), Argentina Cibersegura (Argentina Cibersegura, 2017) y México Ciberseguro (México Ciberseguro, 2017). Respecto al eje saber crear tecnología, tiene que ver con las habilidades que permiten proponer y desarrollar soluciones tecnológicas que busquen dar solución a un problema o prestar algún servicio.

Este artículo presenta dos experiencias realizadas en el semillero SIGLAS, el cual pertenece al Grupo de Investigación en Ingeniería Aplicada para la Innovación, Gestión y Desarrollo (INGAP), de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña-UFPSO, relacionadas con la educación en TIC. El resto del artículo se encuentra dividido en tres secciones: en la sección dos, se describe la metodología empleados en esta investigación; en la sección tres, se puntualizan dos experiencias desarrolladas, que abordan dos de los tres ejes de la educación en TIC; y, por último, en la sección cuatro, se presentan las conclusiones de las experiencias realizadas.

2. Metodología

Este trabajo de investigación y extensión universitaria, de tipo investigación-acción, el cual es un proceso en el que intervienen la investigación, acción y formación, y donde se buscó identificar algunas acciones humanas y situaciones sociales en el área de las TIC, con el propósito de mejorar sus percepciones y sus propias prácticas sociales, su comprensión sobre las mismas y las situaciones en que se realizan estas prácticas.

La población objeto de este proyecto se dividió en dos. Principalmente, en el proyecto Inseguridad en las redes sociales e internet, participaron 30 cursos, de cuarto y quinto de primaria, de las instituciones educativas; para el proyecto de Estrategias para incentivar el estudio del programa de Ingeniería de Sistemas, participaron los cursos de décimo y undécimo, de un colegio. Todos los cursos pertenecen a la comunidad estudiantil de la ciudad de Ocaña, Colombia.

3. Resultados y discusión

Los integrantes del Semillero SIGLAS, con el propósito de aportar a los ejes propuestos para la educación en TIC, han planteado y llevado a cabo dos proyectos de investigación y extensión social en la ciudad de Ocaña, Colombia. El primero de ellos, Inseguridad en redes sociales e internet: prioridad en las escuelas de la provincia Ocaña, busca aportar al eje 2, enseñar a usar; y el segundo de ellos, Estrategias para incentivar el estudio del programa de Ingeniería de Sistemas, se enfoca en el eje 3, enseñar a crear tecnología.

3.1. Inseguridad en redes sociales e internet

El proyecto de inseguridad en la redes sociales e internet surge con el propósito que, a través de sensibilizaciones y el uso de las TIC con un componente social, se puedan crear espacios de acompañamiento en las instituciones educativas para orientar a los niños

sobre los peligros que pueden encontrar al interactuar en las redes sociales e internet (Rueda-Rueda & Rico, 2016), como se muestra en la Figura 2.

Para el diseño metodológico de este proyecto se usó el modelo constructivista social, modelo educativo implementado por la UFPSO en sus procesos pedagógicos. La población objetivo fueron los niños, del grado cuarto y quinto primaria, que comprenden las edades, entre los 9 y los 11 años, del cual se tomó como muestra 30, como se muestra en la Figura 3.



Figura 2 – Cyberbullying o ciberacoso, uno de los riesgos más frecuentes al que se enfrentan los niños y adolescentes (Cuesta Quintero et al., 2016)



Figura 3 – Niños observando el cartel informativo que se dejó en cada una de las escuelas luego de la actividad de capacitación

En una fase inicial se trabajó en la concientización de los niños. Como primera actividad, se aplicó una encuesta, con el objetivo de diagnosticar su conocimiento sobre el uso de las redes sociales y el internet, y conocer sus prácticas diarias mientras usan estas tecnologías. Seguidamente, se dio una charla a los estudiantes sobre los riesgos que pueden encontrar en las redes sociales e internet. Las charlas realizadas no eran una clase magistral, sino que la persona encargada de la misma conducía los temas a tratar, con la continua participación de los niños, donde relataban las experiencias propias o conocidas. Se va construyendo la charla, con una duración de 30 minutos, aproximadamente, para mantener la atención de los niños evitando su cansancio. Los temas tratados van desde el matoneo, robo y clonación de perfiles de las redes sociales, suministro y publicación de información que pueda comprometer su integridad y la su familia, hasta el manejo contraseñas. Luego de presentar las posibles situaciones de riesgo que se darían en las redes sociales, se aconsejó sobre la forma en la que deben afrontar dicha situación.

Las charlas se apoyaron en vídeos animados, facilitando la apropiación del conocimiento, y también se usó la analogía, ya que es un medio apropiado para la enseñanza, la cual permite transmitir, de manera más fácil, la idea o conocimiento. La analogía que se planteó tiene como propósito presentarle a los niños las diferentes personas que se pueden encontrar en las redes sociales y sus intenciones. Ver Figura 4.



Figura 4 – En la parte superior, Batman y Guasón, superhéroe y villano, una de las parejas usada en la analogía. Abajo, a la izquierda, alumna lista para comenzar con la actividad lúdica-pedagógica. Abajo, a la derecha, integrantes de SIGLAS orientando una charla

Una vez presentada la analogía, se les preguntó a los niños por la función de los superhéroes en el mundo y el rol de un villano. Cuando respondieron, se le indicó que, aunque ellos no tienen un superpoder, sí pueden comportarse como un héroe, pues su

función es protegerse a sí mismo y las personas que le rodean. Se les pidió que sean portadores del conocimiento compartido, que lo lleven a sus familiares, amigos y vecinos del barrio en que viven.

En una siguiente fase, se concientizó a padres de familia, con charlas, aprovechando las reuniones programadas por los colegios para hablar de los asuntos académicos. Estos espacios fueron el resultado de que las directicas de las escuelas, viendo la importancia y la pertinencia de la temática tratada, separaron reuniones para que los padres fueran asesorados sobre la importancia de tomar ciertas medidas a la hora de dejar a sus hijos interactuar con los dispositivos móviles y computadoras.

Usando las TIC, como un agente social (Rueda-Rueda, Alvernia Acevedo y Rico-Bautista, 2016); y procurando que el impacto de la sensibilización se prolongue en el tiempo y llegue a más personas, se creó un portal web en el cual se agrupó y presentó material relacionado con los peligros y cuidados que hay que tener en las redes sociales e internet, como vídeos animados, aplicaciones con diferentes temáticas, enlaces a sitios web de interés sobre protección a la infancia, creadas por el gobierno colombiano u otras organizaciones, como se muestra en la Figura 5.

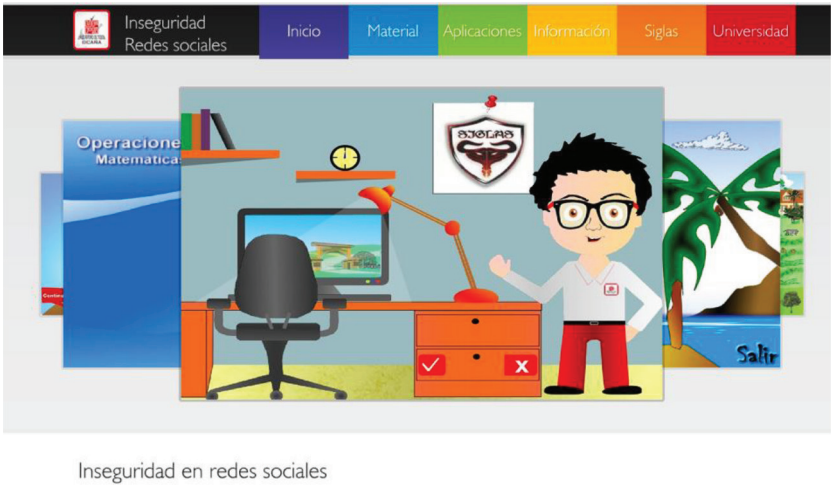


Figura 5 – Sitio web del proyecto

Se propuso el sitio web no solo para brindar información sobre el uso adecuado de las redes sociales e internet, sino también, para ser un canal en el que niños, padres de familia y profesores puedan encontrar diferentes sitios web especializados, en los cuales brindar orientación y, por su parte, denunciar aquellas temáticas relacionadas con el abuso infantil, como: ciberacoso, explotación sexual, pornografía infantil, *grooming*, la venta de alcohol a menores de edad, maltrato, trabajo y abuso infantil, como se muestra en la Figura 6.

Luego de aplicar las encuestas de diagnóstico sobre el conocimiento y uso de las redes sociales en niños, los resultados se agruparon en tres *ítems*: el entorno del niño; la

seguridad de la información, que se publica en las redes sociales; y los hábitos en la redes sociales e internet (Rueda-Rueda & Rico, 2016).



Figura 6 – Lista de sitios web sobre el uso correcto de internet, redes sociales y portales aptos para recibir denuncias

En cuanto al entorno del niño, se concluye que las cuentas en redes sociales son creadas por los padres o un familiar diferente a ellos, lo que infiere en que, la inclusión en el mundo de la tecnología parte desde el seno familiar. Los padres de familia son los responsables de supervisar las actividades de sus hijos en la vida real como en la digital, y del tiempo que dedican a dichas actividades. Un 53% de los niños encuestados manifestó que sí tienen un control del tiempo –de este porcentaje, el 32% tiene un control de tiempo permanente, y el 21% restante es controlado solo cuando se portan mal–, el 20 % de los niños afirmó que sus padres no les dicen nada, y el otro 27% no cuentan con el servicio de internet en casa. Pero que no tengan este servicio no impide que lo utilicen. Estos niños acuden a un lugar externo a su hogar y sin la supervisión de alguno de sus padres, o un adulto responsable, esos lugares pueden ser un vecino, un familiar o un cibercafé.

Otro factor del entorno de los niños, que inciden en los infantes para el uso de las redes sociales, son sus amigos. Los niños son invitados por sus compañeros de barrio o estudio para utilizar las redes sociales. Otro factor es la creencia de que, a mayor número de amigos, más popular se puede ser. Según la referencia Marder (2012), la mayoría de las personas que tienen más de 300 amigos en Facebook son personas que agregan a todo el mundo a su círculo de amigos en la red social.

Referente a la seguridad de la información, los usuarios siguen compartiendo detalles de su vida a través de redes sociales (Savage, Zhang & Yu, 2014). El conocimiento sobre las políticas de privacidad es bajo o nulo. Gran parte de los niños afirman no saber nada al respecto o desconocen cómo está configurado su perfil para determinar qué personas pueden ver sus datos y el contenido que publican. Ver Figura 7. Esto deduce que la persona, que incluye al niño en el mundo de la tecnología, desconoce o no le

da importancia a la seguridad de la información que se mueve en redes sociales y lo expuesto que queda el infante sin su conocimiento.

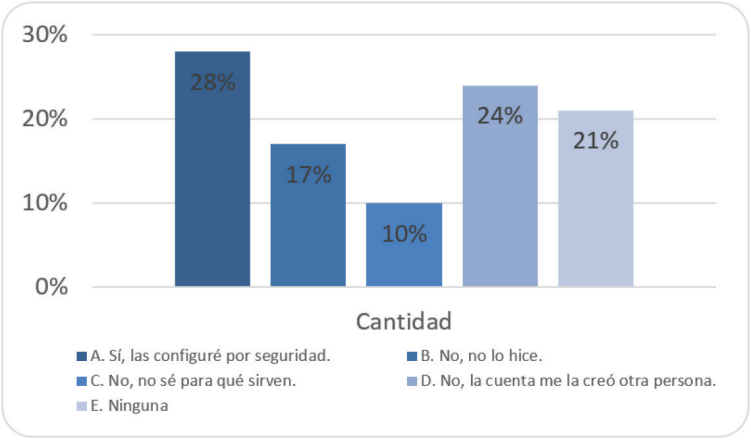


Figura 7 – Política de seguridad en redes sociales (Rueda-Rueda & Rico, 2016)

Un dato alentador es que, una buena parte de los niños, manifiesta que no comparte información, como direcciones de sus residencias, número de teléfonos con otras personas; en menor proporción están los niños que comparten las actividades que hacen. Es importante mencionar dos cosas: (i) no compartir información, no supone que el niño no este expuesto a los criminales; y (ii) que existe una cultura familiar en el mundo real hacia proteger, que hay orientar hacia el mundo digital. Como reza un refrán popular, la educación comienza en casa, y las buenas prácticas en el uso de las tecnologías no son la excepción.

Generalmente, los padres solo se limitan a dotar a sus hijos de los recursos tecnológicos, o pueden ir más allá, enseñárles cómo usarlos, pero no se preocupan de qué uso le dan. Diversas causas provocan este fenómeno, el desconocimiento o la indiferencia son unas de ellas. Varios textos respaldan esta hipótesis. Un estudio realizado por Zona de Padres de Nominet, sobre la tendencia de los progenitores de compartir gran cantidad de fotografías de sus hijos en las redes sociales, reveló que "el 17% de los padres nunca han comprobado su configuración de privacidad de Facebook y, casi la mitad, el 46%, solo han constatado una o dos veces, a pesar de que la red social sigue siendo la plataforma más común para compartir fotos" (Nominet, 2015). El 70% de los padres encuestados usan el teléfono inteligente para tomar la fotos de sus hijos, pero solo el 49% de esa fracción eran conscientes que los datos de localización de dónde se tomaron podían ser almacenados; en cuanto a las políticas establecidas por las compañías, ese mismo estudio afirmó que "el 39% cree que poseen los derechos exclusivos a las imágenes publicadas en Facebook y el 17% piensa lo mismo para Instagram" (Nominet, 2015).

El estudio *A new privacy paradox: Young people and privacy on social network sites*, realizado por la Universidad de Oxford, demuestra que son las personas jóvenes los usuarios que más se interesan y se preocupan por su privacidad, más que las personas adultas; también afirma que "los jóvenes de entre 16 y 18 años, tienen una media de 4,1

cuentas en redes sociales, cifra que crece conforme se cumplen años". Pero no todo está en contra de los adultos. El estudio también revela que el 47% comparte sus contraseñas con amigos o pareja. En las edades adultas se presenta en menor proporción (Blank, Bolsover & Dubois, 2014).

En el libro *Inseguridad en las redes sociales e internet: prioridad en las escuelas de la provincia de Ocaña* se puede apreciar con más detalle los resultados obtenidos de este proyecto (Cuesta Quintero et al., 2016).

3.2. Estrategias para incentivar el estudio del programa de Ingeniería de Sistemas

Este proyecto nace de la preocupación por el declive de profesionales en áreas relacionadas con la Ingeniería de Sistemas, Ingeniería en Telecomunicaciones, Ingeniería de Software y carreras afines al área de TIC, en los últimos años en Colombia. Este déficit se presenta debido a la mala percepción que tienen las personas sobre las profesiones como la Ingeniería de Sistemas y el nivel como las tecnologías de la información han penetrado en las organizaciones como apoyo al *core* del negocio.

Con el propósito de llamar la atención de los estudiantes próximos a terminar su educación básica secundaria, acerca de las carreras de TI, desde el semillero SIGLAS se establecieron dos iniciativas con el propósito de incentivar el estudio del programa de Ingeniería de Sistemas. Estas dos iniciativas usaron dos herramientas *hardware*, las placas Arduino Uno y Raspberry Pi 2, y se enfocaron en los estudiantes de los grados décimo y undécimo de un colegio de la ciudad de Ocaña.

Este proyecto se desarrolló en seis fases. En la primera fase, se hizo una revisión literaria sobre *gamificación*, estrategias de aprendizaje, estrategias y métodos para la utilización de las TIC en la educación y su impacto. En la segunda fase, se estudiaron las herramientas a usar, leguajes de programación y las posibles aplicaciones que se podían realizar; también se prepararon los juegos relacionados con las temáticas que se impartirían a los estudiantes, teniendo en cuenta las reglas básicas de la *gamificación* y el perfil de los estudiantes que participaron en el proyecto. En la tercera fase, se diseñaron los instrumentos de medición, en este caso, dos encuestas: la primera, se diseñó con el objetivo de diagnosticar el conocimiento de los estudiantes sobre el perfil del Ingeniero de Sistemas, su campo de acción y diferentes temas relacionados con el área de la tecnología. En la cuarta fase, se plantearon estrategias para incentivar el estudio del programa de Ingeniería de Sistemas. En la quinta fase, se ejecutaron cada una de las iniciativas, se aplicaron los instrumentos de medición y las estrategias diseñadas. En la sexta fase, se realizó el análisis de la información obtenida de las encuestas aplicadas, con el fin de determinar el impacto del proyecto.

Para el desarrollo de la estrategia se utilizó el aprendizaje significativo y la *gamificación*, para contextualizar a los jóvenes sobre la importancia del estudio de Ingeniería de Sistemas y carreras afines. Esta estrategia apuntó a incentivar a los jóvenes a través del uso de juegos, favoreciendo la competitividad y ofreciendo recompensas a los estudiantes, de esta forma, permitiendo contrastar sus resultados obtenidos.

El primer paso de la aplicación de la estrategia diseñada fue aplicar las encuestas. Una vez aplicado el instrumento de medición, se procedió con la capacitación, donde los

estudiantes se organizaron en grupos, que se crearon usando el *test* de Pensamiento Tricerebral, creado por Waldemar DeGregori (Pérez-Carrero, Rodríguez-Moreno y Sánchez-Mayorga, 2015). Las exposiciones realizadas en la capacitación abarcan temas específicos como son los lenguajes de programación, desarrollo de videojuegos, sistemas operativos, seguridad informática y redes de computadores, los cuales permiten dar una idea clara del campo de acción que tienen los ingenieros de sistemas y afines, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8 – Exposición sobre los campos de acción del ingeniero de sistemas

Además de los juegos, se realizaron laboratorios relacionados a la temática de la sesión, en el cual se entregaba una guía que explicaba paso a paso el desarrollo de un proyecto aplicable en un entorno real; estos laboratorios tenían un lapso de 2 horas para su finalización. Ver Figura 9.



Figura 9 – Laboratorio sobre Arduino y Raspberry Pi

Una vez analizados los resultados de las encuestas, se puede concluir que los estudiantes manifestaron tener claridad en el verdadero perfil profesional de un ingeniero de sistemas y profesionales afines, donde el 86% de los estudiantes aseveró tener un panorama más amplio respecto a su rumbo profesional.

Los estudiantes manifestaron que la herramienta Arduino les fue útil para aprender los conceptos básicos de electrónica y programación, y les permitió mostrar todas las fortalezas, utilidades y beneficios que proporcionan los lenguajes de programación. Asimismo, la aceptación fue muy alta para el uso de la Raspberry Pi, del cual los estudiantes opinaron que les fue útil para aprender los conceptos básicos de sistemas operativos y programación y que les permitió mostrar todas las fortalezas, utilidades y beneficios que esta placa puede ofrecer a nuevos paradigmas como es el Internet de las cosas (Rueda-Rueda y Portocarrero, 2017).

De las actividades de *gamificación*, el 94% de los estudiantes opinó estar de acuerdo en que las actividades recreativas facilitaron la comprensión de las temáticas explicadas, y el 91% del total de estudiantes afirmaron que la participación en clase les mantuvo el interés sobre la misma. En cuanto a la utilización de los talleres como parte de la capacitación, el 96% afirma que se les facilitó la comprensión de los temas tratados, y el 94 % afirmó que la utilización de los talleres facilitó la aplicación de técnicas para llevar a cabo los proyectos planteados.

Como consecuencia, los estudiantes afirmaron que el trabajo en grupo facilitó la realización de los talleres y mejoró la relación interpersonal, mientras que el sistema de calificación por puntos promovió la competitividad y el interés de trabajar por alcanzar una meta. Los estudiantes afirmaron que la capacitación les ayudó a resolver algunas de dudas referentes al uso y aplicación de la tecnología en un entorno empresarial y social, y 73% de los estudiantes manifestaron el deseo de estudiar una carrera profesional en el área de las tecnologías.

4. Conclusiones

Los procesos de enseñanza y de aprendizaje han mejorado gracias a la incorporación de las TIC en la educación. Sin embargo, las TIC ya no pueden ser una herramienta en la que se apoya la educación en sus procesos de enseñanza-aprendizaje, sino que las condiciones actuales exigen que se convierta en un área de estudio en sí misma. Estas condiciones actuales no solo requieren el alfabetismo digital, sino que también aprendan a crear tecnologías.

En este trabajo se propuso tres ejes relacionados con la educación en las TIC: enseñar a usar, enseñar a protegerse y enseñar a crear tecnología. Estos tres ejes pueden abordarse desde las IES, como agentes generadores de cambio a través de la formación de profesionales que asuman los retos que se plantean en el presente siglo.

De la experiencia obtenida en la realización de este proyecto, se confirma que las IES, a través de sus semilleros y grupos de investigación, pueden desempeñar un rol importante generando impactos positivos en las comunidades y la sociedad, siendo la extensión social uno de los tres pilares en que se fundamenta las IES, junto con la academia y la investigación.

Referencias

Argentina Cibersegura. (2017). Quienes somos. *Argentina Cibersegura*. Recuperado de https://www.argentinacibersegura.org/quienes-somos

Blank, G., Bolsover, G. & Dubois, E. (2014). A new privacy paradox: Young people and privacy on social network sites. doi.org/10.2139/ssrn .2479938

Cuesta Quintero, F., Rico Bautista, D., Coronel, A., Portillo Ballesteros, E. Y., Sanchez Espinosa, L. C., Vera Gutierrez, M. D. y Cantillo Carreño, A. F. (2016). *Inseguridad en las redes sociales e Internet: prioridad en las escuelas de la provincia de Ocaña* (Primera). Instituto Tecnologico Metropolitano. doi.org/10.22430/9789588743967

ESET Latinoamérica. (2017). Ser padres es más fácil con ESET. *Digipadres*. Recuperado de https://www.pinterest.es/pin/149463281362066452/

Marder, B. (2012). More Facebook friends means more stress, says Business School report.

México Ciberseguro. (2017). Quiénes somos. *México Ciberseguro*. Recuperado de http://www.mexicociberseguro.org/

Nominet. (2015). Knowthenet.

Pérez-Carrero, C., Rodríguez-Moreno, S. M., y Sánchez-Mayorga, L. del P. (2015). El cerebro tríadico y su relación con la curiosidad, el trabajo en equipo y la explicación de fenómenos para el desarrollo de actitud científica. *Rastros Rostros*, *17*(31), 93–103. doi.org/10.16925/ra.v17i31.1106

Rueda-Rueda, J. S., Alvernia Acevedo, S., y Rico-Bautista, D. (2016). Las TIC como agente social, una apuesta de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. In *Simbiosis del aprendizaje con las tecnologías. Experiencias innovadoras en el ámbito hispano* (Primera ed, pp. 229–342). Prensas de la Universdiad de Zaragoza.

Rueda-Rueda, J. S., y Portocarrero, J. M. T. (2017). Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora. *Revista Colombiana de Computación*, *18*(1).

Rueda-Rueda, J. S., y Rico, D. (2016). Inseguridad en las redes sociales e internet: formando en la apropiación segura de las TIC. *Revista Colombiana de Computación*, *17*(1), 55–72.

Savage, D., Zhang, X., & Yu, X. (2014). Anomaly detection in online social networks. *Social Networks*, *39*, 62–70.

World Economic Forum. (2016a). ¿Cuáles son las habilidades del siglo 21 que todos los estudiantes necesitan? *World Economic Forum*. Recuperado de https://es.weforum.org/agenda/2016/09/cuales-son-las-habilidades-del-siglo-21-que-todos-los-estudiantes-necesitan/

World Economic Forum. (2016b). New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning Through Technology. *World Economic Forum*. Recuperado de http://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Vision_for_Education.pdf

World Economic Forum. (2016c). The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*. Recuperado de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 29/11/2018
Aceitação/Acceptance: 15/01/2019

Scrum y *Peopleware*: elementos clave para la gestión en la construcción de *software*

Giovanni Hernández[1], Álvaro Martínez[2], Robinson Jiménez[3], Franklin Jiménez[4]

gihernandez@umariana.edu.co, amartinez@umariana.edu.co, amartinez@umariana.edu.co, fjimenez@umariana.edu.co

[1,2,3,4] Universidad Mariana, 520002, San Juan de Pasto, Colombia.

Pages:265–277

Resumen: Este trabajo presenta cómo se validó una propuesta de trabajo adaptativa basada en *Scrum* y *Peopleware*, el estudio fue cuantitativo y descriptivo-propositivo. La población incluyó a las empresas de la Industria de S*oftware* del suroccidente colombiano. Se logró consolidar, junto con los directores de proyecto de las compañías, una propuesta para gestionar la construcción de *software* en relación con la motivación, conocimiento y trabajo en equipo. Los aportes de los colaboradores fueron la inclusión de la sensibilización y socialización del conocimiento para el equipo. En los aspectos a mejorar, se destacan el empoderamiento, motivación personal y el fortalecimiento de la comunicación grupal. Se recomienda omitir de la propuesta que se validó, elementos que sobrecarguen la adopción inicial de la forma de trabajo planteada. Finalmente, se evidenció que la adopción de técnicas de *Peopleware* en la gestión de la motivación y conocimiento en *Scrum*, logra una incidencia de favorabilidad.

Palabras-clave: Desarrollo de Software Ágil; Gestión del Desarrollo de Software; *Peopleware; Scrum*.

Scrum and Peopleware: key elements for software development management

Abstract: This work presents how an adaptive work proposal based on Scrum and Peopleware is validated, the study was quantitative and descriptive-propositive. The population included companies from the Software Industry of southwestern Colombia. It was possible to consolidate together with the project managers of the companies, a proposal to manage the construction of software in relation to motivation, knowledge and teamwork. The contributions of the collaborators were the inclusion of awareness and socialization of knowledge for the team. In the aspects to be improved, empowerment, personal motivation and the strengthening of group communication stand out. It is recommended to omit from the proposal that is validated, elements that overload the initial adoption of the form of work proposed. Finally, it is evidenced that the adoption of Peopleware techniques in the management of motivation and knowledge in Scrum, it influences favorably.

Keywords*:* Agile Software Development; Peopleware; Scrum; Software Development Management.

1. Introducción

La Construcción de *Software* hace referencia a un proceso conformado por pasos ordenados para solucionar un problema u obtener un producto, específicamente un producto software, que se utilizará para resolver un problema planteado en cualquier área. Este proceso puede convertirse en algo complejo, ya que depende de diferentes características y alcance. En este sentido, contar con una metodología para la elaboración de programas, entendida ya sea como el conjunto de técnicas, procedimientos, métodos, herramientas y soporte documentado para el diseño y desarrollo, o como lo plantea Rojas Izaquita (2011), un camino definido que debe guiar el proceso de software y que cuenta con: a) las etapas y actividades, b) los roles de las personas que interactúan, c) los artefactos o entregables, d) las herramientas que soporten el proceso; y e) los lineamientos que posibiliten la toma de decisiones. Si la forma de trabajo resulta ser ágil, es decir se fundamenta en los 12 principios descritos en el Manifiesto por el Desarrollo Ágil de *Software* (Beck et al., 2011), el trabajo de fabricar software desafía a quienes lo hacen porque se requiere cambiar las condiciones de trabajo.

Dentro de las formas ágiles de desarrollar *software*, *Scrum* se está convirtiendo en la preferida por la comunidad de ingenieros de *software* (VersionOne.com, 2018) porque puede intervenir de manera adaptativa problemas complejos, a la vez que entrega productos con máximo valor posible de manera productiva y creativa. Además, se enfoca en agregar beneficio a los procesos de negocio de los clientes mediante la verificación continua, adaptación e innovación (Schwaber & Sutherland, 2017). En *Scrum*, el equipo de trabajo es fundamental para culminar con éxito cada proyecto, en este sentido en DeMarco & Lister (2013) se plantea cómo realizar la gestión de la complejidad de la labor en conjunto cuando se construye *software*, estableciendo estrategias para lograr equipos efectivos y eficientes (Kärpänoja, Mikkonen, Lehtonen, & Virtanen, 2016).

Las empresas de la Industria de *Software*, en cuanto a su operación o funcionamiento, han venido avanzando en los diferentes factores que intervienen al momento de construir *software*, aspecto relevante para determinar el éxito o fracaso de los proyectos. *Chaos report* es un informe que publica el Stadish Group, sobre el estado de la industria de desarrollo de *software*. Según este reporte, de 50 000 proyectos analizados en el mundo, para el 2017, un 33% finalizan con éxito, un 48% fueron catalogados como cuestionables, y un 19% fracasaron (Johnson, 2018). En el informe, se puede apreciar que, de 2013 a 2017, hubo una variación de 2 puntos porcentuales tendientes a la mejora, sin embargo, los proyectos que fracasan se mantienen.

En Colombia, la industria de *software* viene creciendo en tiempos cortos y ha logrado acumular experiencia, conocimiento y capacidades para la producción y prestación de servicios informáticos en diferentes sectores. Según el indicador de competitividad, citado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (Procolombia.co, 2016), entre el 2003 y el 2014 el mercado de *software* y TI en Colombia ha crecido cinco veces su tamaño; y cuenta con una infraestructura instalada capaz de soportar operaciones de talla mundial, este hecho manifiesta la necesidad de trabajar en el sector con métodos que den respuesta oportuna y de calidad a las exigencias de los clientes. En Tigre & Marques (2009), se precisa cómo las micro y pequeñas empresas dominan el sector económico de fabricación de *software*; un ejemplo concreto de esta tendencia se encuentra en el suroccidente colombiano que desde 2012 cuenta con más de 21 empresas, convirtiéndose

en una fuente generadora de empleos directos (Hernández, Martínez, Argote, & Coral, 2015). Toda esta situación descrita manifiesta la necesidad de intervenir el sector con propuestas que permitan a las empresas modificar sus formas de trabajo para ser más competitivos en este mercado global de aplicaciones.

Otros autores, ya han indagado acerca del problema objeto de estudio, en Hernández et al. (2015), por ejemplo, se planteó de forma teórica una propuesta basada en *Scrum* para las empresas de la Industria de *Software* en una ciudad colombiana en particular. Este estudio, se construyó a partir de las características fundamentales de la forma de trabajo de las empresas, sin embargo, no se validó, ni tampoco se hizo un proceso de adopción por parte de las compañías colaboradoras. En Waardenburg & Vliet (2013) se reconocen problemas de comunicación, de definición del *done* y de manejo del cambio al implementar *Scrum* en empresas con un ambiente complejo de trabajo, donde se combinan métodos tradicionales con las ágiles, pero no se plantean soluciones que incluyan técnicas de *Peopleware* como si se formula en este trabajo.

Trabajos de revisión teórica acerca del tema en cuestión, también fueron consultados. En Stavru (2014), por ejemplo, se realiza un estudio documental acerca de la rigurosidad e integridad de trabajos documentales sobre el uso de métodos ágiles en la fabricación de *software*, como resultado se consideró únicamente a uno de los nueve estudios revisados, como trabajo científico y se dan recomendaciones para mejorar la calidad de este tipo de investigaciones. Factores desafiantes en el uso de *Scrum* en el ámbito del Desarrollo de *Software* Global fueron encontrados en Hossain, Babar & Paik (2009), particularmente aspectos que tienen que ver con la comunicación interna en los equipos y procesos de colaboración y coordinación; se plantean también algunas causas y consecuencias de dichos elementos, pero no se proponen soluciones al respecto desde las técnicas de *Peopleware*. La búsqueda sistemática en artículos hecha por Silveira y Silva (2015) mostraron aspectos investigativos como tipo de estudio, tipo de validación trabajada, métodos ágiles analizados y criterios para las metodologías a la medida detalladas. Las validaciones que se aplicaron en los textos examinados fueron cuestionarios y juicio de expertos; en este trabajo se anima a los interesados a formular propuestas de métodos ágiles a la medida basadas en la revisión de literatura hecha, mas no en un estudio de caso como se realiza en este artículo.

En cuanto a *Scrum*, se encontraron trabajos investigativos orientados a describir la experiencia de haber utilizado este método en la construcción de un producto *software* (Bannerman, Hossain, & Jeffery, 2012; May, Morales, Marrufo & Martín, 2013); estos estudios permitieron identificar aciertos y dificultades en la aplicación de los principios definidos en *Scrum* cuando se elabora *software*. En Martinez, Ramon & Bertone (2012), Colla (2012) y Vlaanderen, Brinkkemper, Jansen & Jaspers (2011) se analizan, por una parte, las consecuencias que tiene aplicar los principios de *Scrum* en casos reales, por otra se evalúan resultados de aplicar el modelo de mejora Competisoft junto con *Scrum* en un proyecto concreto. Si bien todas estas publicaciones profundizan en métodos para desarrollar *software*, no proponen alguna forma de adoptar *Scrum*, ni tampoco indagan cómo elementos de *Peopleware* pueden incluirse en él, para consolidar una nueva forma de trabajo para las empresas de un contexto dado.

Como pudo leerse anteriormente, los antecedentes consultados lograron mostrar una brecha investigativa en lo referente a la inclusión de técnicas de *Peopleware*. En este

orden de ideas, el presente trabajo plantea como propósito principal validar la propuesta basada en *Scrum* (Hernández et al., 2015) y con base en los resultados, incluir técnicas de *Peopleware*.

Este artículo comienza con la descripción de la metodología, que explica la forma de llevar a cabo la investigación. Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos y se hace una discusión acerca de algunas consideraciones y reflexiones frente a los hallazgos y finalmente se presentan las conclusiones.

2. Metodología

Para establecer el nivel de aplicabilidad que tiene la metodología propuesta en Hernández et al. (2015), se utilizó como método el proceso de investigación de estudios de caso en Ingeniería de *Software* (Runeson, Höst, Rainer, & Regnell, 2012) con las etapas: diseño, preparación, recolección, análisis y reporte. En la fase de diseño, se definió el propósito de la investigación y se planeó el estudio de caso. Las preguntas formuladas fueron: ¿Cuáles son las percepciones de los líderes de proyecto en relación con la propuesta basada en *Scrum*? ¿Qué elementos se pueden mejorar, incluir u omitir de la propuesta basada en *Scrum?* ¿Qué técnicas de *Peopleware* se pueden alinear con la propuesta basada en *Scrum*? ¿Cómo poner en marcha la propuesta basada en *Scrum* y *Peopleware*? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la propuesta basada en *Scrum* y *Peopleware*? En la fase de preparación, se establecieron las técnicas para recopilar y analizar datos, se elaboraron los instrumentos y se los validó mediante juicio de experto. En la fase de recolección, a los directores de proyecto de las empresas de la Industria de *Software* en el suroccidente colombiano, se les socializó la propuesta y posteriormente, se aplicó una encuesta y se trabajó una entrevista semiestructurada con el objeto de corroborar y profundizar la información recolectada en la encuesta. En la fase de análisis, se utilizó: estadística descriptiva y análisis documental. Como resultado, se obtuvo una matriz con los aspectos a incluir, mejorar y omitir en la propuesta objeto de validación.

Para ajustar la propuesta estudiada, se tomó como fuente primaria de información, la matriz construida y los referentes teóricos de *Peopleware*, a partir de ellos, se realizó un análisis documental y se efectuaron transformaciones a la propuesta original. Paso seguido, se puso en funcionamiento la propuesta basada en *Scrum* y *Peopleware*, formulando un solo proyecto común, posibilitando la comparación de desempeño. Finalmente, en la fase de reporte de resultados, se sintetizaron y presentaron los hallazgos, a través de formas de visualización que propiciaron una mayor comprensión.

La razón fundamental para realizar el estudio de caso fue proponer un método a la medida basado en *Scrum* y técnicas de *Peopleware* para las empresas de la industria de *software* del suroccidente colombiano, que se basa en la propuesta teórica de Hernández et al. (2015). Para seleccionar las empresas que participaron en el estudio de caso, se realizó una invitación abierta, de las cuales decidieron colaborar ocho. Las unidades de análisis fueron los elementos metodológicos (fase, rol, artefacto, herramienta y lineamiento), y la relevancia que pueden tener estos elementos, al ser adoptados por los directores de proyecto de las empresas, en relación con la mejora, inclusión u omisión. Para el aseguramiento de la calidad, validación y confiabilidad de los instrumentos utilizados, se empleó la técnica juicio de expertos y antes de ser aplicados, se efectuó una prueba piloto.

3. Resultados

3.1. Validación de la propuesta basada en *Scrum*

Las percepciones sobre la aplicabilidad de la propuesta a validar (Hernández et al., 2015) se establecieron en colaboración con expertos en el tema, en particular fueron ocho directores de proyecto de las empresas SITI Solutions, X-net Computación, HashitoApps, Grama Group SAS, SAP en línea, Grupo Sinergia LTDA, Technosmart y Acarolabs SAS. La evaluación se realizó a la luz de los siguientes indicadores: mejora, inclusión y omisión de elementos de la propuesta de trabajo original basada en *Scrum*. Por mejora, se entiende aquellos elementos metodológicos (fase, rol, artefacto, herramienta y lineamiento) que son susceptibles de cambio o pueden progresar a partir de la condición o estado en el que se encuentran; inclusión se entiende como la introducción de un aspecto a los elementos metodológicos dentro de sus límites; y omisión, hace referencia a la eliminación de elementos del método que no agregan valor a la construcción de *software*.

Las repuestas de los colaboradores, en su mayoría (66,7%), sugirieron la inclusión de dos elementos, el primero hace referencia a estrategias que permitan el desarrollo del teletrabajo, haciendo uso de lineamientos y herramientas para propiciarlo; el segundo tiene que ver con habilidades de arquitecto de *software* como complemento al rol del *product owner*. En cuanto a los aspectos a mejorar, se encontraron: la sensibilización al equipo mediante un proceso de adaptación y capacitación para las empresas en las que se vaya a implementar la forma de trabajo y capacitarlo en el uso de buenas prácticas en la construcción de *software*; también, buscar estrategias para motivar de forma permanente a los integrantes del equipo. Además, los expertos consultados profundizan en establecer formas de potencializarlo desde lo personal y sugieren recolectar datos sobre los resultados de la implementación de la propuesta de trabajo basada en *Scrum* para conocer cuál ha sido el efecto o impacto que está generando en las empresas. Finalmente, como aspecto a omitir los participantes enfatizan en no hacer uso de herramientas software de cualquier tipo durante la etapa de aprendizaje e implantación de la propuesta de Hernández et al. (2015), con el fin de evitar sobrecarga en el contenido de la misma.

3.2. Ajustes a la propuesta basada en *Scrum* y alineación con *Peopleware*

A partir de las sugerencias hechas por los colaboradores del estudio, se realizaron ajustes a la propuesta original de trabajo. Inicialmente y con el objeto de superar la crisis generada por el cambio de método y minimizar las consecuencias de salir de la zona de confort por parte de los ingenieros de las empresas, se decidió diseñar un conjunto de cuatro adopciones incrementales, que pueden verse en la Figura 1.

En la primera adopción, se plantea incorporar el rol de *product owner*, quién será el encargado de recopilar las necesidades del cliente y plasmarlas a través de historias de usuario. Para apoyar esta actividad, se utiliza como herramienta de gestión *Kunagi*, que permite construir y compartir el *product backlog*. La adopción se realiza de manera iterativa e incremental (*Sprint*). En esta fase, se recomienda la definición de las tareas que se requieren para tomar una necesidad del *product backlog* y ponerla en funcionamiento a satisfacción del cliente (*Done*).



Figura 1 – Adopciones de la propuesta para la gestión de la construcción de software basada en *Scrum* y *Peopleware*.

En una segunda adopción, se plantea incorporar el rol de *Scrum master*, encargado de ayudar a adoptar *Scrum*, liderar el equipo, propiciar la autogestión del grupo y sus integrantes, y ayudar a la resolución de conflictos. En esta etapa, se utilizó *Kunagi* para priorizar y seleccionar las historias de usuario del *sprint*, y para poder observar gráficamente el estado de las tareas, se apoyó con un tablero *Kanban*, que provee *Kunagi*.

La tercera adopción, plantea empoderar al equipo desarrollador en actividades de autogestión y multifuncionalidad. Dos técnicas de *Peopleware* se utilizaron en esta etapa, la primera *Niko Niko*, que permite a cada integrante registrar una valoración sobre el estado de ánimo, antes de iniciar una jornada de trabajo. La segunda *Pomodoro*, específicamente en la búsqueda de periodos de concentración. Además, como tarea del *Scrum master*, se recomienda fomentar la gestión disciplinada de las tareas del *done* en la herramienta *Kunagi*, y así visualizar gráficamente cuál es el estado del proyecto; esta acción, se logró mediante el *burndown chart*.

En la última adopción, se plantea continuar con el empoderamiento del equipo desarrollador y así consolidarlo como un grupo capaz de auto gestionarse y ser multifuncional. En esta fase, se utilizó la técnica *Mob programming*, que permitió al grupo trabajar sobre los aspectos complejos del proyecto. Para compartir el conocimiento y la experiencia lograda en el desarrollo de las tareas y fomentar la multifuncionalidad al interior de cada equipo, se propone incorporar la técnica *Coding Dojo*, que permite, a través de sesiones de trabajo donde participan el equipo de desarrollo, realizar una tarea compartida –del proyecto o una nueva temática por aprender– durante un periodo de tiempo, que al final se constituye en una red de conocimiento (K. Vlaanderen et al., 2011). Además, en esta etapa el *Scrum master* debe continuar fomentando la gestión disciplinada de las tareas del *done* en la herramienta *Kunagi*, y así poder visualizar de manera gráfica o en papel y en tiempo real la complejidad con la que se está trabajando.

3.3. Puesta en marcha de la propuesta basada en *Scrum* y *Peopleware*

Para la puesta en funcionamiento de la propuesta, se formuló un solo proyecto común para todos los equipos y así posibilitar la comparación del desempeño. Se conformaron cuatro equipos, dos de cinco integrantes, uno de cuatro y uno de seis. La distribución se realizó de manera libre, de esta forma se permitió a los equipos conformarse de acuerdo con los criterios o afinidades de manera autónoma. El único criterio definido fue el del tamaño no inferior a cuatro, ni mayor a nueve. Esta selección, estuvo alineada con McConnell (2006) donde se demuestra que, en equipos con más de nueve integrantes el esfuerzo se aumenta, pero el tiempo no se reduce; este hecho también es compartido y complementado en Schwaber & Sutherland (2017), al plantear que el tamaño ideal es de siete integrantes.

En la Tabla 1, se observa el desempeño de los cuatro grupos participantes, medido en cantidad de historias implementadas y horas trabajadas. En todas cuatro adopciones del método propuesto, la tendencia es la inversión de más tiempo en las adopciones 2 y 4, porque fue en estas fases donde se realizó la retrospectiva (Schwaber & Sutherland, 2017). El proceso de implementación de historias de usuario (Ver Fig. 2) indicó que los equipos 1 y 3 tuvieron mejor desempeño que los otros. También puede apreciarse el bajo desempeño del equipo 4 en todas las adopciones; además puede notarse que las adopciones donde se culminaron muchas más historias de usuario fueron la 1 y 2, es decir, cuando se incorpora los roles *product owner* y *Scrum master*, se utiliza *Kunagi*, se define el *done* y se trabaja con un tablero *Kanban* para visualizar la cantidad de trabajo en progreso.

Equipo	Horas trabajadas	Historias de usuario implementadas	Horas/Historia
1	172	31	5.55
2	81	20	4.05
3	131	27	4.86
4	154	12	12.84

Tabla 1 – Desempeños totales de los equipos en las cuatro adopciones

En la Figura 2, se observa que al contrastar los dos valores de desempeño –horas trabajadas vs historias de usuario hechas– se corroboran los puntajes más bajos en el equipo 4 (color verde), que requiere mucho más tiempo para cumplir su labor; mientras que para los equipos 2 y 3 (azul y rojo respectivamente) los datos son favorables, en la medida en que requieren menos tiempo para implementar cada historia de usuario.

Los datos de las sumatorias totales de las dos variables analizadas para los cuatro equipos y adopciones presentados en la Tabla 1, revelan la complejidad que significa hacer *software*, porque cada integrante de un equipo de trabajo tiene conocimientos, aptitudes, actitudes y motivaciones diferentes; y al interactuar con otras personas muestran que no existe linealidad, un patrón o una regla que se pueda identificar en el desempeño diferente a lo evidente, es decir, el equipo 2 es el de mayor desempeño, el equipo 4 es el de menor desempeño y una medida de tendencia central, no proporciona información global del desempeño de los equipos.

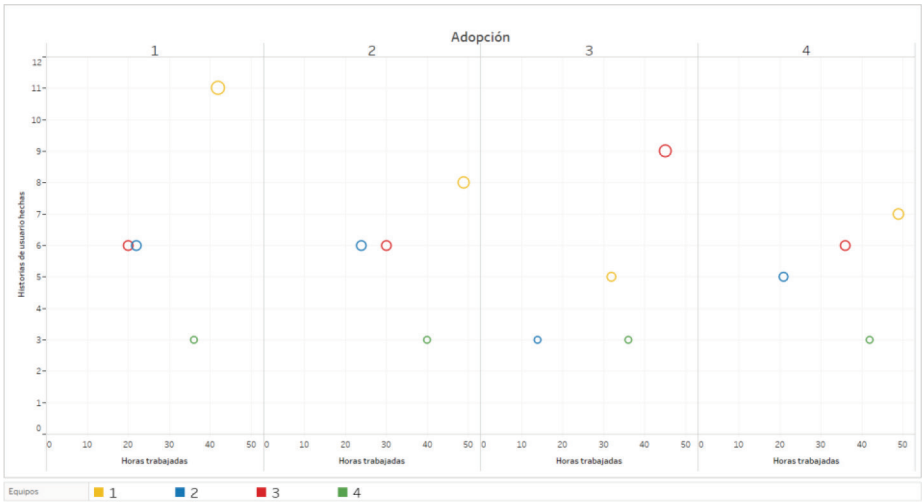


Figura 2 – Desempeño de los equipos colaboradores.

3.4. Ventajas y desventajas de la propuesta basada en *Scrum* y *Peopleware*

El análisis de los efectos a los cambios en la propuesta, se realizó desde la variable "elemento metodológico", a través de los indicadores: etapa, rol, herramienta, lineamiento, técnica y desempeño. El proceso llevado a cabo incluyó la creación de un clasificador de incidencia, para identificar ventajas y desventajas en los cambios realizados a la propuesta.

Respecto al clasificador de incidencia, el procedimiento matemático que permitió clasificar en ventajas y desventajas los elementos metodológicos, inicia con la definición del nivel de valoración, que se sustenta en una escala Likert con los juicios de incidencia: muy bajo (MB), bajo (B), ni alto-ni bajo (NA, NB), alto (A) y muy alto (MA). A cada juicio le corresponde un valor que va desde 1 para MB hasta 5 para MA.

Posteriormente, por cada indicador, se debe establecer el juicio de valor (ver Tabla 2) de la forma como se validó y desarrolló la propuesta modificada.

Indicador	***Elemento***	***Valoración de la propuesta validada***	
		Juicio	***Valor***
Indicador 1	Elemento 1		
	Elemento 2		
	...		
	Elemento m		
Indicador 2			
...			
Indicador n			

Tabla 2 – Asignación del juicio de valor

Dónde *n*, es el total de indicadores que se han tenido en cuenta para la validación de la propuesta; y *m* es el número total de elementos que hacen parte del indicador.

Posteriormente, se realiza la sumatoria de los valores para cada indicador y se calcula el porcentaje que representa en relación con el máximo valor posible. Estos valores se registran en la Tabla 3.

Indicador	***Valor Total del Indicador – Vti***	***Porcentaje del Valor Total del Indicador - %Vti***
Indicador 1	Vti 1	%Vti 1
Indicador 2	Vti 2	%Vti 2
…	…	…
Indicador n	Vti n	%Vti n

Tabla 3 – Valoración del factor

Donde,

$$Vti = \sum_{k=0}^{n} \text{Elemento k} \quad \text{y} \quad \%\text{Vti} = \left(\sum_{k=0}^{n} \text{Elemento k} \Big/ \sum_{k=0}^{n} \text{Valor MA} \right) * 100$$

Una vez se finalizado el cálculo del porcentaje del valor total del indicador -%Vti - se procede a definir los rangos para establecer el juicio de incidencia de los indicadores. Las dos categorías establecidas son: favorable y desfavorable. Favorable es el indicador, que cumple con el objetivo para lo cual fue incluido. Desfavorable es el indicador, que es adverso o aún no cumple con las expectativas para las que fue incorporado.

Finalmente, se procede a asignar el juicio de incidencia, como se presenta en la Tabla 4, para el porcentaje del valor total del indicador - %Vti.

Indicador	***Porcentaje del Valor Total del Indicador - %Vti***	***Juicio de Incidencia***
Indicador 1	%Vti 1	(Favorable / Desfavorable)
Indicador 2	%Vti 2	(Favorable / Desfavorable)
…	…	

Tabla 4 – Matriz de favorabilidad

Aplicación del clasificador. La primera actividad realizada fue, la asignación del juicio de valor para cada indicador y elemento de la propuesta como se observa en la Tabla 5.

Posteriormente, se realizó la sumatoria de los valores para cada indicador y se calculó el porcentaje que representa del máximo valor que se puede obtener para el indicador. Estos valores se pueden observar en la Tabla 6.

Indicador	***Elemento***	***Valoración de la propuesta validada***	
		Juicio	***Valor***
Etapa	*Sprint planning meeting*	A	4
	Daily meeting	A	4
	Sprint review	MA	5
	Retrospectiva	NANB	3
Rol	*Product Owner*	NANB	3
	Scrum Master	NANB	3
	Development Team	A	4
Herramienta	*Kunagi*	MA	5
	Niko Agile	A	4
	Tomato Timer	NANB	3
Lineamiento	*Burndown Chart*	NANB	3
	Reporte de complejidad	A	4
Técnica	*Kanban*	A	4
	Pomodoro	A	4
	Niko Niko	A	4
	Mob programming	A	4
	Coding Dojo	A	4
Desempeño	Historias de usuario	NANB	3
	Tiempo	NANB	3

Tabla 5 – Asignación del juicio de valor

Indicador	***Valor Total del Indicador – Vti***	***Porcentaje del Valor Total del Indicador - %Vti***
Etapa	16	80%
Herramienta	12	80%
Técnica	20	80%
Lineamiento	7	70%
Rol	10	66%
Desempeño	6	60%

Tabla 6 – Valoración del factor

Se procedió luego a definir los rangos para establecer el juicio de incidencia. Un rango mayor o igual a 60% tendrá un juicio de incidencia favorable, en caso contrario será desfavorable. Finalmente, se asignó el juicio de incidencia, como se presenta en la Tabla 7.

Indicador	***Porcentaje del Valor Total del Indicador - %Vti***	***Juicio de Incidencia***
Etapa	80%	Favorable
Rol	66%	Favorable
Herramienta	80%	Favorable
Lineamiento	70%	Favorable
Técnica	80%	Favorable
Desempeño	60%	Favorable

Tabla 7 – Matriz de favorabilidad

Todos los indicadores estudiados, clasificaron en la categoría de favorabilidad. Este resultado permitió evidenciar la posibilidad de realizar aportes a la propuesta basada en *Scrum* (Hernández et al., 2015), desde la perspectiva de los expertos o interesados, logrando dar respuesta a los interrogantes que se plantearon desde el enfoque teórico de *Peopleware*, para lograr equipos productivos como también se evidencia en Kärpänoja et al. (2016) cuando se trata de procesos de entrega continua. De igual forma, de manera consiente, los líderes de proyecto colaboradores, en la propuesta validada encontraron respuesta a los problemas que involucran la complejidad de hacer *software*, bajo una serie de condiciones específicas como: tiempo, costo, necesidades y valor agregado.

4. Conclusiones

Uno de los aspectos de mayor preocupación, en la adopción de la propuesta creada en Hernández et al. (2015) por parte de los directores de proyecto colaboradores, fue la crisis que generó el cambio en la forma de trabajar y las consecuencias que trajo salir del estado de confort en el que se encontraban los ingenieros de las empresas al adoptarla. En ese sentido, y con el objeto de superar las dificultades mencionadas, se propuso un conjunto de adopciones incrementales para incorporar los elementos que plantea la nueva propuesta.

La propuesta basada en *Scrum* original, fue transformada a partir de las recomendaciones hechas por los líderes de proyecto que participaron en el estudio, específicamente, se incluyeron técnicas de *Peopleware,* y se omitieron contenidos y actividades que sobrecargan el trabajo en equipo.

El clasificador de incidencia creado en este trabajo, permitió establecer una manera de medición cuantitativa al momento de identificar ventajas y desventajas en la aplicación de la propuesta basada en *Scrum* y *Peopleware*.

El estudio de caso trabajado en esta investigación, se realizó con 8 de las 15 empresas invitadas, no obstante, se debe buscar mecanismos para vincular a la mayoría, porque los aportes que realicen los directores de proyecto serán relevantes hacia un futuro uso y adopción del método.

Referencias

Bannerman, P. L., Hossain, E., & Jeffery, R. (2012). Scrum practice mitigation of global software development coordination challenges: A distinctive advantage? *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 5309–5318. DOI: 10.1109/HICSS.2012.512

Beck, K., Beedle, M., Bennekum, A. van, Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., … Thomas, D. (2011). Manifiesto por el Desarrollo Ágil de Software. Recuperado de http://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html

Colla, P. (2012). Marco para evaluar el valor en metodología Scrum. *13th Argentine Symposium on Software Engineering, ASSE 2012*, 32–46.

DeMarco, T., & Lister, T. (2013). *Peopleware. Productive Projects and Teams* (3rd ed.). Boston: Addison-Wesley.

Hernández, G., Martínez, Á., Argote, I., & Coral, D. (2015). Metodología adaptativa basada en Scrum : Caso empresas de la Industria de Software en San Juan de Pasto - Colombia. *Revista Tecnológica ESPOL*, *28*(5), 211–223. Recuperado de http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/435

Hossain, E., Babar, M. A., & Paik, H. (2009). Using Scrum in Global Software Development : A Systematic Literature Review. *Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering Using*, 175–184. DOI: 10.1109/ICGSE.2009.25

Johnson, J. (2018). *CHAOS Report: Decision Latency Theory: It Is All About the Interval*. Boston: Lulu.com, 2018.

Kärpänoja, P., Mikkonen, T., Lehtonen, T., & Virtanen, A. (2016). Exploring Peopleware in Continuous Delivery. In *XP '16 Workshops*. Edinburgh: ACM.

Martinez, N., Ramon, H., & Bertone, R. (2012). Aplicabilidad de Competisoft a partir de un método ágil como Scrum. Un caso práctico. *XVIII Congreso Argentino de Ciencias de La Computación*, 1–11. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23722/Documento_completo.pdf?sequence=1

May, M., Morales, Y., Marrufo, J., & Martín, M. (2013). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbook T-II. Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos. In M. Ramos & V. Aguilera (Eds.) (pp. 176–190). México: ECORFAN.

McConnell, S. (2006). *Software Estimation. Demystifying the Black art* (1st ed.). Washington: Microsoft Press.

Procolombia.co. (2016). *Software y Servicios de TI - Invierta en Colombia*. Bogotá. Recuperado de http://inviertaencolombia.com.co/sectores/servicios/software-y-servicios-de-ti.html

Rojas Izaquita, M. E. (2011). *Agilizando lo ágil: un framework para la desarrollo de software bajo el modelo CMMI en compañías que usan metodologías ágiles de desarrollo de software usando el modelo acelerado de implementación (AIM)*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/8889/

Runeson, P., Höst, M., Rainer, A., & Regnell, B. (2012). *Case study research in softare engineering - Guidelines and Examples*. New Jersey: JohnWiley & Sons, Inc.

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). *La Guía de Scrum* (Vol. 1). Recuperado de http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100

Silveira Campanelli, A., & Silva Parreiras, F. (2015). Agile methods tailoring – A systematic literature review. *The Journal of Systems & Software*, *110*, 85–100. DOI: 10.1016/j.jss.2015.08.035

Stavru, S. (2014). A Critical Examination of Recent Industrial Surveys on Agile Method Usage. *The Journal of Systems & Software*. DOI: 10.1016/j.jss.2014.03.041

Tigre, P., & Marques, F. (2009). Aspectos eonómicos del software y consecuencias. In *Desafíos y oportunidades del software en América Latina* (1st ed., pp. 1–20). Bogotá: Mayol Editores S.A. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1990/S33826D4412009_es.pdf?sequence=1

VersionOne.com. (2018). *The 12th anual state of Agile report*. Atlanta - USA. Recuperado de file:///D:/Clases/Clases II 2018/Artículos/CibSE 2019/7-versionone-12th-annual-state-of-agile-report.pdf

Vlaanderen, K., Brinkkemper, S., Jansen, S., & Jaspers, E. (2011). The agile requirements refinery: Applying SCRUM principles to software product management. *Information and Software Technology*, *53*(1), 58–70. DOI: 10.1016/j.infsof.2010.08.004

Waardenburg, G. Van, & Vliet, H. Van. (2013). When agile meets the enterprise. *Information and Software Technology*, *55*(12), 2154–2171. DOI: 10.1016/j.infsof.2013.07.012

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 05/12/2018
Aceitação/Acceptance: 21/02/2019

Immersive Virtual Reality App for Mild Cognitive Impairment

José Varela-Aldás[1a,1b], Guillermo Palacios-Navarro[2], Iván García-Magariño[3]

josevarela@uti.edu.ec, guillermo.palacios@unizar.es, igarciam@ucm.es

[1a] Universidad Tecnológica Indoamérica, 180103, Ambato, Ecuador.

[1b,2] University of Zaragoza, 44003, Teruel, Spain.

[3] Complutense University of Madrid, 28040, Madrid, Spain

Pages:278–290

Abstract: A characteristic symptom of neurodegenerative diseases is the deterioration of the memory. These problems usually worsen with the progression of the disease, being the cognitive rehabilitation an important tool in order to slow down the progress of the disease in the patient. This work presents the development of a mobile virtual reality application through a serious game to boost the memory by solving mazes in three levels of difficulty. The application uses the Gear VR glasses to provide the user with an immersive experience. The results present the proposed application, showing the components of the virtual environment.

Keywords: virtual reality; mobile application; immersive environment; memory deterioration.

1. Introduction

Memory loss is the main symptom of multiple neurodegenerative diseases (Parkinson's, Alzheimer's, sclerosis, and so on). These diseases currently have no cure, but there are several treatments to slow down their progress, allowing to prolong life and improve the patient's living conditions. The traditional treatments include brushing up on activities and exercising the brain, for which the assistance of qualified personnel and continuous rehabilitation sections are required, however, the use of technology has changed the methodology used to stay mentally sharp (Wang & Holsinger, 2018).

With the rapid development of new information and communication technologies, currently, new prospects for assistance in the healthcare sector have been inserted. Specifically in assisting cognitive rehabilitation therapies, virtual reality (VR) environments have been developed in a way which allows the patient to train their memory in serious game applications with multiple alternatives of use. At a basic level, virtual environments are presented on screens and manipulated using external tactile inputs, but at an immersive level, the system has head-mounted displays (HMDs), which allow the user to interact realistically with the game (Chicaiza et al., 2018). However, an inherent limitation of this technology is the high costs of specialized equipment which rehabilitation would require.

A sector with more technological improvements are the Smartphones, which currently have more processing features and improved accuracy in their sensors than ever before, so it is not a problem to implement VR applications in these devices, and with the support of low-cost components, smartphones can be used as portable HMDs, where the device's screen shows the virtual environment to the user (Zhang & Ho, 2017). This technological combination facilitates the use of cognitive virtual rehabilitation in patients with neurodegenerative diseases, without the need of leaving their home.

In this work, a serious game of virtual reality is presented to train the memory of patients with neurodegenerative diseases in its early stages. The main purpose of the proposed application is to generate a computer created environment for the patient to solve a labyrinth in three degrees of difficulty, previously reviewing the possible solutions from an aerial view. This application is implemented on a mobile device, where Samsung Gear VRs are used to obtain the immersion effect; an operation evaluation is performed and a SUS usability test is applied to the user. This paper is structured as follows: In Section 2, a review of the state of the art is given; In Section 3, the design and implementation of the proposed application are described. In Section 4, the experimental results are described. Finally, in Section 5, conclusions are established and future work is outlined.

2. State of the art

Currently, virtual reality is a widely applied tool in multiple areas. In this context, its characteristics have been studied and the user's reactions have been compared with respect to real experience. (Raptis, Fidas & Avouris, 2018) studies the effects of a fictitious reality in tourism and recognizes its advantages, the results support the importance of these systems; (Ding, Zhou & Fung, 2018) finds that enjoying cinema in VR exceeds typical 2D entertainment. On the other hand, a field which makes the most of virtualization technology is health, developing systems with virtual elements in the rehabilitation of various diseases. (Lv et al., 2017) designs a serious game for the rehabilitation of Dysphonia, and tests with experts and patients support the use of the voice game; (Arango, Mazo & Peñapalacio, 2013) implements an augmented reality system to treat phantom limb syndrome; and (Wang & Reid, 2013) uses a VR application to improve contextual processing in children with autism where cognitive flexibility was demonstrated.

A specific case of the use of information technologies in health is the treatment of neurodegenerative diseases, for which applications have been developed which slow down the decline in memory (Jonsdottir et al., 2018; Zanier et al., 2018), show that these symptoms are found in patients with diseases such as Alzheimer's, multiple sclerosis, Parkinson's, Huntington's, and so on, but they also manifest due to aging in older adults (Chicaiza et al., 2018) demonstrates experimental results of a complex system of virtual reality implemented which favors the exercise of memory. The use of these VR applications is usually accompanied by an examiner who monitors the progression of the disease, but in cases of mild cognitive impairment the user might perform their virtual rehabilitation from home, facilitating the treatment of the disease.

The insertion of technological systems to support rehabilitation usually involves high costs, because they require up-to-date technology and specialized software, being the use of mobile devices a solution to this problem; (Razo Salas, Vázquez Reyes & Solís

Robles, 2016) uses the screen of a mobile device to visualize the images in an endoscopic process, results which are approved by a specialist; (Green et al., 2018) proposes a mobile application to assist in the providing of anesthesia; similarly, cognitive problems can be supported by mobile applications, (Yasini & Marchand, 2016) analyses the use of a smartphone in the cognitive stimulation of older adults and the results indicate that users do not get tired of playing with their tablet over time and that the average daily time spent on games increases significantly. Furthermore, combining mobile devices with virtual reality, involves several elements for its operation; (Zhang & Ho, 2017) analyses the use of immersive mobile applications for the rehabilitation of addictions through a Smartphone and an HMD device, concluding the benefits of the appropriate use of mobile virtual reality in this area of health.

3. Proposed system

The proposed structure involves several components to support the virtual rehabilitation system. To facilitate the usability of the system, the proposal has been designed considering the installation costs, the requirements of the workplace, and the difficulty of operation. The system consists of a virtual reality environment which allows exercising the memory of the patient in different levels of difficulty. In order to achieve a certain level of immersion, portable HMDs are used to support the visualization of the application from virtual reality glasses for Smartphone, where the environment is controlled by the user from a manual command. The components of the system are described in the following sentences.

Figure 1 presents the proposed system for the cognitive rehabilitation of patients with memory impairment. At this point, the user uses two devices to interact with the rehabilitation system: Gear VR headset is used to achieve the player's immersion in the virtual environment as an HMD device, allowing the user to look at the environment and control the visualization through the movements of the head and the hand controller. This allows the patient to navigate in the virtual environment and select the options of the application. On the other hand, the Smartphone is the most important element of the system because it performs the processing of the aforementioned devices, the virtual reality application processes, the data corresponding to the Gear VR, and the hand controller.

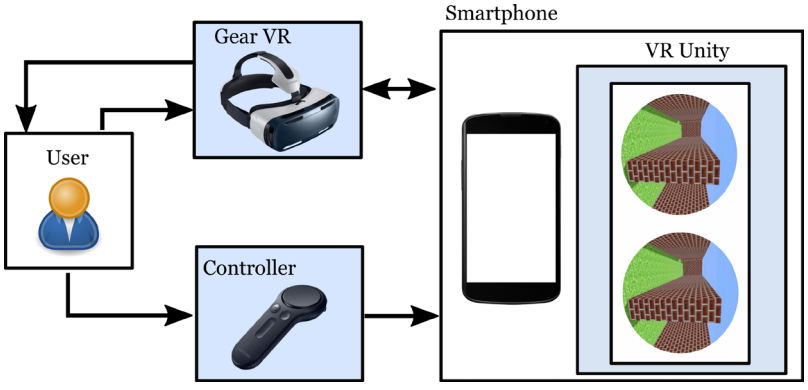


Figure 1 – Mobile virtual reality system

The application of the virtual environment allows the patient to exercise their memory by solving mazes in 3 levels of difficulty. Figure 2 shows a summary of the proposed application, where the main menu contains the access button to the application, then the patient must perform the user identification to load their previous data. The secondary menu allows the user to select the difficulty level and display the previous ratings using the stored data. Within the game, the user can firstly see an aerial view to perform the selected memory exercise, reviewing the possible exit routes of the maze and then he/she is positioned somewhere in the maze. The next instruction is to try to get out of the maze, reminding the shapes previously displayed. Once achieved the objective, the application presents the results of the experiment and this information is stored in a database; the user can continue with the game experiments or exit if desired. For a better understanding of the components of the application, the following section describes the elements of the Virtual Reality application.

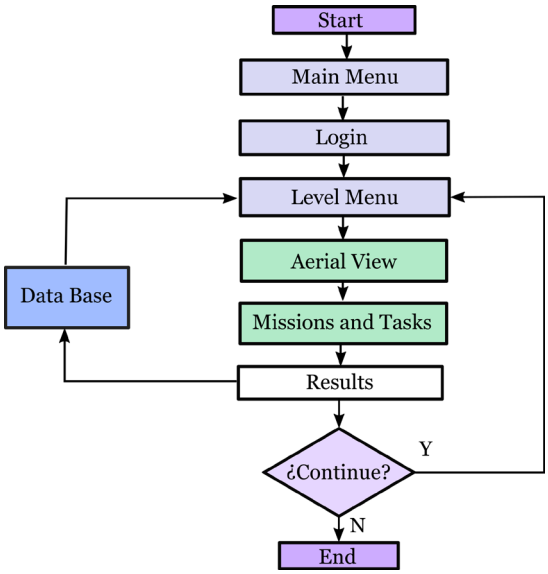


Figure 2 – Proposed application

4. Development of the application

The virtual reality application has been developed in unity due to the flexibility in the selection of hardware, allowing to install the application on a Smartphone to use it as an HMD device. Figure 3 presents the components of the virtual system, where the three main components can be differentiated: The Game Objects, which includes all the elements that make up the virtual environment; the virtual reality, which coordinates between the virtual environment and the devices for interaction with the user; and the database, which stores the information related to the features of the game and the results of the users.

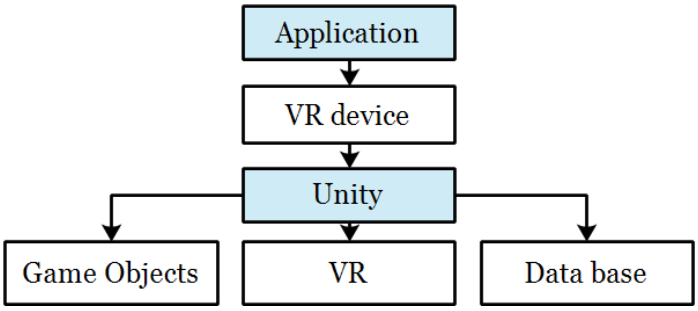


Figure 3 – Application components

4.1. Virtual environment

The virtual environment is made up of three-dimensional elements which have been developed in different support platforms. Figure 4 shows the three stages for the creation of virtual objects.

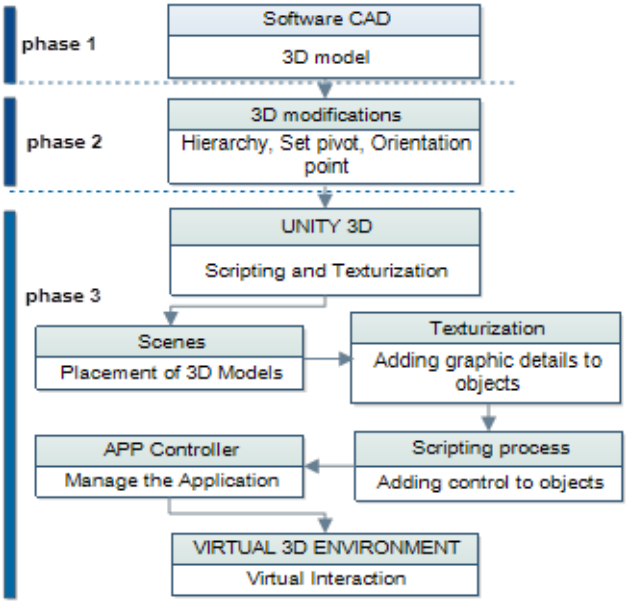


Figure 4 – Development of the virtual environment

In a first phase it is necessary to build the solid objects in a CAD software which allows developing the 3D models; later, these models require changes in their characteristics, such as the creation of hierarchies and the establishment of points of orientation. Finally, these files are exported to unity to be textured and used in virtual reality scripts. The new objects placed in unity need modifications to be used in the virtual reality application,

starting with the construction of scenes through the location of the exported models. Additionally, details are added to the graphics by applying textures to the objects, these components are controlled by scripts to fulfill their function in the virtual reality application. These functionalities are evaluated and corrected in a process of validation of scripts, finally, the user interface for user interaction with virtual scenes is developed.

The serious game is developed to exercise short-term memory in the user. This rehabilitation tool allows the user to memorize details of the environment and to provide ways to move in computer-generated environments. The main activity is to solve a maze which is initially visualized from an aerial view, allowing the user to find an exit route. Once inside the maze, geometric shapes are presented in order to increase the difficulty of the application. The exercise can be done in three levels of difficulty, as shown in Figure 5; the basic level requires finding the exit in a small maze and counting the number of geometric shapes which appear in the path; the medium level consists of solving a moderately complicated maze and memorizing the number of geometric shapes, each shape with a specific color; and the advanced level requires getting out a complex maze, remembering each of the geometric shapes with their respective color.

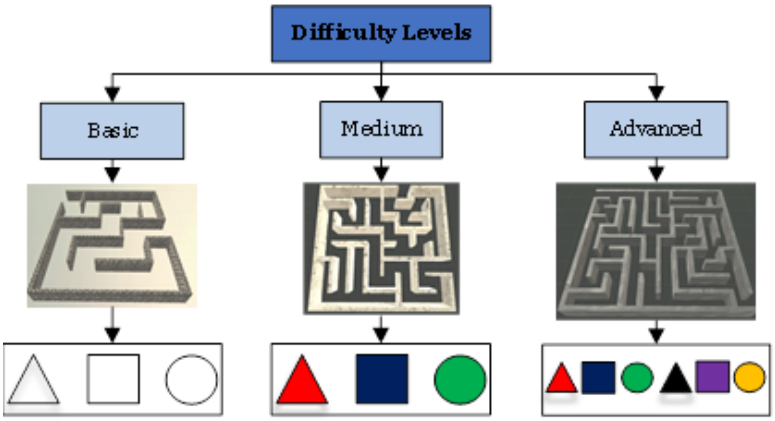


Figure 5 – Levels of difficulty

4.2. Virtual reality features

The virtual reality feature is integrated by the locomotion of the player, the interaction of the user with the virtual environment, and the user interface.

Locomotion

The movements on the virtual environment are developed using the smooth artificial locomotion technique which allows the user to move slightly in the desired directions by moving the thumb on the touchpad of the controller, as shown in Figure 6. This technique of locomotion is useful to move in small spaces and inserts realism to the displacements and avoids confusions of spatial orientation as opposed to the teleport method. The allowed movements are a linear forward and backward speed and angular

velocity with fixed rotation step to prevent motion sickness, both movement options controlled from the controller's touchpad.

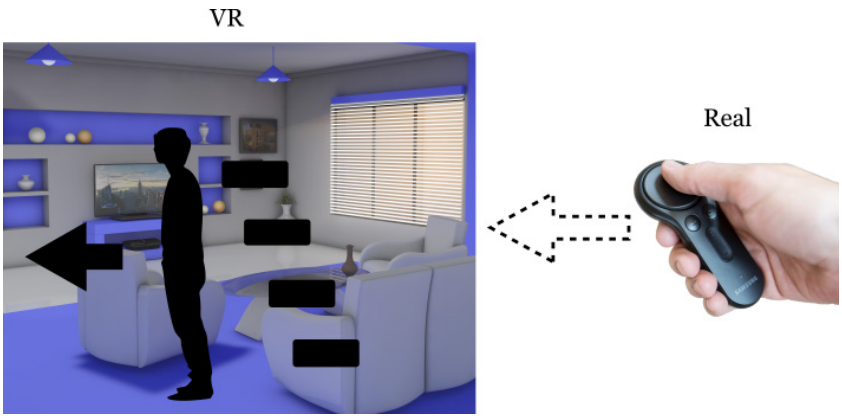


Figure 6 – Smooth artificial locomotion

Interaction

For the user to interact with the virtual environment in an immersive way, the Smartphone manages the images to be viewed according to the user's head movement, this is possible due to the smartphone's inertial sensors, achieving greater realism and comfort in the VR. The Gear VR controller also includes an inertial measurement unit, which allows addressing a pointer in the virtual environment with 2 degrees of freedom, as shown in Figure 7. In addition, the selection of options is executed by a trigger button.

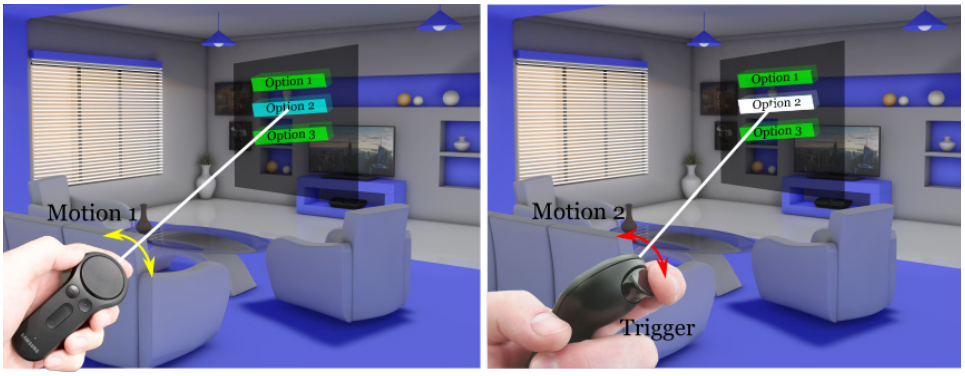


Figure 7 –Virtual interaction

User Interface

The VR application has three interface panels to choose, Figure 8 lists these components. Initially, the user must log in to the system using a username and password, this data allows retrieving the information of the user profile and remember the achievements. The

next panel is used to select the level of difficulty to solve, loading the system according to the user's selection. Finally, the results panel presents the scores reached at the end of each cycle.

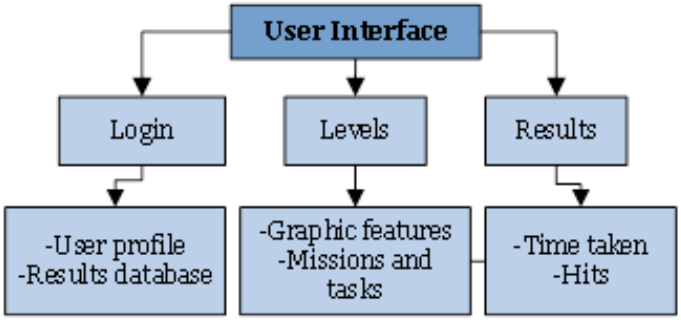


Figure 8 – User interface components

4.3. Database

The VR application has a database which stores the information in three blocks, as shown in Figure 9. The user block saves the data for access to the application and the profile of the users registered in the system. The information of the missions contains the mazes for the three levels of difficulty, stores the geometric shapes, the tasks to be done in the path of the mazes, and finally the results, where the time histories and successes obtained at the end of each game are recorded.

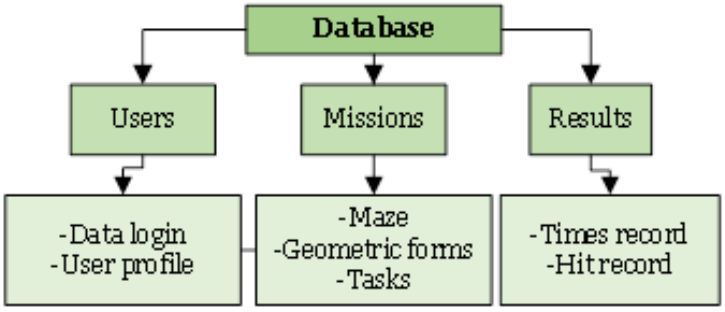


Figure 9 – Database

5. Experimental results

For the experimentation of the immersive virtual reality mobile application, an example is presented in this Section. For this, a Galaxy S8+ Smartphone and the Gear VR headset with its controller has been used, where Figure 10 shows the experiments carried out

with a male user of 60 years of age. In this example, the user is healthy but presents some memory difficulties produced by age.



Figure 10 – Experiments on GearVR device

When started the game, the user must log in with their email and password, as shown in Figure 11. In case of not being registered, a new user profile must be created with the personal data.

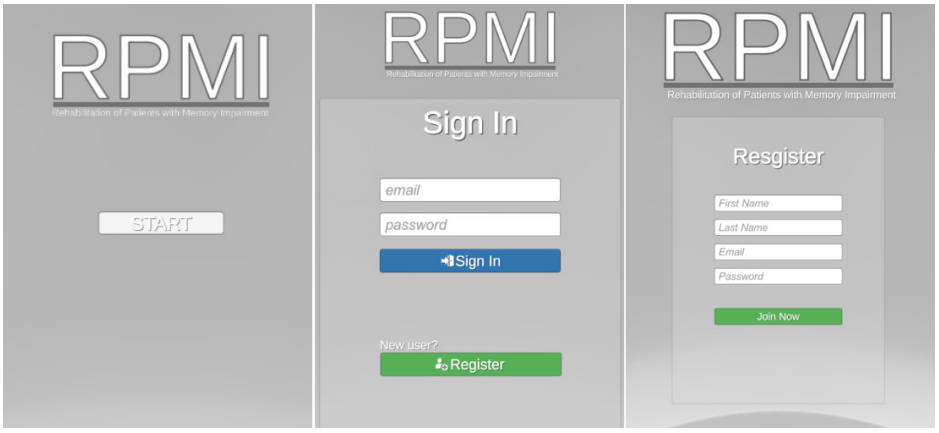


Figure 11 – Login to the application

Then choose the level of difficulty to be evaluated. Figure 12 presents the three levels to solve in maze.

Figure 13 shows the first view of the maze to be solved from an aerial view. This allows the user to analyze the exit routes for later move inside the maze, and then he/she is located at the entrance of the route.

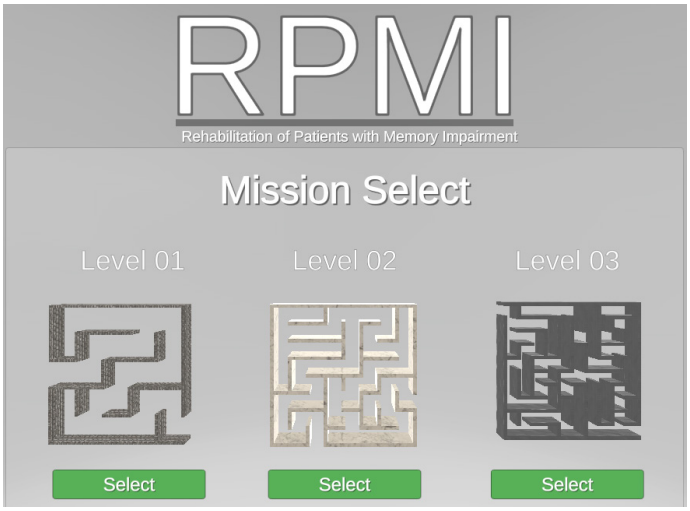


Figure 12 – Interface to choose the level of difficulty



Figure 13 – Starting the game



Figure 14 – Inside the maze

Once inside the maze, the users must move in the directions which they consider correct using the touchpad of the Gear VR controller. In the path, the user will find geometric figures according to the level selections, see Figure 14.

At the end of the maze, a questionnaire appears which records the geometric shapes remembered and assigns a score according to the user's responses. These data are stored and summarized in the results screen of Figure 15, where the user registers 5 days of experiments, he/she have solved the maze in the three levels of difficulty, and an improvement in the score reached is observed, as well as in the time taken to find the exit.

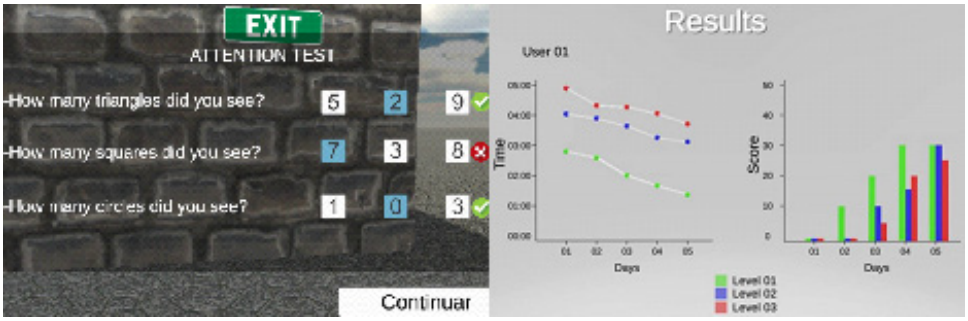


Figure 15 – Results

N°	Questions	Score	Operation
1	*I think I would like to use this system frequently*	4	4-1=3
2	***I find this system unnecessarily complex***	**1**	**5-1=4**
3	*I think the system is easy to use*	5	5-1=4
4	***I think you would need technical support to make use of the system***	**1**	**5-1=4**
5	*I find the various functions of the system quite well integrated*	4	4-1=3
6	***I have found too much inconsistency in this system***	**1**	**5-1=4**
7	*I think most people would learn to make use of the system quickly*	5	5-1=4
8	***I found the system quite uncomfortable to use***	**3**	**5-3=2**
9	*I have felt very safe using the system*	3	3-1=2
10	***I would need to learn a lot of things before I can manage the system***	**1**	**5-1=4**
	TOTAL		34
	Global Value		**85**

Table 1 – Survey results

Additionally, Literature of (Sauro & Lewis, 2011) and (Shaheen & Rehman, 2018) is used to determine the usability of the application by means of a SUS test. The score is determined by the sum of the values of each item, said score will have a range of 0 to 4. For numbers 1, 3, 5, 7 and 9, the operation is the score given minus 1; for items 2, 4, 6, 8 and 10, the operation is 5 minus the score. The total sum of the results is multiplied by 2.5 obtaining the overall value of the SUS. The final result is obtained in the range of 0 to 100. For the answers indicated in the questions, Table 1 is obtained.

The results of this example indicate that the application works correctly and provides a user-friendly experience in the test performed, however, it also shows an opportunity for improvement in some questions of the SUS, especially in providing security to user.

6. Conclusions

Modern mobile devices support immersive virtual reality applications, this because of their high throughput and multiple sensors. Specifically, cognitive virtual rehabilitation allows the user to treat the progress of a neurodegenerative disease in its early stages. This implies which mild memory impairment can be treated by memory exercises in virtual environments.

This application supports the user to train their memory through a maze-solving game in an immersive way using the Gear VR, allowing the user to remember an aerial view of the routes and to practice the spatial orientation in the virtual environment. In addition, the patient might memorize geometric shapes which must be remembered at the end of the maze. The results show that the user performs many successful tests with improvements in their memory retention scores, and an acceptable usability score.

Future work is intended to include more experiences in the process of navigate through the maze and include biometric sensors in the user to monitor the patient's vital and cognitive states.

References

Arango, J. E., Mazo, J. C., & Peñapalacio, A. (2013). Sistema para Rehabilitación del Síndrome del Miembro Fantasma utilizando Interfaz Cerebro- Computador y Realidad Aumentada. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 93–106. DOI: 10.4304/risti.11.93-106

Chicaiza, F. A., Lema-Cerda, L., V, M. Á., Andaluz, V. H., Varela-Aldás, J., Palacios-Navarro, G., & García-Magariño, I. (2018). Virtual Reality-Based Memory Assistant for the Elderly. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 269–284).

Ding, N., Zhou, W., & Fung, A. Y. H. (2018). Emotional effect of Cinematic VR compared with traditional 2D film. *Telematics and Informatics*, (April). DOI: 10.1016/j.tele.2018.04.003

Green, M. S., Mathew, J. J., Venkatesh, A. G., & Green, P. (2018). Utilization of Smartphone Applications by Anesthesia Providers. *Anesthesiology Research and Practice*, *2018*, 5–9.

Jonsdottir, J., Bertoni, R., Lawo, M., Montesano, A., Bowman, T., & Gabrielli, S. (2018). Serious games for arm rehabilitation of persons with multiple sclerosis. A randomized controlled pilot study. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, *19*, 25–29. DOI: 10.1016/j.msard.2017.10.010

Lv, Z., Esteve, C., Chirivella, J., & Gagliardo, P. (2017). rehabilitation Serious Game Based Personalised Healthcare System for Dysphonia Rehabilitation. *Pervasive and Mobile Computing*. DOI: 10.1016/j.pmcj.2017.04.006

Raptis, G. E., Fidas, C., & Avouris, N. (2018). Effects of mixed-reality on players' behaviour and immersion in a cultural tourism game: A cognitive processing perspective. *International Journal of Human - Computer Studies*. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2018.02.003

Razo Salas, M. A., Vázquez Reyes, S., & Solís Robles, R. (2016). Mejoras del proceso endoscópico usando aplicaciones móviles. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 115–127. DOI: 10.17013/risti.17.115

Sauro, J., & Lewis, J. R. (2011). When Designing Usability Questionnaires , Does It Hurt to Be Positive ? In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2215–2223).

Shaheen, R., & Rehman, M. (2018). Evaluating Health Information Apps on Real Life Smart Phone Use. In *ACM International Conference Proceeding Series 30*.

Wang, A. R., & Holsinger, R. M. D. (2018). Exercise-Induced Brain-Derived Neurotrophic Factor Expression: Therapeutic Implications for Alzheimer's Dementia. *Ageing Research Reviews*, *48*, 109–121. DOI: 10.1016/j.arr.2018.10.002

Wang, M., & Reid, D. (2013). Using the Virtual Reality-Cognitive Rehabilitation Approach to Improve Contextual Processing in Children with Autism. *The Scientific World Journal*, *2013*.

Yasini, M., & Marchand, G. (2016). Adoption and Use of a Mobile Health Application in Older Adults for Cognitive Stimulation. *Studies in Health Technology and Informatics*, 13–17. DOI: 10.3233/978-1-61499-633-0-13

Zanier, E. R., Zoerle, T., Lernia, D. Di, & Riva, G. (2018). Virtual Reality for Traumatic Brain Injury. *Frontiers in Neurology*, *9*(May), 1–4. DOI: 10.3389/fneur.2018.00345

Zhang, M. W. B., & Ho, R. C. M. . (2017). Smartphone applications for immersive virtual reality therapy for internet addiction and internet gaming disorder. *Technology and Health Care*, *1*, 367–372. DOI: 10.3233/THC-1601282

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 20/11/2018
Aceitação/Acceptance: 10/01/2019

Teleoperación de un manipulador móvil con retroalimentación de fuerzas para evasión de obstáculos

Víctor H. Andaluz[1], José Varela-Aldás[2], Fernando A. Chicaiza[1], Washington X. Quevedo[1], Belén Ruales[2]

vhandaluz1@espe.edu.ec, josevarela@uti.edu.ec, fachicaiza@ingenius-scitech.com, wjquevedo@espe.edu.ec, belenruales@uti.edu.ec

[1,3,4] Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), 171103, Sangolquí, Ecuador.

[2,5] Universidad Tecnológica Indoamérica, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages:291–304

Resumen: Este trabajo desarrolla la teleoperación de un manipulador móvil usando un control en cascada que considera el modelo cinemático y dinámico del robot, incluyendo el control de redundancia. Adicionalmente, el operador recibe retroalimentación de fuerzas a través de un dispositivo háptico para evadir obstáculos. Los experimentos se realizaron en una red local de comunicación inalámbrica y usando el robot AKASHA. Los resultados muestran un adecuado seguimiento de las referencias de control, se corrigen los errores de velocidad y se obtienen mínimos retardos de comunicación.

Palabras-clave: Teleoperación; manipulador móvil; retroalimentación de fuerzas; evasión de obstáculos.

Teleoperation of a mobile manipulator with feedback forces for evasion of obstacles

Abstract: This work develops the teleoperation of a mobile manipulator using a kinematic and dynamic control. In addition, the operator receives feedback forces through a haptic device to evade obstacles. The experiments were performed in a local wireless communication network and using the AKASHA robot. The results show an adequate following of the references of control, speed errors are corrected with minimum communication delays.

Keywords*:* Teleoperation; mobile manipulator; feedback forces; evasion of obstacles.

1. Introducción

1.1. Preámbulo

La robótica es una disciplina en constante crecimiento en los últimos años, realizando nuevas aplicaciones en diversas áreas (Torres, González y Carvalho, 2018); por un lado, la robótica de manipuladores se ha instalado en el sector industrial para realizar tareas repetitivas de manera eficiente (Bugday & Karali, 2018), aunque los últimos trabajos muestran sistemas de control avanzados que permiten a los robots industrial tomar decisiones complejas (Panfir, Covaci, & Mogan, 2012); y por otro lado, los robot móviles han ganado espacio en el área de servicios en aplicaciones de transporte y limpieza (Herrera et al., 2018), estas actividades requieren controladores más precisos, por lo que se implementan sistemas electrónicos confiables y algoritmos de control inteligente (Azad, Tavakoli & Pratik, 2018; Kowalczyk, 2018).

Los brazos robóticos operan en espacios reducidos para realizar tareas de maniobra y sujeción, a diferencia de los robots móviles que se limitan al transporte y exploración sobre un espacio de trabajo determinado (Fuentes, Kipfmueller & Prieto, 2017). Los manipuladores móviles permiten combinar la manipulación y locomoción en un solo robot, permitiendo al móvil transportar al brazo robótico hacia un sitio remoto donde se requieran sus habilidades, estos equipos cuentan con un sistema de control autónomo o teleoperado para cumplir con los objetivos de control (Ortiz, Molina, Andaluz, Varela & Morales, 2017).

Debido a las ventajas de los manipuladores móviles, son ampliamente utilizados en sistemas de teleoperación (Kot & Novák, 2018). Para ello se necesitan varios componentes físicos e informáticos; los elementos básicos son: el sitio local, el sitio remoto y el canal de comunicación; aun cuando estos componentes se han implementado de manera eficiente, el operador ubicado en el sitio local requiere un entrenamiento previo y es común contar con dispositivos de retroalimentación háptica que facilitan la teleoperación del robot en el sitio remoto (Claret, Zaplana & Basa, 2016).

1.2. Estado del arte

Como antecedente, Baberg, Wang, Caccamo & Ogren (2016) realizan el control teleoperado de un robot manipulador móvil centrándose en la manipulación de objetos, además, aprovechan la redundancia del sistema para evitar obstáculos basándose en restricciones; por su parte, Liu & Tavakoli (2018) implementan un control adaptable de teleoperación maestro-esclavo considerando la dinámica del robot y la zona muerta existente en el sistema, lo cual es decisivo en el caso de altas de latencias; y Andaluz et al. (2016) desarrollan una aplicación de realidad virtual para la teleoperación bilateral de un robot manipulador móvil, resaltando la transparencia del sistema mediante inmersión y retroalimentación háptica.

El sistema de control propuesto tiene su principal aporte en la combinación de la redundancia del sistema y la retroalimentación de fuerzas para evadir obstáculos. Esta investigación utiliza el modelo cinemático y dinámico de un manipulador móvil para desarrollar un sistema de control en cascada que permite la teleoperación del robot. El documento se ha organizado de la siguiente manera: la sección 2 presenta la modelación

matemática del robot, partiendo del modelo cinemático y luego con el modelo dinámico que considera el manipulador móvil como un único robot; la sección 3 detalla el sistema de teleoperación diseñado en tres etapas, controladores, retroalimentación de fuerzas y canal de comunicación; la sección 4 muestra los resultados obtenidos en mediante pruebas experimentales reales que se realizan en el robot AKASHA; y finalmente, se formulan las conclusiones.

2. Modelo matemático

2.1. Modelo cinemático

En base a la geometría del manipulador móvil tipo uniciclo se obtienen las ecuaciones cinemáticas del sistema. La Figura 1 muestra los componentes para la modelación matemática del robot; las dimensiones se expresan en *a, b, c, e, l* ; *u* y ω son las velocidades lineal y angular del robot móvil, respectivamente; θ, q_1, q_2, q_3 son los ángulos del robot; *O* es el sistema de referencial local; y, **h** es el punto de interés, ubicado en el efector final del robot.

Se describe geométricamente la posición de **h***(t)* para obtener la ecuación 1.

$$\mathbf{h}(t)=\begin{bmatrix} h_x(t) \\ h_y(t) \\ h_z(t) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x(t)+(a+A)\cos(\theta(t))-B\sin(\theta(t)) \\ y(t)+(a+A)\sin(\theta(t))+B\cos(\theta(t)) \\ b+c\sin\left(q_2(t)\right)+e\,\sin\left(q_2(t)+q_3(t)\right) \end{bmatrix} \tag{1}$$

Donde A y B se expresan según las ecuaciones 2 y 3.

$$A=c\cos\left(q_2(t)\right)\cos\left(q_1(t)\right)+e\cos\left(q_2(t)+q_3(t)\right)\cos\left(q_1(t)\right) \tag{2}$$

$$B=c\cos\left(q_2(t)\right)\sin\left(q_1(t)\right)+e\cos\left(q_2(t)+q_3(t)\right)\sin\left(q_1(t)\right) \tag{3}$$

Aplicando *d(***h***(t))/dt* se obtiene el modelo cinemático compacto de la ecuación (4), con las velocidades del robot **v***(t)* y los ángulos del manipulador móvil **q***(t)*.

$$\dot{\mathbf{h}}(t)=\mathbf{S}(\mathbf{q})\mathbf{v}(t) \tag{4}$$

$$\mathbf{q}(t)=\left[\theta(t) \quad q_{\ddot{u}}(t) \quad q\ (t) \quad q\ (t)\right]^T \tag{5}$$

$$\mathbf{v}(t)=\left[u(t) \quad \omega(t) \quad \dot{q}_1(t) \quad \dot{q}_2(t) \quad \dot{q}_3(t)\right]^T \tag{6}$$

Adicionalmente, se analiza la manipulabilidad del robot mediante la ecuación (7).

$$M = \sqrt{\left|\mathbf{S(q)S^{T}(q)}\right|} \tag{7}$$

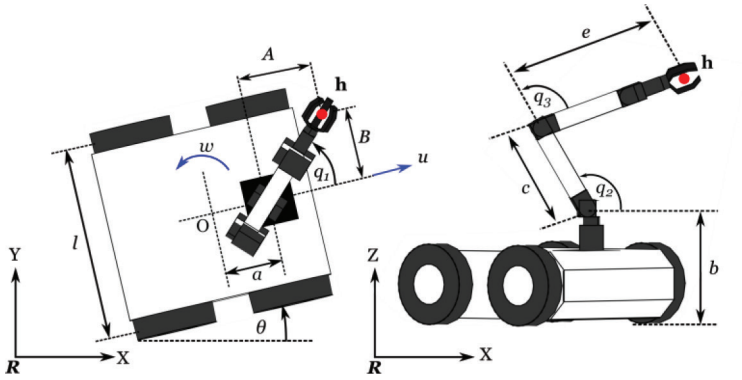


Figura 1 – Parámetros del manipulador móvil

2.2. Modelo dinámico

La dinámica del manipulador móvil se estudia usando la propuesta de Euler-Lagrange, partiendo del balance de energías de la ecuación 8.

$$L = K - P \tag{8}$$

La energía cinética se obtiene mediante la ecuación 9, donde $\dot{\mathbf{h}}_m(t)$, $\dot{\mathbf{h}}_1(t)$ y $\dot{\mathbf{h}}_2(t)$ son las velocidades lineales de la base móvil, del eslabón 1 y del eslabón 2, respectivamente.

$$K = \tfrac{1}{2}\dot{\mathbf{h}}_m^{\mathrm{T}}(t) m\, \dot{\mathbf{h}}_m(t) + \frac{1}{2}\dot{\mathbf{h}}_1^{\mathrm{T}}(t) m_1 \dot{\mathbf{h}}_1(t) + \frac{1}{2}\dot{\mathbf{h}}_2^{\mathrm{T}}(t) m_2 \dot{\mathbf{h}}_2(t) \tag{9}$$

La energía potencial es determinada por la ecuación 10, donde g, m_1 y m_2 son la gravedad y las masas de los eslabones 1 y 2, respectivamente.

$$P = \left(\mathrm{m}_1 + \mathrm{m}_2\right) gb + m_1 gc\sin\left(q_2(t)\right) + m_2 gc\sin\left(q_2(t)\right) + m_2 ge\sin\left(q_2(t) + q_3(t)\right) \tag{10}$$

Aplicando el método de Euler-Lagrange $d(dL/d\dot{\mathbf{q}})/dt - dL/d\mathbf{q}$, se define las fuerzas generadas en el robot según la ecuación 11.

$$\boldsymbol{f}(t) = \boldsymbol{M}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{v}}(t) + \boldsymbol{C}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}})\mathbf{v}(t) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) \tag{11}$$

A partir de la ecuación 11 se incorporan la configuración del robot y las ecuaciones de movimiento de los actuadores, encontrando la expresión del modelo dinámico compacto

de la ecuación 12, donde $\bar{\boldsymbol{M}}$ es la matriz de inercia, $\bar{\boldsymbol{C}}$ es la matriz de fuerzas centrifugas y centrípetas, y $\bar{\boldsymbol{g}}(\mathbf{q})$ es el vector de gravedad.

$$\mathbf{v}_{\text{ref}}(t) = \bar{\boldsymbol{M}}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{v}}(t) + \bar{\boldsymbol{C}}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}})\mathbf{v}(t) + \bar{\boldsymbol{g}}(\mathbf{q}) \tag{12}$$

3. Sistema de teleoperación

La Figura 2 presenta el esquema de teleoperación propuesto, en el sitio remoto se encuentra el robot manipulador móvil con los controladores de movimiento, el sensor de obstáculos y la transmisión de imagen; en el sitio local se tiene la interfaz gráfica, el dispositivo háptico y el operador humano, a continuación se describen los componentes del sistema de teleoperación.

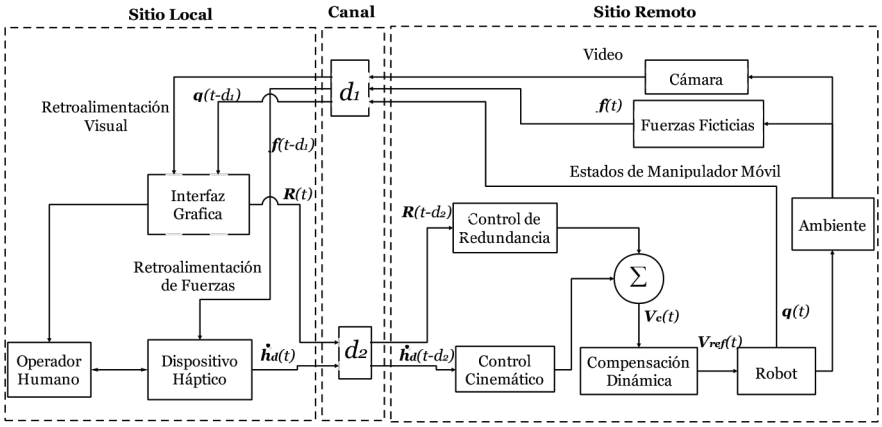


Figura 2 – Esquema de teleoperación

3.1. Controladores

El sistema de control propuesto se diseña en forma de cascada (Figura 3), mediante un control cinemático para determinar los movimientos del manipulador móvil, un control de redundancia para evadir los obstáculos y mantener las articulaciones lejos de los valores de singularidad; y un control dinámico para compensar los errores de velocidad en el robot.

Control Cinemático

Partiendo de la ecuación 4 del modelo cinemático se plantea la cinemática inversa para controlar los movimientos del robot, como se expresa en la ecuación 13.

$$\mathbf{v}_{\text{i}}(t) = \boldsymbol{J}^{\#}(\mathbf{q})\left(\dot{\boldsymbol{h}}_{\boldsymbol{d}}(t)\right) \tag{13}$$

Esta propuesta es válida asumiendo que no existen errores de velocidad en el control del robot, como se plantea en la ecuación 14.

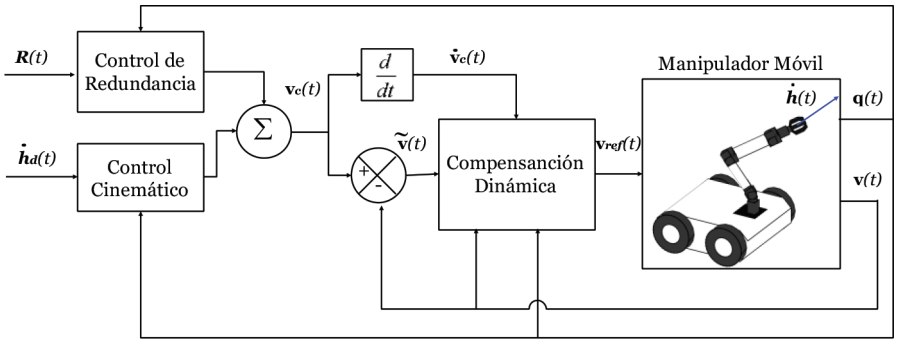


Figura 3 – Sistema de control

$$\tilde{\dot{\mathbf{h}}}(t) = \dot{\mathbf{h}}_{\mathbf{d}}(t) - \dot{\mathbf{h}}(t) \approx 0 \tag{14}$$

Control de redundancia

Complementario al control de movimiento se propone como objetivo secundario el control de la redundancia del robot, debido a que cuenta con 5 grados de libertad. Se utiliza el concepto del espacio nulo, según se expresa en la ecuación 15, donde **ç** *(t)* son las condiciones deseadas y $\mathbf{K}_{\mathrm{r}}$ es la matriz constante de ganancias para estos parámetros deseados.

$$\mathbf{v}_2(t) = \left(\mathbf{S}(\mathbf{q})^{\#}\mathbf{S}(\mathbf{q}) - \mathbf{I}\right)\mathbf{K}_{\mathbf{r}}\ (t) \tag{15}$$

Las condiciones de redundancia deseadas se regulan mediante la expresión de la ecuación 16, donde los 2 primeros elementos se utilizan para evadir obstáculos y los 3 siguientes para mantener la configuración interna del brazo fuera de los valores de singularidad y sin afectar los estados del extremo operativo.

$$\eta(t) = [\Delta u_d \quad \Delta\omega_d \quad q_{1d} - q_1(t) \quad q_{2d} - q_2(t) \quad q_{3d} - q_3(t)]^{\mathrm{T}} \tag{16}$$

Adicionando las ecuaciones 13 y 15 se determina la ecuación 17 de control cinemático que incluye el control de redundancia.

$$\mathbf{v}_{\mathbf{c}}(t) = \mathbf{S}(\mathbf{q})^{\#}\dot{\mathbf{h}}_{\mathbf{d}}(t) + \left(\mathbf{I} - \mathbf{S}(\mathbf{q})^{\#}\mathbf{S}(\mathbf{q})\right)\mathbf{K}_{\mathbf{r}}\ (t) \tag{17}$$

Compensación dinámica

En base al modelo dinámico de la ecuación 12 se plantea la ley de control de la ecuación 18, donde $\mathbf{v}_{\mathbf{ref}}(t)$ asegura un adecuado seguimiento de la velocidades de control.

$$\mathbf{v_{ref}}(t) = \bar{\mathbf{M}}(\mathbf{q})' + \bar{\mathbf{C}}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}})\mathbf{v}(t) + \bar{\mathbf{g}}(\mathbf{q}) \tag{18}$$

La compensación de velocidad se realiza por la expresión de la ecuación 19, que considera las aceleraciones de control $\dot{\mathbf{v}}_c(t)$ y los errores de velocidad $\tilde{\mathbf{v}}(t)$, con las ganancias $\mathbf{K_1}$ y $\mathbf{K_2}$.

$$\delta = \dot{\mathbf{v}}_c(t) + \mathbf{K_1} tanh\left(\mathbf{K_2}\tilde{\mathbf{v}}(t)\right) \tag{19}$$

Análisis de estabilidad

Para garantizar la estabilidad de control propuesto se utiliza el método de Lyapunov, mediante la candidata de los errores cuadráticos de la ecuación 20 que es una función definida positiva.

$$\mathbf{V}(\tilde{\mathbf{v}}) = \frac{1}{2}\tilde{\mathbf{v}}^{\mathbf{T}}(t)\tilde{\mathbf{v}}(t) \tag{20}$$

Continuando con las reglas de Lyapunov, se aplica la primera derivara a la función candidata determinando la ecuación 21.

$$\dot{\mathbf{V}}(\tilde{\mathbf{v}}) = \tilde{\mathbf{v}}^{\mathbf{T}}(t)\dot{\tilde{\mathbf{v}}}(t) \tag{21}$$

Por otro lado, se obtiene la ecuación 22 de lazo cerrado mediante las ecuaciones 12 y 18, que al incluir $\dot{\tilde{\mathbf{v}}}(t)$ puede acomodarse para hallar la ecuación 23.

$$\dot{\mathbf{v}}(t) = \boldsymbol{\delta} = \dot{\mathbf{v}}_c(t) + \boldsymbol{K}_1 \tanh\left(\boldsymbol{K}_2\tilde{\mathbf{v}}(t)\right) \tag{22}$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{v}}} = -\mathbf{K}_1 \tanh\left(\mathbf{K}_2\tilde{\mathbf{v}}(t)\right) \tag{23}$$

Combinando las expresiones 21 y 23 se determina la ecuación 24, que denota una función definida negativa, siempre que $\mathbf{K_1}>0$ y $\mathbf{K_2}>0$. Esto garantiza la estabilidad del sistema según el método de Lyapunov.

$$\dot{\mathbf{V}}(\tilde{\mathbf{v}}) = -\tilde{\mathbf{v}}^{\mathbf{T}}(t)\mathbf{K}_1 \tanh\left(\mathbf{K}_2\tilde{\mathbf{v}}(t)\right) \tag{24}$$

3.2. Retroalimentación de fuerzas

Desde el sitio local el operador humano visualiza el espacio de trabajo del robot desde una cámara ubicada sobre el efector final y utiliza un dispositivo háptico para controlar

sus movimientos y experimentar la retroalimentación de fuerzas; estas fuerzas ficticias son producidas en el sitio remoto a partir de un sensor laser que detecta los obstáculos en un rango de 180°, según se muestra en la Figura 4.

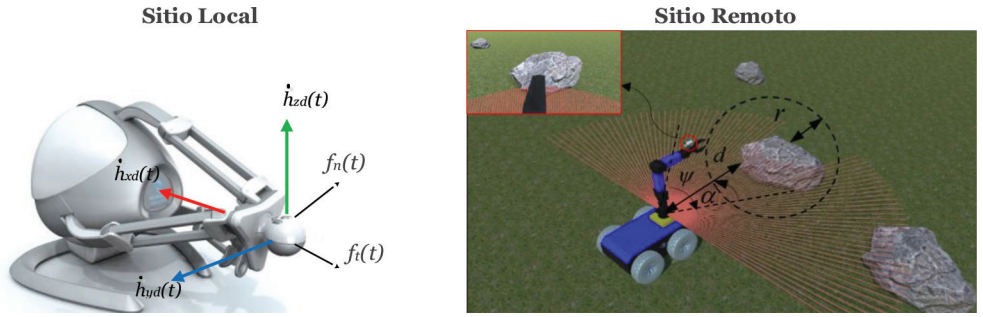


Figura 4 – Retroalimentación de fuerzas para la evasión de obstáculos

La fuerza ficticia total f se determina mediante un promedio de las distancias r en los obstáculos detectados y una constante de ganancia K_f, además, se obtiene un ángulo α para la aplicación de la fuerza ficticia en base a la incidencia de detección del sensor laser. Mediante estos parámetros se determina los componentes de fuerza tangencial y fuerza normal usando las ecuaciones 25 y 26, respectivamente. Estas fuerzas ficticias son enviadas al sitio local y se aplican en el dispositivo háptico para corregir la posible colisión con los obstáculos.

$$f_t = f\cos(\alpha) \tag{25}$$

$$f_n = f\sin(\alpha) \tag{26}$$

Evasión de obstáculos

Complementario a la retroalimentación de fuerzas, el sistema de control del manipulador móvil corrige el movimiento del robot para evadir obstáculos mediante las condiciones deseadas de la ecuación 16 en el control de redundancia, así las fuerzas ficticias influyen en las ecuaciones 27 y 28 modificando en el robot móvil la velocidad lineal y la velocidad angular, respectivamente; K_u y K_ω son contantes de ajuste.

$$\Delta u_d = K_u f_t \tag{27}$$

$$\Delta \omega_d = K_\omega f_n \tag{28}$$

El resto de condiciones para el control de redundancia son ingresadas por el operador humano para conseguir una configuración deseada en el brazo robótico y evitar

posiciones de singularidad. El vector **R***(t)* contiene los parámetros deseados para la configuración del brazo, según la ecuación 29.

$$\mathbf{R}(t) = [q_{1d} \quad q_{2d} \quad q_{3d}]^{\mathrm{T}} \tag{29}$$

3.3. Comunicación

Esta propuesta de teleoperación se evalúa en una red local, con el objetivo de disminuir al máximo los retardos de comunicación, considerando los retardos despreciables. La Figura 5 presenta los dos extremos del sistema de teleoperación, el sitio local se integra por un computador personal, una pantalla, el dispositivo háptico y el operador humano; por otra parte, el sitio remoto se conforma del manipulador móvil, un computador industrial interno, el sensor laser de proximidad y la cámara.

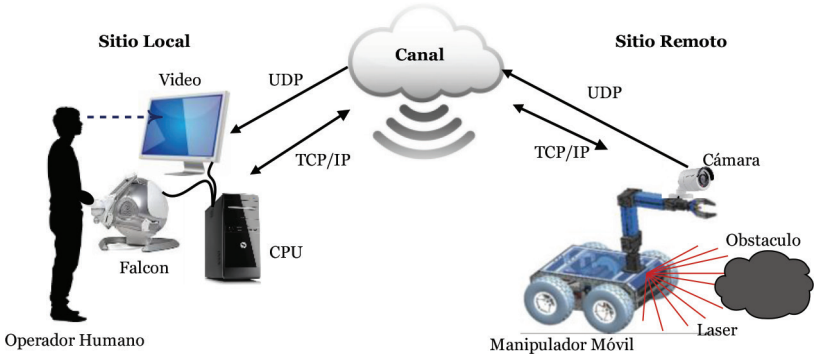


Figura 5 – Esquema de comunicación

El canal de comunicación se implementa mediante una red inalámbrica local, a la que se conectan ambos computadores del sistema, intercambiando información a través de dos líneas de interconexión; los datos numéricos se intercambian mediante un canal bidireccional usando el protocolo TCP/IP, que permite al sitio remoto enviar la información del robot y de las fuerzas ficticias, además, el sitio local remite los datos del dispositivo háptico para controlar el robot; también tenemos una canal unidireccional usando el protocolo UDP para transmitir la imagen adquirida por la cámara hacia la ubicación del operador humano.

4. Resultados

Los resultados experimentales se evalúan en el robot AKASHA, conformado por 6 actuadores inteligentes Dynamixel Pro que son comandados en red por el estándar RS-485; dos motores de la serie H54-200-S500-R están ubicados en la ruedas de la plataforma móvil, dispuestos uno a cada lado para un comportamiento tipo uniciclo; tres motores L54-50-S290-R instalados en las articulaciones del brazo robótico; y un motor L42-10-S300-R para operar el efector final. Todo el sistema eléctrico se alimenta por 3

baterías Lipo 7s de 5000mAh y 25C. Adicional, dispone del sensor laser de proximidad Hokuyo URG-04LX-UG01 y una webcam Genius FACECAM 320X, ver la Figura 6.



Figura 6 – Robot AKASHA

Respecto a la estación local, se utiliza el Novint Falcón como dispositivo háptico con 3 grados de libertad y retroalimentación de fuerzas. El software utilizado para ambas estaciones es MATLAB.

4.1. Experimentación

Se realiza la prueba de teleoperación en un entono semiestructurado usando las características físicas del robot y aplicando los parámetros de la Tabla 1. Los valores para las condiciones de redundancia se eligieron en base al análisis de manipulabilidad y las constantes de ajuste se sintonizaron para un movimiento suave en respuesta a las órdenes del operador.

Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
$\mathbf{K_r}$	*diag*([1; 1; 0.5; 1.5; 1.5]);	$\mathbf{K_1}$	*diag*([0.1; 0.1; 0.12; 0.12; 0.12]);
q_{1d}	0 [rads]	$\mathbf{K_2}$	*diag*([1.5; 1.5; 1.55; 1.55; 1.55]);
q_{2d}	2.27 [rads]	K_f	1.5
q_{3d}	-1.92 [rads]	K_u	0.1
		K_w	0.6

Tabla 1 – Parámetros de experimentación

El experimento se ejecuta con la presencia de dos obstáculos, la Figura 7 presenta una vista del movimiento con efecto estroboscópico realizado por el manipulador móvil, donde se observa la trayectoria realizada por el efector final y la correcta evasión de los obstáculos.

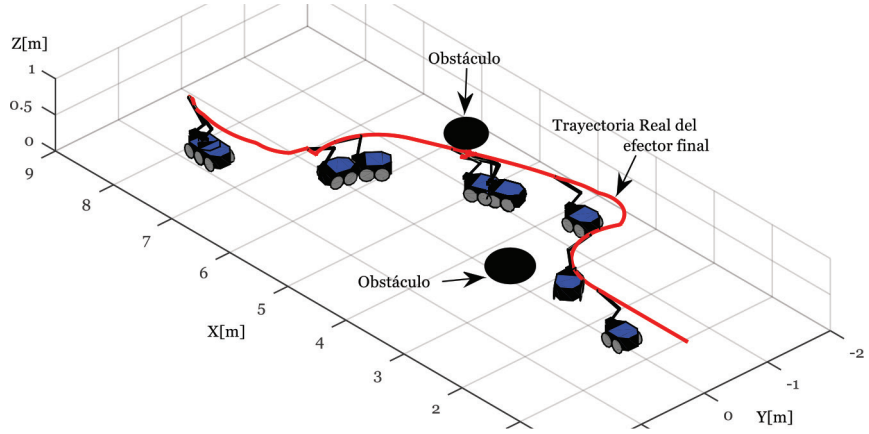


Figura 7 – Movimiento estroboscópico del manipulador móvil

Las Figura 8 presenta las velocidades deseadas vs las velocidades reales en el efector final del manipulador móvil, mostrando un adecuado seguimiento de las órdenes de movimiento.

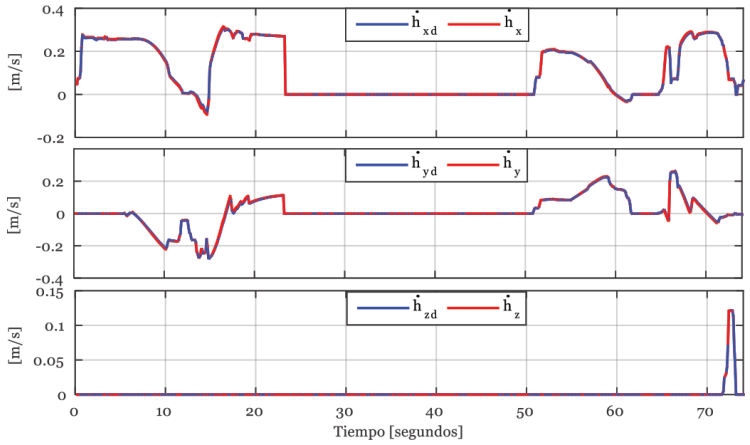


Figura 8 – Velocidades en el efector final

La Figu háptico, correspo
La Figu r móvil, compara n vs las velocida

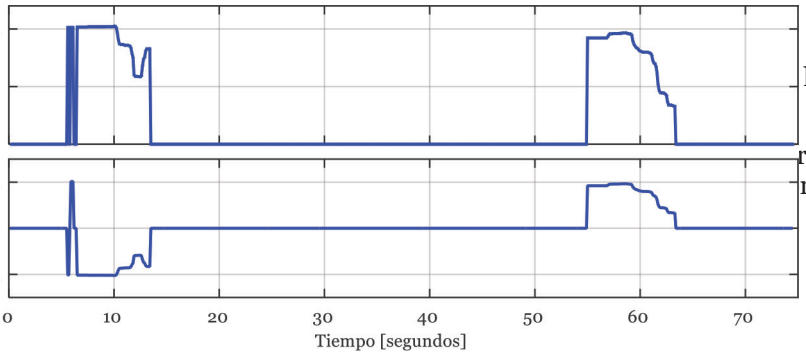


Figura 9 – Fuerzas ficticias

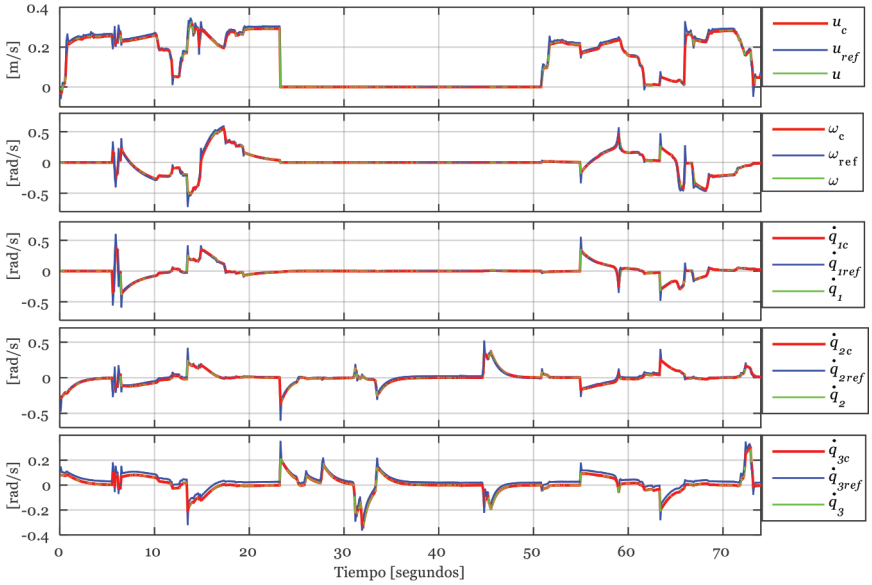


Figura 10 – Velocidades del manipulador móvil

Finalmente, la Figura 11 contiene los retardos de comunicación del proceso de teleoperación, denotando permanencia y un promedio de 106 milisegundos.

5. Conclusiones

Se presenta una propuesta de teleoperación; un control cinemático coordina el movimiento del robot según las órdenes del operador humano incluyendo el control de redundancia que mantiene la configuración del brazo robótico en las condiciones deseadas y evita colisiones; además, el control dinámico realiza la compensación de las velocidades y asegurando la estabilidad del sistema. Por otra parte, las fuerzas ficticias

reproducidas por el dispositivo háptico anticipan la presencia de obstáculos y permiten tomar decisiones operativas.

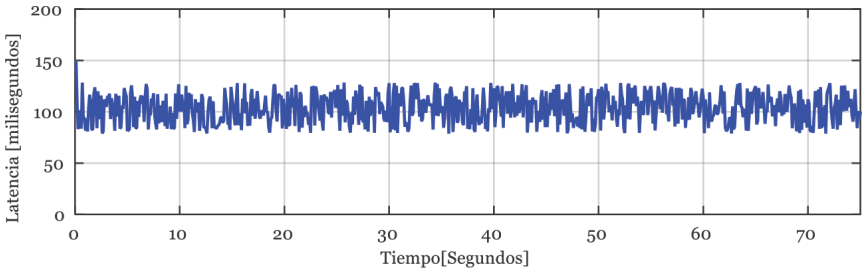


Figura 11 – Retardos de comunicación

Los resultados muestran que las velocidades obtenidas en el extremo operativo corresponden a las órdenes del operador y se evidencia una apropiada respuesta en la evasión de obstáculos por efecto de las fuerzas ficticias, además, las velocidades del robot son muy cercanas a sus referencias debido a la compensación dinámica, por último, los tiempos de latencia observados muestran un retardo promedio de 106 milisegundos, permitiendo despreciar los efectos del intercambio de información entre el sitio local y el sitio remoto.

Agradecimientos: *Los autores agradecen a la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia - CEDIA por el proyecto CEPRA Tele-operación bilateral cooperativo de múltiples manipuladores móviles - CEPRAIX-2015-05; a las universidades participantes y al Grupo de Investigación ARSI.*

Referencias

Andaluz, H., Quevedo, W. X., Chicaiza, F. A., Varela, J., Gallardo, C., Jorge, S. S., & Arteaga, O. (2016). Transparency of a Bilateral Tele-Operation Scheme of a Mobile Manipulator Robot. *Lecture Notes in Computer Science*, *2*(ii), 228–245. DOI: 10.1007/978-3-319-40621-3

Azad, A., Tavakoli, R., & Pratik, U. (2018). A Smart Autonomous WPT System for Electric Wheelchair Applications with Free-Positioning Charging Feature. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. DOI: 10.1109/JESTPE.2018.2884887

Baberg, F., Wang, Y., Caccamo, S., & Ogren, P. (2016). Adaptive Object Centered Teleoperation Control of a Mobile Manipulator. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 455–461).

Bugday, M., & Karali, M. (2018). Engineering Science and Technology , an International Journal Design optimization of industrial robot arm to minimize redundant weight. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. DOI: 10.1016/j.jestch.2018.11.009

Claret, J., Zaplana, I., & Basa, L. (2016). Teleoperating a mobile manipulator and a free-flying camera from a single haptic device *. In *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics* (pp. 291–296).

Fuentes, A. T., Kipfmueller, M., & Prieto, M. A. J. (2017). 6 DOF articulated-arm robot and mobile platform : Dynamic modelling as Multibody System and its validation via Experimental Modal Analysis . 6 DOF articulated-arm robot and mobile platform: Dynamic modelling as Multibody System and its validation via Exp. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 257). DOI: 10.1088/1757-899X/257/1/012008

Herrera, D., Roberti, F., Carelli, R., Andaluz, V., Varela, J., & Ortiz, J. (2018). Modeling and Path-Following Control of a Wheelchair in Human-Shared Environments. *International Journal of Humanoid Robotics Vol.*, *15*, 1–33. DOI: 10.1142/S021984361850010X

Karami, A., Sadeghian, H., Keshmiri, M., & Oriolo, G. (2019). Control Engineering Practice Force , orientation and position control in redundant manipulators in prioritized scheme with null space compliance. *Control Engineering Practice*, *85*(January), 23–33. DOI: 10.1016/j.conengprac.2019.01.003

Kot, T., & Novák, P. (2018). Application of virtual reality in teleoperation of the military mobile robotic system TAROS. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, *15*(1), 1–6. DOI: 10.1177/1729881417751545

Kowalczyk, W. (2018). Rapid Navigation Function Control for Two-Wheeled Mobile Robots. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 1–11.

Liu, X., & Tavakoli, M. (2018). Bilateral Adaptive Control of Nonlinear Teleoperation Systems With Uncertain Dynamics and Dead-Zone. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, *140*(December). DOI: 10.1115/1.4040666

Ortiz, J. S., Molina, F., Andaluz, V. H., Varela, J., & Morales, V. (2017). Coordinated Control of a Omnidirectional Double Mobile Manipulator. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 449, pp. 278–286). DOI: 10.1007/978-981-10-6451-7

Panfir, A. N., Covaci, A., & Mogan, G. (2012). An Inteligent Tasks Planning System for Industrial Mobile Robots. *Applied Mechanics and Materials Vol*, *162*, 308–315. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.162.308

Torres, N. B., González, R. L., y Carvalho, J. L. (2018). Roamer, un robot en el aula de Educación Infantil para el desarrollo de nociones espaciales básicas. *Revista Lbérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, *28*, 14–28. DOI: 10.17013/risti.28.14

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 24/12/2018
Aceitação/Acceptance: 18/02/2019

Navegación autónoma del Robot KUKA Youbot con señalización basada en técnicas de detección de objetos y redes neuronales profundas

Patricio Encalada[1], Carlos Gordón[2], Henry Lema[3], Diego León[4], Dennis Chicaiza[5]

pg.encalada@uta.edu.ec, cd.gordon@uta.edu.ec, hp.lema@uta.edu.ec, dleon0074@uta.edu.ec, dv.chicaiza@uta.edu.ec

[1,2,3,4,5] Universidad Técnica de Ambato, 180104, Ambato, Ecuador.

Pages:305–316

Resumen: Los procesos de exploración y navegación autónoma implementados en ROS permiten generar rutas, dependiendo del espacio que presenta el entorno. Sin embargo, no toma decisiones en base a objetos específicos que se encuentren en el espacio, ya que no incorpora, por defecto, un sistema de visión por computador que le consienta obtener datos. En cuanto a los sistemas actuales de visión por computadora, existen detectores de objetos basados en redes neuronales, los cuales permiten una rápida y precisa detección de objetos específicos, que faculta una mejor interacción con el entorno que rodea al sistema. El objetivo de esta investigación es vincular los dos procesos mencionados anteriormente para, de esta forma, detectar objetos en el entorno donde se localice el robot y modificar la toma de decisiones de la ruta tomada.

Palabras-clave: Deep Learning; autonomous navigation; detection objects; KUKA YouBot; Robot Operating System; Python.

Objects Detection Techniques and Deep Neural Networks for Autonomous Navigation of Robot Youbot KUKA with Signaling

Abstract: The processes of exploration and autonomous navigation implemented in ROS allow to generate routes depending on the space that the environment presents, however, it does not take decisions based on specific objects that are in the space since it does not incorporate by default a system of vision by computer that allows it to obtain data. As for the current computer vision systems, there are object detectors based on neural networks, which provide a fast and precise detection of specific objects which allows a better interaction with the environment surrounding the system. The objective of this research is to link the two processes mentioned above, in order to detect objects in the environment where the robot is located and modify the decision making in the route to be taken.

Keywords*:* Deep Learning; autonomous navigation; detection objects; KUKA YouBot; Robot Operating System; Python.

1. Introducción

Los robots móviles autónomos están causando un cambio de paradigma en la forma en que concebimos los vehículos comerciales en industriales. Sin embargo, el auge de la movilidad autónoma está poniendo fin a esta noción establecida desde hace varios años: los robots pequeños lentos reemplazarán o complementarán a los grandes vehículos tripulados de alta velocidad. La robótica moderna enfatiza como la apariencia física, o morfología, es estrecha del comportamiento verdaderamente inteligente (Pfeifer & Scheier, 2001). El comportamiento es visto como el resultado de sensores que controlan actuadores en un lazo sensorial-monitor inseparable, mediado por el entorno, bajo el control de un sistema de *software* apropiado (Billing, Hellstrm & Janlert, 2012). ROS (Robot Operating System) provee soporte para la interfaz con sensores y actuadores, la comunicación entre el *software* y también módulos de alto nivel para la navegación y la planificación de rutas. Las implementaciones con ROS se han vuelto muy populares en los últimos años, especialmente para la investigación y el desarrollo académico (Quigley et al., s.f.).

Una capacidad valiosa e importante para implementar en cualquier robot móvil es la Navegación Autónoma (ARN) en entornos no estructurados, como carreteras, edificios, bosques o cualquier otro lugar del mundo (Quiñonez et al., 2015). ARN requiere sistemas de percepción y control generalizables que puedan razonar sobre los resultados de las decisiones de navegación (Gordón et al., 2019; Hernández et al., 2016). ARN utiliza un conjunto de subsistemas que trabajan juntos, tales como: construcción de mapas, localización del robot, elaboración de un plan de movimiento, ejecución de dicho plan y preparación para la toma de decisiones cuando aparecen objetos que pueden ser estáticos o en movimiento.

La detección de objetos utiliza visión artificial en tiempo real durante la navegación autónoma del robot, y esta es una capacidad que requiere la implementación de algoritmos especiales que se desarrollan a través de técnicas de Aprendizaje Profundo (DL). La inteligencia artificial, proporcionada por las distintas técnicas de DL, se basa en modelos matemáticos para resolver problemas que requieran decisiones y adaptaciones similares a la de los humanos (Perez et al., 2011). De esta manera, las técnicas de DL han sido implementadas en la robótica gracias a la integración de procesos de visión artificial, planificación de rutas y control de actuadores, entre otros (Chen et al., 2016).

En el texto *Autonomous robot navigation based on pattern recognition techniques and artificial neural networks*, de Quiñonez et al. (2015), se visualiza la implementación de la detección de objetos que se establece en patrones y redes neuronales, pero no así, concibiendo la definición de marcas por objetos identificados. En la obra *Combining Hector SLAM and artificial potential field for autonomous navigation inside a greenhouse*, de Harik & Korsaeth (2018), se observa la implementación en el campo de la agricultura, la navegación se basa en sensores y campo potencial artificial, indicando el valor de la navegación y la adición de información para mejorar la generación de rutas y la toma de decisiones. Se consideró en *A HW/SW implementation on FPGA of a robot localization algorithm*, de Ghorbel, et al. (2012), la visualización de la implementación en la detección y seguimiento de personas, pero su enfoque no concibe la definición de una marca visible y tampoco obtener coordenadas de la persona dentro del mapa. Con estas consideraciones, se hace visible la oportunidad de concebir como un punto importante la integración de la señalización de los objetos detectados, considerando

dentro de estos a las personas, varios objetos y señales de advertencia. Esta información ha sido previamente agregada y entrenada en una red neuronal, dentro de la exploración de un entorno desconocido en el que se permite la navegación de un robot autónomo.

2. Proceso de integración

El robot autónomo utilizado para la investigación fue el Kuka Youbot, la base para la operación y control ha sido implementado sobre el *framework* de desarrollo ROS (Rusu, s.f.). Las versiones utilizadas fueron ROS Hydro y Kinect, que son las ediciones séptima y novena de la plataforma ROS, en el robot Kuka Youbot, como sistema operativo de fábrica, viene con Ubuntu GNU/Linux 12.04 LTS, para el sistema operativo y la cobertura dada por el fabricante se utiliza la versión de ROS Hydro, debido a la compatibilidad con componentes y librerías internas se ha mantenido la versión (Bischoff, Huggenberger & Prassler, 2011). La navegación autónoma de KUKA youbot fue simulada con herramientas de *software* como Gazebo, Rviz, Rqt_Console, que ayudan a representar y monitorizar las condiciones físicas y mecánicas de un entorno real (Banach, 2016).

La visión artificial hace uso de la librería de visión por computador de código abierto OpenCV, permitiendo, de manera adecuada, la adquisición y manipulación de imágenes (Rozman, Luza & Zboril, 2014). Las diferentes librerías y módulos que se utilizan en la solución son incorporadas en Python, que al ser un lenguaje de programación de *scripting* permite escribir, compilar y ejecutar, de forma rápida y adecuada, siendo también uno de los lenguajes en los que ROS hace uso en sus diferentes módulos y nodos, se ha determinado como el lenguaje que se utilizará por defecto (Yin et al., 2015; Zaman, Slany & Steinbauer, 2011).

En cuanto al aprendizaje profundo, Python es utilizado en conjunto con bibliotecas como Caffee (Lee, s.f.), Numpy (Tabbakha, Tan & Ooi, 2017) para manejar los vectores que permiten enviar los datos a la red, Scikit-learn (Géron, 2017), que consienten la incorporación de una red neuronal pre-entrenada para la detección de objetos y personas. La SSD es el algoritmo de aprendizaje profundo definido para la detección de objetos en tiempo real, que se integra mediante el uso de OpenCV (Liu et al., 2016; Othman & Aydin, 2018). Las librerías puntuales empleadas en el presente trabajo son enlistadas en la Tabla 1.

Librería	Descripción
ROS	Permite la ejecución de diferentes procesos como: control, navegación, monitoreo y simulación
OpenCv	Manejo de imágenes e importación de redes neuronales al código desarrollado
CvBridge	Conversión de imágenes para poder ser manejas por ROS y OpenCV
Caffee	*Framework* donde el diseñador desarrolló la red
Imutilis	Trasformaciones básicas de imágenes como son: rotación o redimensionamiento
Numpy	Contiene organizado en vectores los colores a ser graficados en los bordes de los objetos detectados

Tabla 1 – Librerías empleadas en el proceso de integración

3. Implementación

El objetivo de este trabajo fue encontrar una forma segura de guiar al robot, desde la posición inicial hasta la posición final, a través de un camino libre de obstáculos dentro de un entorno agresivo, desconocido, tratando de moverse con un coste mínimo, indicando cuál es la posición de partida y la posición que se quiere alcanzar, durante el proceso se construyó el mapa del entorno, señalando los objetos y personas que se pueden encontrar, añadiendo así información al mapa del ambiente para ampliar los parámetros de exploración.

3.1. Arquitectura

La Figura 1 muestra cómo está estructurada la arquitectura del sistema implementado. En el robot KUKA se ejecuta la versión ROS Hydro, que es la instancia principal en la que el sistema ROS está conectado al *hardware* del robot. Aquí es donde las instancias individuales se conectan y encuentran la información necesaria para el procesamiento y la manipulación. En el ordenador integrado en el robot youbot, se han dejado las funciones esenciales como la ejecución del driver a través del API de KUKA, la detección de obstáculos mediante el láser, la planificación de rutas y el control de la velocidad hacia los motores.

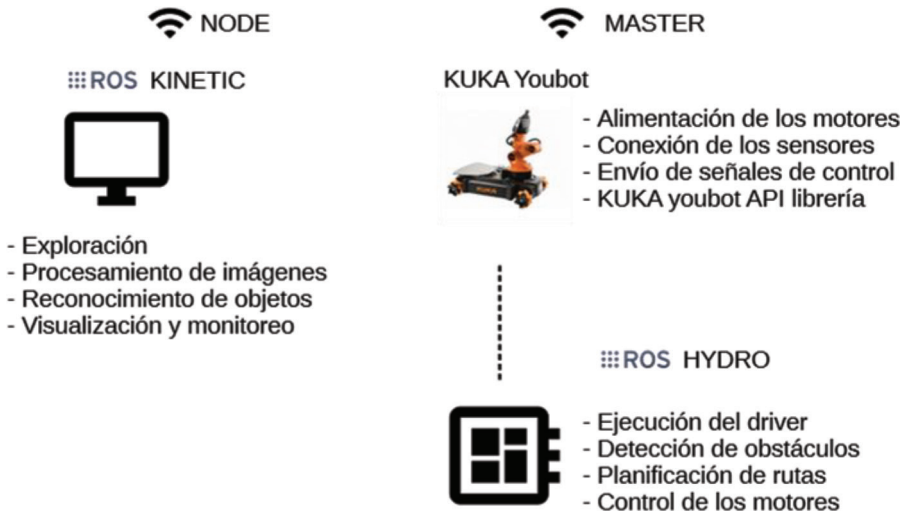


Figura 1 – Diagrama de arquitectura

La integración de los procesos requiere el establecimiento de la conexión entre las diferentes versiones de ROS y las librerías OpenCV, que se muestran en la Figura 2, la conexión se consigue ejecutando diferentes nodos de procesos que envían paquetes de información a través de *topics* o servicios. La comunicación se realiza a través de una red inalámbrica Wifi, a la que se conecta un ordenador externo que utiliza ROS Kinetic. Este es el principal nodo de procesamiento donde se realiza la monitorización para definir las coordenadas del punto de destino de la exploración y seguir la localización del robot, así como para observar el mapa generado por el proceso de exploración y mostrar los

individuos y objetos detectados. Sí los hay, se realizará la marca de la señal identificativa del objeto detectado.

Desde aquí, se gestionan los procesos de *backup* y seguridad del robot, en los que se mantiene una comunicación constante con el robot. Si este ordenador pierde la conexión, después de un tiempo determinado, el robot cancelará cualquier ruta planificada y las velocidades pasarán a cero. Si existe la posibilidad de un comportamiento inadecuado del movimiento del robot, es posible enviar desde este nodo la orden de cancelación de la velocidad y de cualquier movimiento.

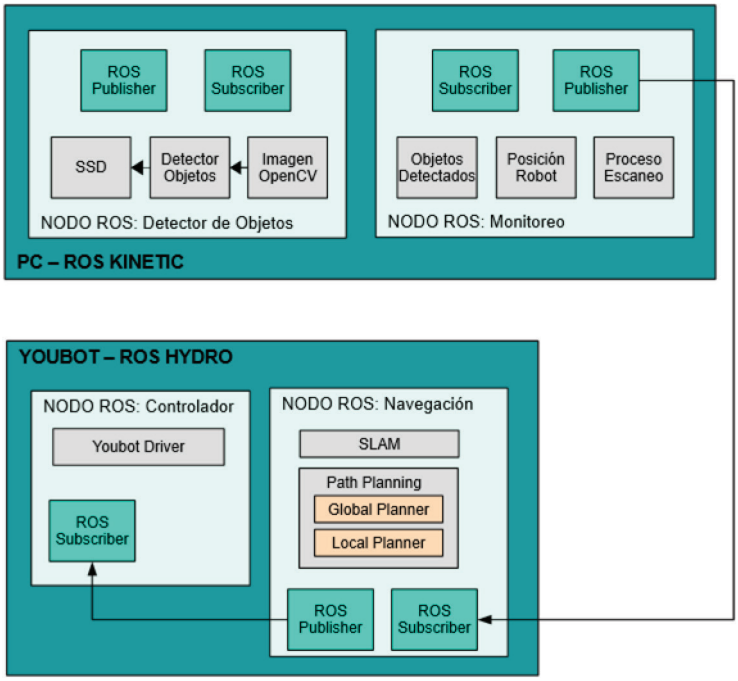


Figura 2 – Arquitectura lógica de los nodos de ROS

3.2. Algoritmo

La navegación emprendió con la asignación de un objetivo a alcanzar, que fue designado por un operador desde la herramienta RVIZ. Este objetivo se comunicó al robot que inició los procesos de planificación y generación de rutas disponibles. A continuación, cuando se empieza el movimiento, se inicia el nodo Gmapping SLAM (localización y mapeo simultáneos), que permite la localización y generación de mapas mediante el láser a medida que el robot se mueve.

Cuando el robot está en la navegación, también está trabajando el nodo de adquisición de imágenes, basado en OpenCV, a través del cual se accede a la información de vídeo enviada por la cámara, que procesa y remite al nodo de detección de objetos en las imágenes, donde identifica si se trata de un objeto conocido por la red neuronal, si no se detecta alguno, no se tendrá en cuenta, y el proceso de navegación continúa

sin novedad. En el caso de que se identifique un objeto, a partir de una imagen transmitida por la cámara, se procede a verificar su grado de fiabilidad para ser tomado en cuenta. Una vez reconocido, las coordenadas se obtienen a partir de la posición del robot en el mapa y los datos sobre la localización del láser, lo que permite dar una aproximación de la localización del objeto identificado respecto al mapa. A partir de este punto, se indican las coordenadas del objeto, enviando a la herramienta RVIZ la generación de una marca de identificación con un color definido, que estará disponible en la representación del mapa que se construye en el proceso de navegación.

Si aún no se ha alcanzado la meta, el proceso continúa, realizando la identificación y señalización de los objetos, que finalizará cuando el robot llegue a la meta.

3.3. Detección de objetos

Un detector de objetos, diseñado a partir del algoritmo SSD, utiliza un modelo VGG (Visual Geometry Group) que permite detectar características mediante una red neuronal convolucional, la cual se define así debido a su arquitectura (Liu et al., 2016), que está compuesta por capas de neuronas donde se conectan, una a continuación de otra, es decir, cada capa se conecta con una anterior y una posterior. En cuanto a las neuronas internas que conforman una capa, estas no se conectan entre sí, solo se limitan a conectarse con otras capas. Para ello, recibe una imagen y toma muestras de diferentes regiones de la misma. La imagen se procesa para obtener características específicas y luego determinar el porcentaje de fiabilidad de las mismas. A continuación, la imagen se escala para tomar regiones de diferente tamaño y extraer las características de las mismas y volver a determinar el porcentaje de cada etiqueta. Estos procesos se repiten dependiendo del número de capas de la red neuronal.

El proceso de detección de objetos es ejecutado a través de un nodo que se suscribe al *topic* donde se están publicando constantemente las imágenes de la *webcam*, se inicia un editor en el que se publicarán las imágenes modificadas con los *tags*, tras lo cual se crea un objeto de tipo CvBridge que permite manipular las imágenes desde ROS con librerías OpenCV, y también a través de la función readNetFromCaffe se importan dos archivos desde la red entrenada, el primero corresponde al diseño de la red y el segundo contiene los pesos obtenidos durante el entrenamiento.

Las imágenes obtenidas desde la *webcam* son leídas y escaladas a una resolución de 300x300 píxeles, ya que este es el tamaño que maneja la red neuronal. La imagen a escala es procesada por otra función OpenCV para detectar cuerpos en forma de manchas, es decir, delimitar los objetos sólidos y enviarlos a la red, que se encarga de clasificarlos, devolviendo un nombre de etiqueta y un valor de fiabilidad correspondiente a la relación entre el objeto detectado y la etiqueta indicada.

El proceso de detección y etiquetado de coordenadas se muestra en la Figura 3. Las coordenadas de los objetos en la imagen 2D también se devuelven cuando se detectan, y se utilizan para generar un gráfico alrededor del objeto y delimitarlo, de tal forma que, el usuario pueda reconocer el proceso realizado. Al final del proceso de etiquetado de objetos, esta nueva imagen es publicada y se inicia un nuevo bucle de detección.

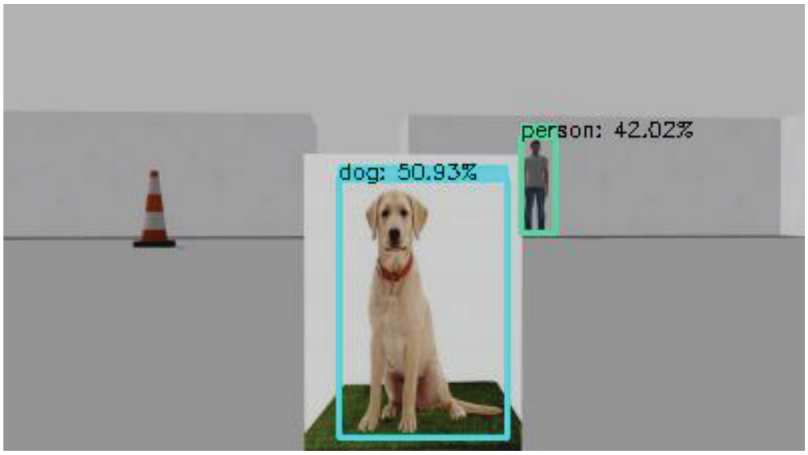


Figura 3 – Visualización de la detección de un animal y una persona

4. Resultados de la simulación

La Figura 4 muestra el estado inicial del robot, el área no definida es desconocida para el robot. En el lado derecho se puede ver lo que el robot observa en la simulación. Un punto de destino es asignado, al que se dirigirá el robot, utilizando los módulos de navegación y planificación. Al ser un entorno desconocido, no tiene el conocimiento de obstáculos los cuales serán detectados mientras avanza.

En la Figura 4 se visualiza que una persona ha sido detectada, cuanto más cerca se encuentra el robot, mejor es el reconocimiento e identificación, en el momento en que se realiza la detección y dependiendo del grado de fiabilidad de la detección, se activa el proceso de señalización, dando un color previamente definido para indicar en el mapa que en esas coordenadas se detectó a una persona. En la Figura 5 se muestra la marca asignada.

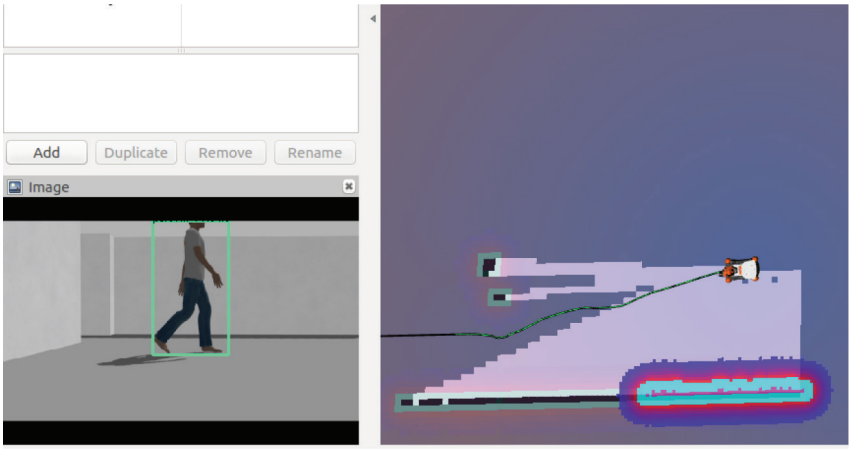


Figura 4 – Detección de una persona

El robot seguirá navegando hasta llegar al punto de destino, recalculando en ese momento si encuentra algún obstáculo, Figura 6. Lo que detendría la navegación del robot sería una emisión de orden de parada desde el ordenador que controla y monitoriza, la pérdida de conexión con el ordenador, que esté fuera de servicio, o enfrentarse a un obstáculo que no puede ser movilizado, como una pared o una barrera que bloquee seguir con el camino.



Figura 5 – Señalización de la detección de una persona

La Figura 6 muestra la detección de una señal de advertencia y de un objeto que, en este caso, es una silla y con respecto a su grado de viabilidad, se procede a la asignación de señales a marcas en las coordenadas. La Figura 7 permite visualizar, desde un plano amplio, cómo serían los marcadores de los objetos detectados. De la misma manera, se visualiza que el robot se ha enfrentado a un obstáculo que no puede evitar, en este caso una pared. Por lo tanto, el robot intentará encontrar una posible solución, dando así el origen de otra ruta.

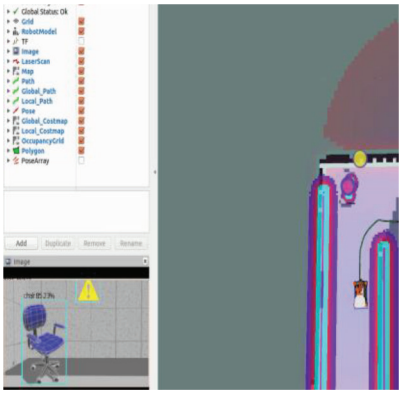


Figura 6 – Detección de objetos en el mapa

La Figura 7 consiente visualizar desde un plano amplio cómo serían los marcadores de los objetos detectados. De la misma forma, se visualiza que el robot se ha enfrentado a un obstáculo que no puede evitar, en este caso una pared. Por lo tanto, el robot intentará encontrar una posible solución, dando así el origen de otra ruta.

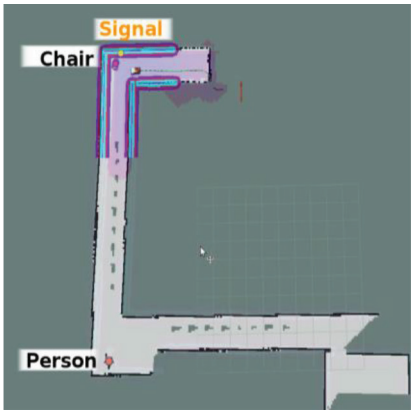


Figura 7 – Señal ización del mapa con marca de los objetos detectados

5. Conclusiones

El trabajo ha proporcionado una prueba de cómo utilizar la detección de objetos y personas en la exploración de entornos desconocidos para el robot. La señalización de objetos, proporcionada por la detección de una red neuronal profunda, ayudaría a que, en una futura navegación del robot, se tenga la constancia física de la existencia del objeto, y que este pueda ser utilizado como punto de referencia, el cual formaría parte del proceso de toma de decisiones respecto a la navegación del robot en el entorno.

Una de las dificultades que se ha enfrentado, es la transformación a coordenadas desde la imagen de la detección de los objetos hasta su asignación al mapa, esto se debe a que estamos trabajando con imágenes 2D y no con profundidad. Para mitigar esta dificultad, utilizamos los datos láser, de que dispone el robot y, en base a ellos, medimos la profundidad y damos una aproximación más cercana de donde se puede encontrar el objeto.

Finalmente, esta investigación demostró que la integración de ROS, Python y OpenCV es un enfoque con gran versatilidad para proporcionar una capacidad autónoma de navegación y exploración en cualquier robot móvil. Además, OpenCV es una herramienta que permite el uso de librerías para la implementación de aprendizaje profundo con algoritmos SSD, desarrollados y entrenados con el *framework* Caffe. Se concluye que la contribución ha dado pautas para futuras investigaciones, en las que se puede ampliar el campo de uso y manipulación de la información para la navegación, al disponer de datos de los elementos que podrían estar en un entorno de exploración que son detectados e identificados por una red neuronal.

Agradecimiento: *Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización de este trabajo de investigación, logrado en la ejecución del*

proyecto "Plataforma Móvil Omnidireccional KUKA dotada de Inteligencia Artificial utilizando estrategias de Machine Learning para Navegación Segura en Espacios no Controlados", código del proyecto: PFISEI27.

Referencias

Banach, A. (2016). Visual control of the Parrot drone with OpenCV, Ros and Gazebo Simulator. *Repositorio UPC*. Recuperado de http://repositorio.upct.es/handle/10317/5442

Billing, E., Hellstrm, T., & Janlert, L. E. (2012). Robot Learning from Demonstration Using Predictive Sequence Learning. In A. Dutta (Ed.), *Robotic Systems - Applications, Control and Programming*. InTech. DOI: 10.5772/26165

Bischoff, R., Huggenberger, U., & Prassler, E. (2011). KUKA youBot - a mobile manipulator for research and education. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 1–4). Shanghai, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980575

Chen, Y., Yao, E., & Basu, A. (2016). A 128-Channel Extreme Learning Machine-Based Neural Decoder for Brain Machine Interfaces. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, *10*(3), 679–692. DOI: 10.1109/TBCAS.2015.2483618

Géron, A. (2017). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems* (1 edition). Beijing Boston Farnham Sebastopol Tokyo: O'Reilly Media.

Ghorbel, A., Ben Amor, N., Jallouli, M., & Amouri, L. (2012). A HW/SW implementation on FPGA of a robot localization algorithm. In *International Multi-Conference on Systems, Sygnals & Devices* (pp. 1–7). Chemnitz, Germany: IEEE. DOI: 10.1109/SSD.2012.6198005

Gordón, C., Encalada, P., Lema, H., León, D., & Peñaherrera, C. (2019). Autonomous Robot KUKA YouBot Navigation Based on Path Planning and Traffic Signals Recognition. In K. Arai, R. Bhatia, & S. Kapoor (Eds.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2018* (pp. 63–78). Springer International Publishing.

Harik, E. H., & Korsaeth, A. (2018). Combining Hector SLAM and Artificial Potential Field for Autonomous Navigation Inside a Greenhouse. *Robotics*, *7*(2), 22. DOI: 10.3390/robotics7020022

Hernández, A., Gómez, C., Crespo, J., & Barber, R. (2016). Object Detection Applied to Indoor Environments for Mobile Robot Navigation. *Sensors*, *16*(8), 1180. DOI: 10.3390/s16081180

Kim, K., Hong, Y.-G., & Han, Y.-H. (2018). General labelled data generator framework for network machine learning. In *2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)* (pp. 127–131). Chuncheon-si Gangwon-do, Korea (South): IEEE. DOI: 10.23919/ICACT.2018.8323670

Lee, A. (s.f.). Comparing Deep Neural Networks and Traditional Vision Algorithms in Mobile Robotics, 9.

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. *ArXiv:1512.02325 [Cs]*, *9905*, 21–37. DOI: 10.1007/978-3-319-46448-0_2

Othman, N. A., & Aydin, I. (2018). A New Deep Learning Application Based on Movidius NCS for Embedded Object Detection and Recognition. In *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1–5). Ankara, Turkey: IEEE. DOI: 10.1109/ISMSIT.2018.8567306

Perez, A., Karaman, S., Shkolnik, A., Frazzoli, E., Teller, S., & Walter, M. R. (2011). Asymptotically-optimal path planning for manipulation using incremental sampling-based algorithms. In *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 4307–4313). San Francisco, CA: IEEE. DOI: 10.1109/IROS.2011.6094994

Pfeifer, R., & Scheier, C. (2001). *Understanding Intelligence*. MIT Press.

Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., … Ng, A. (s.f.). ROS: an open-source Robot Operating System, 6.

Quiñonez, Y., Ramirez, M., Lizarraga, C., Tostado, I., & Bekios, J. (2015). Autonomous Robot Navigation Based on Pattern Recognition Techniques and Artificial Neural Networks. In J. M. Ferrández Vicente, J. R. Álvarez-Sánchez, F. de la Paz López, F. J. Toledo-Moreo, & H. Adeli (Eds.), *Bioinspired Computation in Artificial Systems* (Vol. 9108, pp. 320–329). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-18833-1_34

Rozman, J., Luza, R., & Zboril, F. V. (2014). ROS-based remote controlled robotic arm workcell. In *2014 14th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications* (pp. 101–106). Okinawa, Japan: IEEE. DOI: 10.1109/ISDA.2014.7066281

Rusu, R. B. (s.f.). ROS - Robot Operating System, 25.

Sun, W., & Gao, X. (2018). The Construction of Undergraduate Machine Learning Course in the Artificial Intelligence Era. In *2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 1–5). Colombo: IEEE. DOI: 10.1109/ICCSE.2018.8468758

Tabbakha, N. E., Tan, W.-H., & Ooi, C.-P. (2017). Indoor location and motion tracking system for elderly assisted living home. In *2017 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS)* (pp. 1–4). Melaka: IEEE. DOI: 10.1109/ICORAS.2017.8308073

Yin, J., Yang, G., Zhao, F., & Qiu, H. (2015). Motion planning implemented in ROS for Omni-directional Wheeled Mobile Robot. In *2015 IEEE International Conference on Information and Automation* (pp. 2695–2700). Lijiang, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICInfA.2015.7279741

Zaman, S., Slany, W., & Steinbauer, G. (2011). ROS-based mapping, localization and autonomous navigation using a Pioneer 3-DX robot and their relevant issues. In *2011 Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference (SIECPC)* (pp. 1–5). Riyadh, Saudi Arabia: IEEE. DOI: 10.1109/SIECPC.2011.5876943

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 09/11/2018
Aceitação/Acceptance: 27/01/2019

Integración de ROS y detección de objetos en un robot autónomo KUKA Youbot para el rescate de personas

Carlos Gordón[1], Patricio Encalada[2], Henry Lema[3], Diego León[4], Dennis Chicaiza[5]

cd.gordon@uta.edu.ec, pg.encalada@uta.edu.ec, hp.lema@uta.edu.ec, dleon0074@uta.edu.ec, dv.chicaiza@uta.edu.ec

[1,2,3,4,5] Universidad Técnica de Ambato, 180104, Ambato, Ecuador.

Pages:317–327

Resumen: Los procesos de rescate en ambientes que presentan niveles de contaminación, causados por agentes químicos, radiactivos o biológicos, se encuentran limitados por el tiempo de exposición al que pueden estar sometidos los rescatistas, debido a esto, la utilización de plataformas robóticas ha sido tomada como una opción factible, ya que consiente aumentar la precisión al realizar las operaciones y reducir el tiempo en la toma de decisiones. El objetivo de este trabajo fue presentar un sistema, el cual vincule los procesos de navegación, exploración y detección de personas dentro de la plataforma móvil Kuka Youbot que, principalmente, permita generar un mapa con las ubicaciones de los individuos detectados. El trabajo posibilitó la combinación de los procesos mencionados mediante la utilización del Robot Operating System, OpenCV, Gazebo y el algoritmo Single Shot Detector, para detectar individuos. Esto admitió el desarrollo de futuras plataformas para rescate de personas.

Palabras-clave: navegación autónoma; Deep Learning; Robot Operating System; Kuka Youbot; Single Shot Detector; Open Source Computer Vision Library.

Integration of ROS and object detection in an autonomous robot KUKA Youbot for rescuing people

Abstract: The rescue processes to be carried out in environments that present levels of contamination caused by chemical, radioactive or biological agents are limited by the time of exposure to which the rescuers can be submitted, due to this the use of robotic platforms has been taken as a feasible option since it allows to increase the precision when carrying out the operations and to reduce the time in the decision making. The objective of this work is to present a system that links navigation processes, exploration and detection of people inside the Kuka Youbot mobile platform, which mainly allows to generate a map with the locations of the detected individuals. The work allowed the combination of the mentioned processes through the use of Robot Operating System, OpenCV, Gazebo and the Single Shot Detector algorithm to detect people. This work will allow the development of future platforms to rescue people.

***Keywords**:* autonomous navigation; Deep Learning; Robot Operating System; Kuka Youbot; Single Shot Detector; Open Source Computer Vision Library.

1. Introducción

Las operaciones de rescate se ven dificultadas cuando el entorno se encuentra contaminado por agentes químicos, radiactivos o biológicos. Esto restringe el tiempo de exposición al que los rescatistas están sometidos (Doroodgar et al., 2014). Debido a estas limitaciones, las plataformas robóticas han sido tomadas en cuenta para tema de estudio (Geng, Gong & Zhang, 2014), ya que las mismas pueden ser monitorizadas a distancia por operadores humanos (Doroodgar et al., 2014), mientras ejecutan algoritmos de navegación y exploración autónomos dentro de un entorno que no presente pendientes mayores a 15° de inclinación, con lo cual se ahorra tiempo y reduce el grado de complejidad en caso de tener que manipular los equipos (Phuengsuk & Suthakorn, 2016). El proceso de navegación autónoma puede ser complementado con procesos de detección de personas (Xia et al., 2015) para lograr identificar individuos y obtener coordenadas de su ubicación, así se consigue ahorrar tiempo en la ejecución de medidas de rescate necesarias. El proceso de detección mencionado presenta un buen desempeño al emplear algoritmos de visión artificial basados en redes neuronales (Hsu, Wang & Huang, 2018), debido a que son los más empleados y confiables hasta la fecha.

Las plataformas empleadas para rescate o asistencia de personas presentan diferentes prestaciones útiles. En el caso del robot NuBot, implementa un sistema de navegación completamente autónomo y uno de visión térmica para reconocer cuerpos en ambientes donde exista una reducida visibilidad (Liu et al., 2016), pese a que permite observar personas, también detecta cuerpos que irradien calor, limitando su capacidad para discriminarlos. Un sistema similar es una plataforma desarrollada para moverse en terreno escarpado mientras explora, de forma semiautónoma, para aprender del entorno analizado (Doroodgar et al., 2014); y generar un mapa más detallado que el NuBot, pero no es completamente autónomo y su sistema de visión está orientado a procesos de visualización y no de detección. El análisis de entornos inseguros es ejecutado por el robot Tele-Op IV (Phuengsuk & Suthakorn, 2016), que es teleoperado para analizar diferentes variables físicas, como son: temperatura y nivel de dióxido de carbono. Aunque el robot incorpora un sistema de visión, este permite, únicamente, ejecutar visualización. Un trabajo que contrarresta estas desventajas es el TurtleSeek, el cual emplea un Turtlebot para forjar procesos de navegación y exploración, además incorpora un sistema de detección de personas, empleando una Kinetic, pero se limita a realizar la detección basada en el reconocimiento de las piernas humanas (Xia et al., 2015). Un sistema, que emplea visión para detección de patrones en el entorno basado en ORB, consiente detectar las características puntuales del ambiente, pero no de objetos determinados, debido a las limitaciones del detector (Chen et al., 2017).

La manipulación y control de los dispositivos autómatas se logra mediante la comunicación establecida en una red LAN (Shin et al., 2017; Phuengsuk & Suthakorn, 2016). En este caso, al emplear ROS se logra ejecutar diferentes procesos en distintas plataformas conectadas de forma inalámbrica (Xin et al., 2018), al dividir la carga de procesamiento, la respuesta del robot es más rápida, aunque la calidad de la conexión influye en la velocidad de transmisión de los paquetes, de presentarse el caso, lo que requiere es una conexión más robusta, establecida por dispositivos más potentes o distribuidos estratégicamente (Shin et al., 2017).

Al analizar las tecnologías disponibles en cuanto a navegación, exploración, detección de objetos en imágenes e Internet de las cosas (Liu et al., 2016; Ren et al., 2017; Redmon et al., 2016), se logra fusionarlas en un solo sistema mediante la incorporación de las mismas dentro del Robot Operating System (Quigley et al., s.f.) y simularlas en el entorno de Gazebo, de tal forma que, se consigue observar el desempeño de los procesos en situaciones de rescate o asistencia de personas en lugares contaminados.

Los trabajos mencionados anteriormente presentan planificadores de rutas para que un robot pueda navegar, de forma autónoma, en entornos desconocidos, otros sistemas muestran la capacidad para reconocer diferentes patrones ubicados en el entorno, las características exhibidas son de relevancia, es por esto, que el presente trabajo consiste en unificar los procesos mencionados para que puedan ser ejecutados en una plataforma móvil, logrando así, la posibilidad de construir un sistema más complejo de los existentes, los procesos de navegación y planificación vienen preinstalados dentro del entorno de ROS, y el sistema detector de personas es un algoritmo detector de objetos, modificado para detectar un solo tipo de clase, ambos sistemas se unificaron y comunicaron mediante un *script* desarrollado en Python.

2. Integración de los procesos

La plataforma controlada al ejecutar la simulación es el Kuka Youbot (Bischoff, Huggenberger & Prassler, 2011), la cual fue adquirida por la Universidad Técnica de Ambato, misma que tiene preinstalado el sistema operativo Ubuntu 12.04 LTS, dentro del cual ejecuta ROS Hydro Medusa, debido a que, los *drivers* del robot están configurados para esta versión y, al mismo tiempo, simula el entorno Gazebo, el cual permite construir un entorno 3D con todas las variables físicas necesarias para llevar a cabo una simulación, lo más parecida a un ambiente real (Takaya et al., 2016). Una Raspberry Pi ejecuta ROS Kinetic que utiliza diferentes librerías para enlazar ROS, OpenCV y la red neuronal entrenada para la detección de personas en el entorno virtual (Htike et al., 2014), además, publica los valores correspondientes a las personas detectadas. Un computador se enlaza a la red para el monitoreo del robot y la lectura del mapa generado por el proceso de navegación y exploración (Fuentes-Pacheco, Ruiz-Ascencio & Rendón-Mancha, 2015). La configuración mencionada puede ser observada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

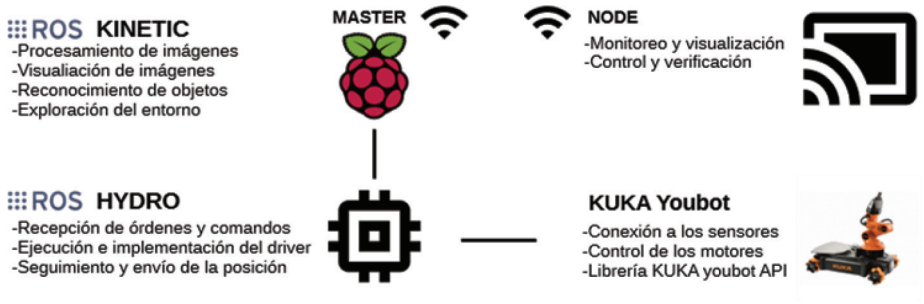


Figura 1 – Proceso de integración

La máquina que ejecuta Ubuntu 12.04 LTS pone en marcha ROS Hydro Medusa y Gazebo, ambos se comunican con el computador que ejecuta ROS Kinetic mediante el envío de paquetes de información a través de comunicación Ethernet, diferentes versiones de ROS y dispositivos son empleados para aliviar la carga de procesamiento requerido al ejecutar un detector de personas, basado en Single Shot Detector (SSD) (Liu et al., 2016), de tal modo que, el nodo encargado del procesamiento de imágenes no sature los recursos en cuanto a procesamiento del robot.

3. Arquitectura lógica del sistema

La integración de los procesos requiere el establecimiento de la conexión entre las diferentes versiones de ROS y las librerías de OpenCV (Gordón et al., 2019), las cuales son mostradas en la , la conexión se logra al ejecutar diferentes nodos de procesos, los cuales envían paquetes de información mediante tópicos o servicios.

3.1. Youbot – ROS Hydro

Esta etapa representa al Kuka Youbot empleando ROS Hydro para la ejecución de los nodos de navegación, control y exploración, la versión de ROS mencionada, se emplea debido a la limitación presentada por los *drivers* para funcionar con diferentes versiones, además de las limitaciones de procesamiento presentadas por el computador interno del robot.

ROS Node – Navigation: este proceso lee información de los sensores instalados en el robot mediante los tópicos disponibles, establecidos por ROS, con los valores obtenidos se pueden ejecutar los procesos de Path Plannig y AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) para calcular la posición del robot en el mapa (Pérez et al., 2011). El proceso de Path Planning admite calcular las trayectorias que el robot puede ejecutar (Galli et al., 2017), este cálculo se lo realiza mediante dos subprocesos denominados: Local y Global Planner. El Global Planner calcula las trayectorias desde la posición actual del robot a una posición final establecida por un usuario u otro proceso en ejecución. El Local Planner modifica tramos al encontrar algún obstáculo durante la navegación en la trayectoria principal, además es el encargado de calcular las velocidades requeridas para desplazar el robot y publicarlas al nodo de control (Kahn et al., 2018).

ROS Node – Controler: las velocidades de navegación, al ser publicadas a un tópico, son obtenidas por este nodo mediante una subscripción a los mismos, los valores obtenidos son convertidos y ejecutados por los *drivers* del robot, los cuales se encargan de controlar el *hardware* correspondiente al control de los motores instalados en la plataforma móvil.

3.2. Raspberry Pi – ROS Kinetic

Los procesos de detección de individuos y monitoreo son ejecutados en este computador, debido a la incompatibilidad presentada entre las librerías de OpenCV con las versiones de ROS Hydro, en cuanto respecta al manejo de las redes neuronales, la limitada capacidad de procesamiento del robot para manejar imágenes y, principalmente, para visualizar el mapa generado por el autómata, su ubicación dentro del mismo y la ubicación de los individuos detectados.

Ros Node – Webcam: el presente nodo carga una librería escrita en C++, para inicializar la *webcam* y establecer la comunicación con ROS, al existir comunicación, las imágenes son leídas, transformadas y publicadas en un tópico, posteriormente, el nodo de detección personas se subscribe a dicho tópico para leer las imágenes y detectar los individuos dentro de las mismas.

ROS Node – Object Detector: las imágenes provenientes de la *webcam* son leídas por este nodo al subscribirse al tópico que las contiene, luego procede a convertirlas al formato requerido por OpenCV, el cual las manipula para cambiarlas de tamaño a 400 px y procesarlas con la función blob, el resultado obtenido es enviado a la función que maneja la red neuronal entrenada para verificar la existencia de alguno en la imagen, en caso de detectarlo, las coordenadas del robot son publicadas en un tópico y almacenadas como posición de referencia correspondientes a un individuo detectado en el entorno explorado por el robot (Angelov & Gu, 2018). La red neuronal fue previamente entrenada empleando las librerías de Caffe, obteniendo, al final, dos archivos, el primero un prototxt y, el segundo, el modelo diseñado en Caffe, estos modelos fueron descargados de un repositorio en github, cuyo nombre de usuario es chuanqui305.

3.3. PC – ROS Kinetic

El proceso de monitoreo es ejecutado en el computador de escritorio para seguir la ubicación de la plataforma, observar el mapa generado por el proceso de exploración y mostrar a los individuos detectados, en caso de existir alguno, además este computador permite configurar diferentes parámetros al momento de ejecutar la navegación, como sería el caso de la velocidad a la que el robot se puede desplazar y, principalmente, consiente al operador asignar coordenadas dentro del mapa para que el robot se dirija en esa dirección, en caso de ser requerido un retorno o movimiento repentino no planificado.

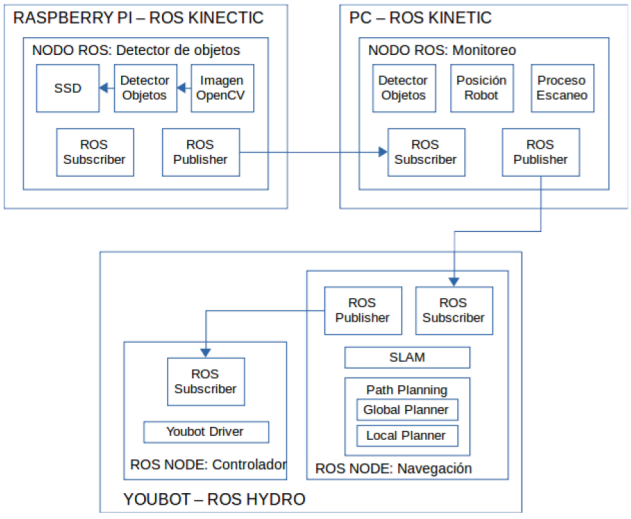


Figura 2 – Arquitectura lógica de los nodos de ROS

4. Algoritmos Implementados

4.1. Detección de personas

El proceso de detección de personas emplea una red neuronal y la detección basada en el algoritmo SSD, la red fue entrenada empleando CAFFE *framework* y su estructura está basada en una MobileNet, además, cuenta con una Average Precision (mAP), de 0.727. Para el procedimiento de instrucción se empleó el aprendizaje supervisado, en ello fueron empleadas imágenes, previamente nombradas y organizadas en clases. La librería OpenCV es empleada para importar la red y sus pesos, acoplarlas en el *script* de detección y procesar las imágenes para detectar individuos presentes en las imágenes (Angelov & Gu, 2018).

El nodo encargado del proceso de detección de personas, al ser ejecutado, procede a subscribirse en un tópico donde las imágenes adquiridas por la *webcam* son publicadas, e inicia un tópico donde publica las imágenes modificadas resultantes del proceso de detección, posteriormente el nodo importa dos archivos que contienen el diseño de la red y los pesos obtenidos durante el entrenamiento, esto se lo realiza empleando la función readNetFromCaffe, perteneciente a la librería OpenCV. El siguiente paso es procesar las imágenes obtenidas de la *webcam*, las cuales luego de ser leídas son escaladas a una resolución de 300x300 para procesarlas por la red neuronal, luego son procesadas por la función blob de OpenCV, la cual permite detectar grupos de píxeles interconectados. El resultado obtenido en esta etapa es introducido en la función que procesa las imágenes mediante la red entrenada para obtener información de los individuos detectados, su ubicación en la imagen y el grado de confiabilidad de que ha sido detectado una persona, con el valor de la ubicación se procede a generar un cuadro alrededor del individuo de tal forma que se sobrescribe la imagen original y se la publica en el tópico mencionado anteriormente, con el objetivo de que las personas puedan observar el resultado del proceso de detección.

4.2. Monitoreo y alerta

Proceso de monitoreo: Durante el proceso de exploración (Liu et al., 2016), el robot será monitoreado por un operador humano (Doroodgar et al., 2014) en caso de presentarse algún evento imprevisto, y además observar la construcción del mapa digital generado por el robot al momento de explorar el entorno desconocido (Chen et al., 2017). La interfaz que permite observar el proceso de mapeo también cuenta con la posibilidad de mostrar las imágenes capturadas y procesadas por el nodo de visión por computador, de tal forma que, se puede ver el momento que detecte a una persona (Angelov & Gu, 2018).

Sistema de alerta: Las imágenes capturadas desde la *webcam* conectada a la Raspberry Pi son procesadas mediante la red neuronal manejada desde un *script*, escrito en Python. Al momento de detectar una persona, envía un mensaje a través de un tópico de ROS, detallando el número de seres detectados, en caso de existir varios, así como la ubicación del robot para que los rescatistas puedan ejecutar las medidas necesarias con mayor precisión y ahorrar tiempo (Liu et al., 2016).

5. Simulación y resultados

5.1. Entorno 3D

El escenario diseñado en Sketchup y modificado en Blender es simulado en 3D mediante la utilización del entorno Gazebo, como se muestra en la . El diseño del entorno corresponde a la planta baja de un edificio. Posterior, se insertaron modelos estáticos de personas para poner a prueba el nodo de visión por computador.

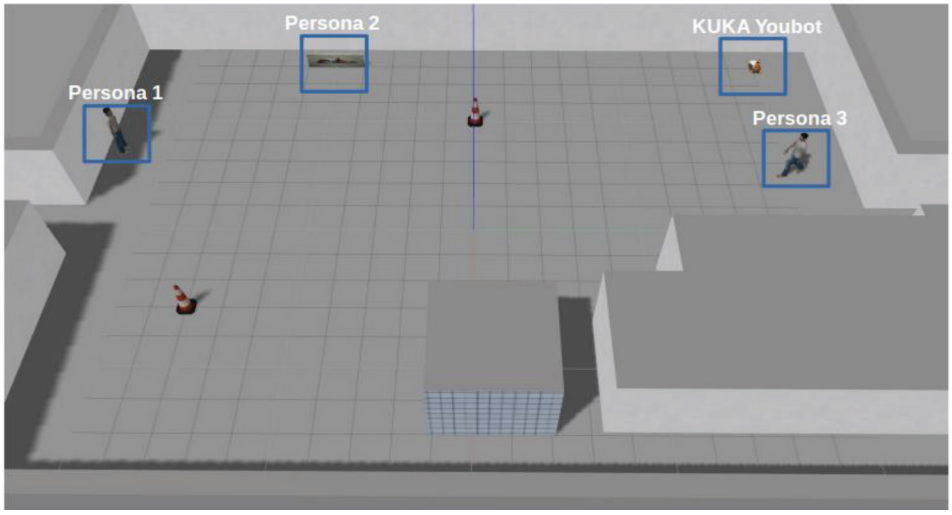


Figura 3 – Simulación del entorno y del robot en Gazebo

5.2. Detección de personas

Durante el proceso de simulación, el robot Youbot fue enviado a explorar el entorno contaminado, peligroso y con pendientes menores a 15°, a la par, el nodo de visión por computador fue ejecutado para procesar las imágenes captadas del sitio recorrido. Las imágenes procesadas fueron mostradas en la interfaz de RViz, la cual nos permite observar el mapa generado y a las personas detectadas simultáneamente, los resultados obtenidos pueden ser apreciado en la . Al ejecutar la simulación, se ubicó una mujer acostada para comprobar la detección de la misma por el nodo de visión por computador, durante la navegación generó el mapa del entorno y detectó a la mujer, los resultados pueden observarse en la . La respuesta de la detección se encontró reducida debido a la posición de la persona en la foto, ya que la red no está entrenada para detectar este tipo de posiciones.

5.3. Obtención del mapa

Internamente, el robot Youbot ejecutó los procesos de navegación y exploración permitiéndole, de esta manera, navegar en entornos contaminados, peligrosos, con pendientes no mayores a 15° y, al mismo tiempo, generar un mapa digital. Durante el proceso de simulación del entorno presentado previamente, el robot navegó alrededor

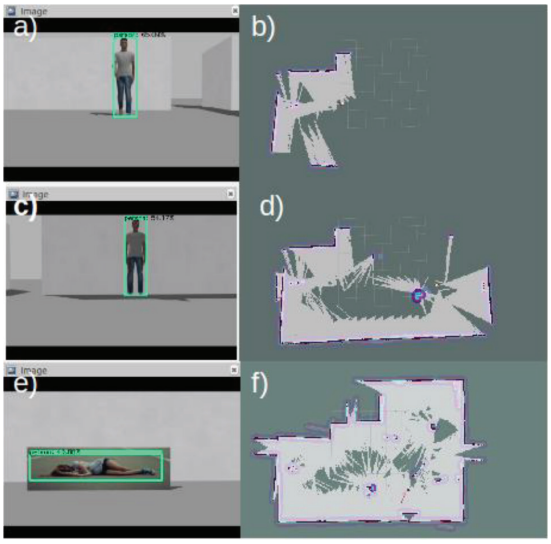


Figura 4 – Ejecución del nodo detector de personas: a) primera persona detectada; b) posición del robot al detectar a la primera persona; c) segunda persona detectada; d) posición del robot al detectar a la segunda persona; e) detección de una mujer acostada; f) posición del robot al detectar a la mujer

del mismo para detectar personas y generar un mapa en donde pueda ser ubicado con precisión, al final de la simulación el robot generó el mapa mostrado en la , el cual fue observado y obtenido dentro de la interfaz RViz.

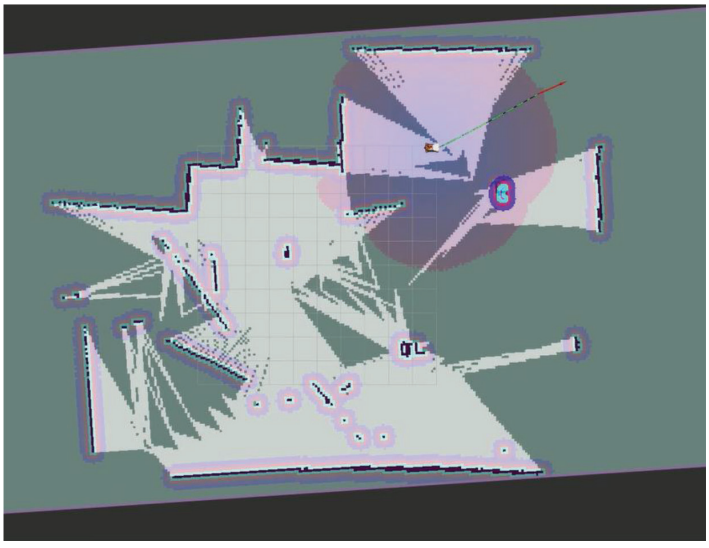


Figura 5 – Mapa obtenido mediante el proceso de navegación y exploración

6. Conclusiones

El sistema simulado consiente reconocer a seres humanos utilizando imágenes obtenidos de una *webcam* con capacidades *standard* y procesadas mediante el algoritmo de Single Shot Detector, el cual presenta una respuesta rápida y confiable. En cuanto al proceso de exploración, la navegación autónoma permite al robot desplazarse por el entorno, generando un mapa, sin la necesidad de la supervisión constante por parte de un operario humano. Los dos procesos mencionadas, al ser ejecutados simultáneamente, dotan a la plataforma de la capacidad de navegar, explorar y detectar personas dentro de entornos peligrosos, contaminados y con pendientes menores a 15°, con el objetivo de emitir alertas mediante publicaciones en tópicos de ROS, los cuales contengan las ubicaciones de las personas detectadas dentro del ambiente, para que las medidas de rescate puedan ser efectuadas con un mayor nivel de precisión y en menor tiempo que los métodos tradicionales, sin emplear dispositivos robóticos.

Los entornos que presenten superficies irregulares, tales como rugosidad, o pendientes mayores a 15° limitan la capacidad de movimiento del robot, e incluso existe la posibilidad de que este se atasque en la exploración de entornos accidentados. En cuanto al proceso de detección de personas, su capacidad se encuentra condicionada por los niveles de visibilidad del entorno, debido a que la presencia de vapores, gases o niveles de iluminación elevados influyen considerablemente en la calidad de las imágenes obtenidas mediante la *webcam*. Una de las limitantes que hay que considerar durante el proceso de monitoreo es la calidad de la señal Wifi, ya que su estabilidad y alcance restringen el rango de exploración que pueda alcanzar el robot.

Los trabajos futuros consistirán en mejorar el proceso de visión artificial, sus capacidades mejorarán en caso de emplear una cámara térmica para contrarrestar la visibilidad reducida y, además, se podrá emplear la transferencia de conocimiento para dotar al proceso de la capacidad de detectar un mayor número de objetos. El segundo aspecto hace referencia a la capacidad de desplazamiento del robot, la cual se puede mejorar en caso de realizar modificaciones en su estructura y sistemas de transmisión, o emplear otra plataforma, que presente las capacidades mencionadas.

El objetivo del trabajo fue la unificación de los algoritmos de navegación, exploración y detección de humanos para generar un mapa que contenga datos acerca de las personas detectadas en un área desconocida. Debido a esto, la articulación se presenta con una estimación empírica de su funcionamiento, la cual permite decir que, cualquier distancia que sea recorrida por el robot, la realizará a una velocidad máxima promedio de 0.18 m/s. El análisis estadístico se realizará en futuros trabajos, luego de modificar la arquitectura del sistema para ejecutar los procesos de forma distribuida y evitar la sobrecarga de trabajo en los componentes de procesamiento.

Agradecimiento: *Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización de este trabajo de investigación, consumado en la ejecución del proyecto "Plataforma Móvil Omnidireccional KUKA dotada de Inteligencia Artificial utilizando estrategias de Machine Learnig para Navegación Segura en Espacios no Controlados", código del proyecto: PFISEI27.*

Referencias

Angelov, P. P., & Gu, X. (2018). Toward Anthropomorphic Machine Learning. Computer, 51, 18–27. DOI: 10.1109/mc.2018.3620973

Bischoff, R., Huggenberger, U., & Prassler, E. (2011). KUKA youBot - a mobile manipulator for research and education. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 1–4). Shanghai, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980575

Chen, X., Zhang, H., Lu, H., Xiao, J., Qiu, Q., & Li, Y. (2017). Robust SLAM system based on monocular vision and LiDAR for robotic urban search and rescue. In *2017 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR)* (pp. 41–47). Shanghai, China: IEEE. DOI: 10.1109/SSRR.2017.8088138

Doroodgar, B., Yugang Liu, & Nejat, G. (2014). A Learning-Based Semi-Autonomous Controller for Robotic Exploration of Unknown Disaster Scenes While Searching for Victims. *IEEE Transactions on Cybernetics*, *44*, 2719–2732. DOI: 10.1109/tcyb.2014.2314294

Fuentes-Pacheco, J., Ruiz-Ascencio, J., & Rendón-Mancha, J. M. (2015). Visual simultaneous localization and mapping: a survey. *Artificial Intelligence Review*, *43*(1), 55–81.

Galli, M., Barber, R., Garrido, S., & Moreno, L. (2017). Path planning using Matlab-ROS integration applied to mobile robots. In *2017 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)* (pp. 98–103). Coimbra, Portugal: IEEE. DOI: 10.1109/ICARSC.2017.7964059

Geng, N., Gong, D. W., & Zhang, Y. (2014). PSO-Based Robot Path Planning for Multisurvivor Rescue in Limited Survival Time. *Mathematical Problems in Engineering*, *2014*, 1–10. DOI: 10.1155/2014/187370

Gordón, C., Encalada, P., Lema, H., León, D., & Peñaherrera, C. (2019). Autonomous Robot KUKA YouBot Navigation Based on Path Planning and Traffic Signals Recognition. In K. Arai, R. Bhatia, & S. Kapoor (Eds.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2018* (pp. 63–78). Springer International Publishing.

Hsu, S.-C., Wang, Y.-W., & Huang, C.-L. (2018). Human Object Identification for Human-Robot Interaction by Using Fast R-CNN. In *2018 Second IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)* (pp. 201–204). Laguna Hills, CA: IEEE. DOI: 10.1109/IRC.2018.00043

Htike, K. K., Khalifa, O. O., Mohd Ramli, H. A., & Abushariah, M. A. M. (2014). Human activity recognition for video surveillance using sequences of postures. In *The Third International Conference on e-Technologies and Networks for Development (ICeND2014)* (pp. 79–82). Beirut, Lebanon: IEEE. DOI: 10.1109/ICeND.2014.6991357

Kahn, G., Villaflor, A., Ding, B., Abbeel, P., & Levine, S. (2018). Self-Supervised Deep Reinforcement Learning with Generalized Computation Graphs for Robot Navigation. In *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 1–8). DOI: 10.1109/ICRA.2018.8460655

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. *ArXiv:1512.02325 [Cs]*, *9905*, 21–37. DOI: 10.1007/978-3-319-46448-0_2

Liu, Y., Zhong, Y., Chen, X., Wang, P., Lu, H., Xiao, J., & Zhang, H. (2016). The design of a fully autonomous robot system for urban search and rescue. In *2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)* (pp. 1206–1211). Ningbo, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICInfA.2016.7832003

Perez, A., Karaman, S., Shkolnik, A., Frazzoli, E., Teller, S., & Walter, M. R. (2011). Asymptotically-optimal path planning for manipulation using incremental sampling-based algorithms. In *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 4307–4313). San Francisco, CA: IEEE. DOI: 10.1109/IROS.2011.6094994

Phuengsuk, R., & Suthakorn, J. (2016). A study on risk assessment for improving reliability of rescue robots, 667–672. DOI: 10.1109/robio.2016.7866399

Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., … Ng, A. (s.f.). ROS: an open-source Robot Operating System, 6.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779–788). Las Vegas, NV, USA: IEEE. DOI: 10.1109/CVPR.2016.91

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *39*(6), 1137–1149. DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2577031

Shin, S., Yoon, D., Song, H., Kim, B., & Han, J. (2017). Communication system of a segmented rescue robot utilizing socket programming and ROS. In *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)* (pp. 565–569). Jeju: IEEE. DOI: 10.1109/URAI.2017.7992670

Takaya, K., Asai, T., Kroumov, V., & Smarandache, F. (2016). Simulation environment for mobile robots testing using ROS and Gazebo. In *2016 20th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)* (pp. 96–101). Sinaia, Romania: IEEE. DOI: 10.1109/ICSTCC.2016.7790647

Xia, F., Tyoan, L., Yang, Z., Uzoije, I., Zhang, G., & Vela, P. A. (2015). Human-aware mobile robot exploration and motion planner. In *SoutheastCon 2015* (pp. 1–4). Fort Lauderdale, FL, USA: IEEE. DOI: 10.1109/SECON.2015.7133021

Xin, C., Qiao, D., Hongjie, S., Chunhe, L., & Haikuan, Z. (2018). Design and Implementation of Debris Search and Rescue Robot System Based on Internet of Things. In *2018 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)* (pp. 303–307). Changsha: IEEE. DOI: 10.1109/ICSGEA.2018.00082

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/12/2018
Aceitação/Acceptance: 25/02/2019

Sistema embebido para movilidad de personas con discapacidad visual

Lucía Sandoval-Pillajo[1], Marco Pusdá[2], Fernando Garrido[3], Erick Herrera[4]

ui.anasandoval@uniandes.edu.ec, mrpusda@utn.edu.ec, jfgarridos@utn.edu.ec, epherrera@utn.ed.ec

[1] Universidad Regional Autónoma de Los Andes Extensión Ibarra, 100105, Ibarra, Ecuador.

[2,3,4] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

Pages:328–340

Resumen: La ceguera afecta a personas de todo el mundo, en sus posibilidades de movimiento y orientación, haciéndolas dependientes de ayudas externas como el bastón, entre otros. Durante años, se han desarrollado diferentes dispositivos electrónicos para tal fin. En este contexto, esta investigación presenta un sistema embebido que contribuya a la movilidad de las personas con distintos grados de discapacidad visual, protegiendo la integridad física a través de la detección temprana de obstáculos. Para el desarrollo del sistema, se utilizó un diseño experimental y la metodología *top-down*, compuesta por cuatro fases: (i) diseño de la prenda; (ii) diseño electrónico; (iii) *software*; (iv) pruebas. Los resultados comprobaron la efectividad del sistema propuesto en la detección temprana de obstáculos, ubicados a una altura entre 0,50 m, y 1,65 m; la velocidad y tiempo utilizados en la detección probaron ser adecuados para la movilidad y orientación del usuario.

Palabras-claves: sistema embebido; microcontrolador; metodología *top-down*; movilidad; persona con discapacidad visual.

Embedded system for mobility of blind people

***Abstract**:* Blindness affects people, all over the world, in their possibilities of movement and orientation, making them dependent on external aids such as the cane, among others. For years, different electronic devices have been developed for this purpose. In this context, this research presents an embedded system that contributes to the mobility of people with visual disabilities with different degrees of disability, protecting physical integrity through the early detection of obstacles. For the development of the system, an experimental design and top-down methodology was used, composed of four phases: (i) design of the garment, (ii) electronic design, (iii) software, (iv) tests. The results proved the effectiveness of the proposed system in the early detection of obstacles, located at a height between 0.50 m and 1.65 m; the speed and time used in the detection of obstacles proved to be adequate to mobility and orientation of the user.

Keywords: embedded system; microcontroller; top-down methodology, mobility, blind person.

1. Introducción

La discapacidad es una condición que afecta el nivel de vida de un individuo o de un grupo (Organización de las Naciones Unidas, 2018). Esta puede ser adquirida durante su gestación, nacimiento, infancia o cualquier otra etapa de vida. La discapacidad se manifiesta por limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual, motriz, sensorial (vista y oído) y conducta adaptativa (CONAFE, 2016, p. 10). El término discapacidad visual es el más utilizado, ya que abarca los rangos de ceguera y visión disminuida (Organización Nacional de Ciegos Españoles, 2011, p. 81).

La ceguera y la visión disminuida afectan a las personas en todo el mundo (ICO, 2018). Existen aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales, 39 millones tienen ceguera y 246 millones presentan baja visión (OMS, 2016). En Ecuador, 53801 personas tienen discapacidad visual, registrándose un porcentaje de 59,31% en hombres, y 40,69% en mujeres. Según el porcentaje de discapacidad, se clasifica en cuatro grados: leve, moderado, grave y muy grave; que van desde 30% a 49%, 50% a 74%, 75% a 84% y 85% a 100%, respectivamente (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades [CONADIS], 2017), (CONADIS y Ministerio de Salud Pública, 2018).

Las personas con discapacidad visual están disminuidas en sus posibilidades de movimiento (Martín Andrade, 2018), es decir, no presenta la habilidad de viajar con seguridad y de forma independiente por el entorno (Foulke, 1971). La falta de movilidad es una restricción severa para estas personas, ya que no pueden determinar su posición y ubicación de los objetos en el entorno (Dunai, Lengua, Tortajada & Brusola, 2014).

En la actualidad existen algunas ayudas tradicionales para la movilidad como el bastón blanco y los perros guía (Sourab, Ranganatha Chakravarthy & Sachith, 2015), (Dunai et al., 2014). Y otras ayudas tecnológicas, no tradicionales como el Internet de las cosas (IoT) (Guerrero Ulloa, Rodríguez Domínguez & Hornos, 2018), y Sistemas Embebidos (SE).

Los SE están basados en sensores, dispositivos de audio, reconocimiento de voz, GPS, tecnologías Rfid (Lengua Lengua, 2014). Estos se están convirtiendo en un componente tecnológico clave para todo tipo de sistemas técnicos complejos (Kuan-Ching, 2018). Los SE, se clasifican en pequeños, distribuidos y de alto rendimiento (Jiménez, Palomera & Couvertier, 2013).

Los SE pequeños, como el utilizado en esta investigación, están basados en microprocesador conectados con pocos componentes analógicos, sensores, actuadores, según sea necesario para resolver un problema concreto de forma eficiente (Jiménez et al., 2013), buscando minimizar el tamaño y coste, y maximizar el rendimiento y fiabilidad de una aplicación particular (Úbeda Miñarro, 2009).

A continuación, se citan algunos proyectos, que fueron referentes para esta investigación.

El chaleco y casco detectan obstáculos que suponen un riesgo para la persona. Al mismo tiempo, ofrece rutas alternativas (Bradford, 2011). Sin embargo, la cámara que utiliza, está montada en el casco y es voluminosa.

El traje tecnológico RunaTech consiste en un overol con sensores ultrasónicos (Condo Pilco, 2014), vibradores y una mochila que guarda el circuito. La batería tiene una duración de 4 horas y el costo total aproximado, según entrevista personal, es de USD 8 000.

El bastón blanco electrónico (Ontiveros Paredes, Rojas Balbuena y Martínez Paredes, 2014) detecta obstáculos y envía una señal a la interfaz. Los servomotores y zumbador (*buzzer*) advierten del objeto, mientras que los acelerómetros y giroscopios indican el movimiento y momento de giro.

El bastón ciego (Anuj, Dhvani, Krupa & Harish, 2015) detecta obstáculos, baches y ayuda a viajar de forma independiente de un lugar a otro. El estudio no demuestra pruebas realizadas con personas con discapacidad visual.

El dispositivo EyeMake, con detección de obstáculo y geoposicionamiento, recibe comandos de voz en bengalí/inglés. Presenta errores del 5% en detección de obstáculos bajo la lluvia y los componentes electrónicos utilizados son visibles.

El dispositivo electrónico NavGuide Shoe, con sensores ultrasónicos en una bota, que detectan obstáculos y gradas (Patil, Qaidjohar & Felix Che, 2018). Utiliza comandos por voz, pero presenta errores de detección en distancias cortas.

El bastón con audioguía es efectivo en personas con discapacidad visual leve (Guevarra, Reyes Camama & Cruzado, 2018), siempre que tengan un entrenamiento adecuado en el uso del dispositivo mientras navegan en el entorno físico.

El sistema de detección de obstáculos utiliza sensores ultrasónicos (Alvarado y Mosquera, 2016). Una retroalimentación con audio que informa por mensajes la existencia de obstáculos. Las pruebas se realizaron con personas de visión normal.

El Bastón guía, con GPS, y aplicación Android, apoyado en IoT, detecta obstáculos y es económico (Akhil, Gokul, Sanal & Sruthi Menon, 2018). La detección de agujeros está en fase de desarrollo.

A pesar de los esfuerzos alcanzados en el diseño y construcción de estos dispositivos tecnológicos, hasta donde se conoce, solo uno se encuentra en producción y venta: el conocido como UltraCan (Sound Foresight Technology, 2018). Los demás continúan en fase de desarrollo y pruebas. Además, se observan ciertas limitaciones tecnológicas: circuitos expuestos, costos elevados, algunos son invasivos, y otros no han sido probados con personas con discapacidad visual.

Considerando las limitaciones y ventajas de los trabajos existentes, se propone un enfoque alternativo para el diseño de un sistema embebido que ayude a la movilidad de personas con discapacidad visual, pertenecientes al CONADIS, de la ciudad de Ibarra (Ecuador) y que cumpla con ciertas condiciones como: ser liviano, no invasivo, de bajo costo, con circuitos encubiertos, y con un diseño ergonómico, siendo ésta, la principal contribución de la investigación. A continuación, se describe la propuesta.

2. Materiales y métodos

El SE fue desarrollado basándose en el diseño mecatrónico *top-down* (Abusleme Hoffman & Alessandri, 2017), el cual constó de cuatro fases: (i) diseño de la prenda;

(ii) diseño electrónico; (iii) *software*; (iv) pruebas, seguido de un diseño experimental, enfocado en la optimización del tiempo utilizado en la detección de obstáculos en diferentes escenarios.

2.1. Diseño de la prenda

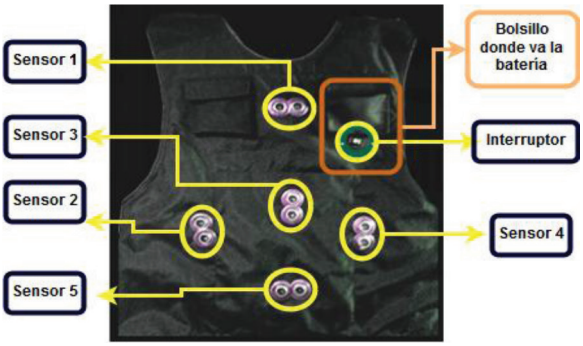


Figura 1 – Diseño preliminar del chaleco

La prenda se diseñó en forma de chaleco, debido a la facilidad con que se puede colocar el usuario. Es 100% poliéster, mide 1 m de alto×1,16 m de ancho. Su peso es de 0,720 kg (1,5 lb.). Fue confeccionado de acuerdo con la necesidad de la instalación del circuito y sensores, es regulable y se ajusta en los hombros y la cintura.

En la Figura 1 se puede visualizar el chaleco con 5 sensores ultrasónicos HC-SR04. El número y la distribución de estos responde a experimentos de prueba y error, teniendo en cuenta el ángulo de medición de 30° (Patil et al., 2018) y efectivo inferior de 15° (Martínez Fuentes, 2014). La Tabla 1 muestra la configuración utilizada para la ubicación de los sensores en el chaleco, las distancias entre ellos y los motores de vibración asociados.

Sensor ultrasónico	Motor de vibración	Dirección de detección	Distancia con respecto al centro del chaleco
S1	MV1	Frente arriba	12 cm
S2	MV2	Derecha	10 cm
S3	MV3	Frente medio	0 cm
S4	MV4	Izquierda	10 cm
S5	MV5	Frente abajo	12 cm

Tabla 1 – Ubicación de sensores ultrasónicos y motores vibradores

La Figura 2 muestra los cambios y mejoras propuestas al chaleco inicial (Figura 1), luego de haber realizado una retroalimentación y varias pruebas preliminares. El cambio consiste en utilizar normas que están contempladas en el ítem 2 242:2000 2000-02 (INEN, 2009), como logotipo y color, para informar de la presencia de personas con discapacidad visual. Esto representa una contribución en la investigación.

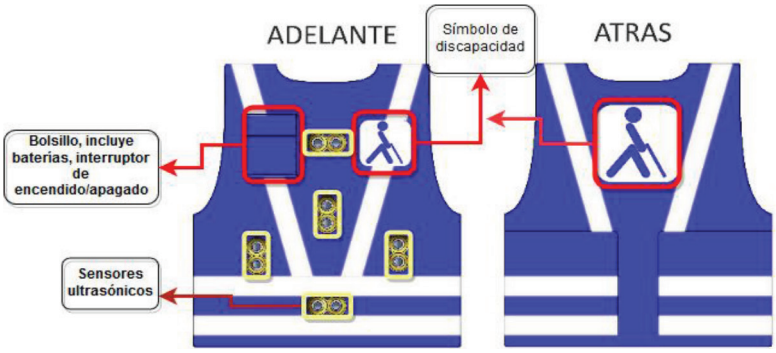


Figura 2 – Diseño prototipo, con algunas modificaciones luego de pruebas preliminares

2.2. Diseño electrónico

El diseño electrónico de detección de obstáculos tiene como función alertar a la persona con discapacidad visual de la presencia temprana de obstáculos (postes, personas en la vía, rótulos colgantes), impidiendo que colisione con ellos, ayudando así a la movilidad y brindando protección en la parte frontal (pies, rodillas, pecho y cara).

La Figura 3 muestra el diagrama pictográfico de los componentes utilizados para la construcción: 5 sensores ultrasónicos HC-SR04, 5 motores vibradores, un oscilador de 16MHZ, y un Atmega 328. El Atmega 328 es un microcontrolador que se conecta al oscilador para establecer la comunicación y enviar la señal de control al actuador. A este dispositivo, se conectaron los sensores ultrasónicos, y los motores vibradores.

Los sensores ultrasónicos HC-SR04 están diseñados para la detección sin desgaste y sin contacto de la variedad de objetivos (Fayadh, 2017). Cada sensor emite ondas en el rango ultrasónico convirtiendo señales eléctricas en señales de sonido en la presencia de un obstáculo (Patil et al., 2018).

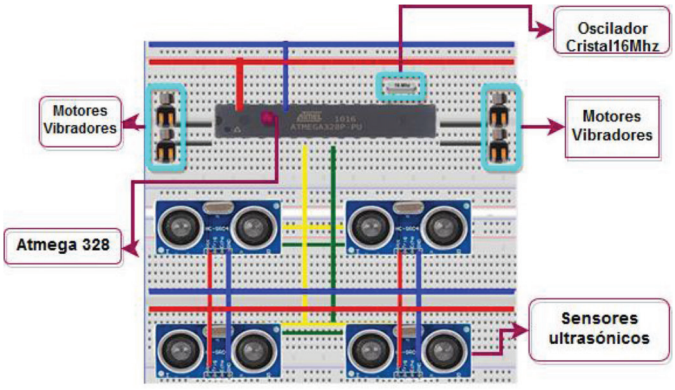


Figura 3 – Diagrama pictográfico de sensores y motores vibradores

El motor vibrador es un micromotor vibrador sin núcleo, se encuentra en celulares, trabaja con un voltaje de 1,5 V y utiliza dos cables de conexión. En este módulo se envía una señal al momento de detectar obstáculos, la señal recibida acciona el funcionamiento de zumbido del motor.

2.3. *Software*

El *software* del SE fue programado utilizando el IDE de Arduino, que está basado en Processing/Wiring, de código abierto y se encuentra disponible para distintas plataformas (Arduino, 2018). Para la programación, se asignó prioridades a los sensores de acuerdo con la (Tabla 2) y se estableció un rango límite de detección de 1 m y 1,5 m. El valor corresponde a pruebas preliminares de velocidad de las personas con discapacidad visual y el tiempo de respuesta ante la presencia de obstáculos. A su vez, este valor puede ser modificado. El programa controla los sensores ultrasónicos emitiendo una breve ráfaga ultrasónica, la cual es recibida en una variable para luego calcular la distancia del objeto haciendo uso de la siguiente ecuación (Patil et al., 2018): $d=v*t$, donde: v es la velocidad del sonido (340m/s), y t es el tiempo que le toma a la señal ultrasónica en viajar desde el sensor al objeto y regresar al sensor. Al calcular la distancia, el programa evalúa si se encuentra en el rango límite establecido y la prioridad de sensores. De ser así, significa que hay un objeto de riesgo y se envía una señal a los motores vibradores para que se activen y comiencen a vibrar. El tiempo que el motor vibrador está encendido es de 500 milisegundos (ms); luego, un tiempo de reacción de 200 ms para que el sistema vuelva nuevamente a censar.

Sensor ultrasónico	Prioridad	Distancia de detección programada
Sensor 1	1	1,5 m
Sensor 2	3	1,0 m
Sensor 3	2	1,5 m
Sensor 4	4	1,0 m
Sensor 5	5	1,5 m

Tabla 2 – Distancia de sensores ultrasónicos, y prioridad de detección

2.4. Pruebas

Para las pruebas se contó con la participación de tres personas invidentes, del CONADIS, con grados de discapacidad visual leve, grave y muy grave, como se muestra en la Tabla 3.

Participante ID	Género	Grado de discapacidad visual	Edad (años)
M1	Masculino	Leve	69
F1	Femenino	Grave	70
F2	Femenino	Muy grave	20

Tabla 3 – Participantes en las pruebas

Escenarios ID	Distancia	Número de obstáculos
Escena 1	15 m	6
Escena 2	20 m	8
Escena 3	30 m	7
Escena 4	31 m	13

Tabla 4 – Escenarios de pruebas y obstáculos

Como primer paso, se realizó una inducción de exploración del chaleco. El proceso consistió en la familiarización con la ubicación de los sensores, motores de vibración y del interruptor de encendido/apagado del circuito. Una vez encendido, se indicó la relación de funcionamiento de los sensores con el motor de vibración, a fin de concientizar los sentidos y generar el concepto de espacio entre la señal recibida de los motores vibradores y la distancia a la que se encuentran los obstáculos. Este proceso duró 2 horas, aproximadamente.

Para las pruebas se preparó cuatro escenarios (Tabla 4), con el fin de evaluar la detección de obstáculos, velocidad de reacción de las personas luego de ser informados de la presencia de obstáculos y tiempo que se demoraron en elegir una nueva ruta.

Los escenarios 1, 2 y 3 están ubicados dentro de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes (UNIANDES), extensión Ibarra, y el escenario 4, en los alrededores de esta institución (Tabla 5). A continuación, se detalla cada escenario:



Figura 6 – Escenarios de pruebas: (a) escenario 1 participante F2; (b) escenario 2, participante M1; (c) escenario 3, participante F1; (d) escenario 4 participante M1

- Escenario 1: tuvo una distancia de 15 m, los seis obstáculos fueron: una protección lateral, sillas, tres personas ubicadas en forma estática y un obstáculo en el techo (desnivel), ilustrado en la Figura 6(a).

- Escenario 2: tuvo una distancia de 20 m, inicia con tramo inclinado de 1 m, seguido de un tramo derecho, luego un tramo inclinado, seguido de una curva de 45° y finalmente un tramo derecho. En este trayecto se dispusieron ocho obstáculos: cuatro personas paradas estáticas, dos personas sentadas en el borde de la jardinera y dos obstáculos laterales (protecciones, pasamanos), como indica la Figura 6(b).
- Escenario 3: se realizó en una cancha deportiva y los siete obstáculos fueron: cuatro personas estáticas ubicadas al frente, a la izquierda, derecha y atrás, y tres personas que caminaban junto, delante y detrás de la persona con discapacidad visual. El recorrido fue de 30 m, y se muestra en la Figura 6(c).
- Escenario 4: tuvo una distancia de 31 m, por la calzada (acera) y el cruce de la vía. En el trayecto hubo 13 obstáculos: una puerta, gradas, cuatro personas en la vía, un poste de luz, un letrero de prohibido estacionar y cinco vehículos estacionados en ambos lados de la calzada, como se ve en la Figura 6(d).

3. Resultados

Los resultados alcanzados permitieron evaluar cuantitativamente: (i) el número de obstáculos detectados en cada escenario; (ii) la velocidad comparada de reacción de las personas con discapacidad visual dependiendo de su grado de discapacidad; y (iii) el tiempo utilizado en completar cada prueba. Todo ello, de acuerdo con los cuatro escenarios planteados.

Para el cálculo de la velocidad se aplicó la ecuación $v=d/t$, donde: d, es la distancia de cada escenario medida en metros, y t, el tiempo que le tomó a cada participante culminar el recorrido en cada escenario, medido en segundos (s).

En la Tabla 5, se muestran los resultados por participantes: M1, F1 y F2 (descritos en la Tabla 3) en el escenario 1. Los datos muestran que:

Al participante M1, con discapacidad visual leve, le tomó 33 s culminar el recorrido y su velocidad de desplazamiento fue mayor que los otros. Sin embargo, M1 no logró identificar dos obstáculos. F1, con una discapacidad visual grave, completó el recorrido en 72 s, con una velocidad de 0,21 m/s. Este participante no logró identificar un obstáculo. F2, con discapacidad visual muy grave, completó el recorrido en 136 s con una velocidad de 0,11 m/s, no identificó un obstáculo.

ID participante	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Obstáculos no detectados
M1	33	0,45	2
F1	72	0,21	1
F2	136	0,11	1

Tabla 5 – Tiempo, velocidad y obstáculos detectados en la prueba del Escenario 1

En este primer escenario, con seis obstáculos, las tres personas no lograron identificar el obstáculo de desnivel del techo (Figura 6(a)).

En el segundo escenario (ver Tabla 6 y Figura 6(b)), el participante M1, completó el recorrido en 80 s, y en su trayecto identificó todos los obstáculos. F1 hizo un tiempo de 144 s, y no identificó un obstáculo (desnivel en la calzada). F2 tardó 194 s, y no identificó dos obstáculos (desnivel en la calzada, y el pasamano).

ID participante	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Obstáculos no detectados
M1	80	0,25	0
F1	144	0,14	1
F2	194	0,10	2

Tabla 6 – Tiempo, velocidad y obstáculos detectados en la prueba del Escenario 2

La tercera prueba (Tabla 7), se desarrolló en la cancha de baloncesto (Figura 6(c)), y se trabajó con M1 y F1. Ambos participantes detectaron todos los obstáculos y el tiempo transcurrido fue de 63 s y 99 s, respectivamente. No se trabajó con F2 por la complejidad y tiempo empleado en los circuitos anteriores.

Participante ID	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Obstáculos no detectados
M1	63	0,48	0
F1	99	0,31	0
F2	-	-	-

Tabla 7 – Tiempo, velocidad y obstáculos detectados en la prueba del Escenario 3

En el último escenario, (Tabla 8), se trabajó únicamente con M1, por el dominio del espacio, la orientación, movilidad, y velocidad con que resolvió los circuitos anteriores (Figura 6(d)). El recorrido consistió en salir de la institución, caminar por la calzada y cruzar la vía. La distancia recorrida fue de 31 m, el tiempo empleado fue de 280 s, y no detectó un obstáculo que corresponde a 2 gradas en la salida del edificio.

Participante ID	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Obstáculos no detectados
M1	280	0,11	1
F1	-	-	-
F2	-	-	-

Tabla 8 – Tiempo, velocidad y obstáculos detectados en la prueba del Escenario 4

La Figura 7, muestra los resultados de los tres participantes (M1, F1 y F2) en los 4 escenarios. Se verifica que la persona con grado de discapacidad leve, M1, identificó un mayor número de obstáculos, su velocidad fue mayor y el tiempo empleado en el recorrido fue menor.

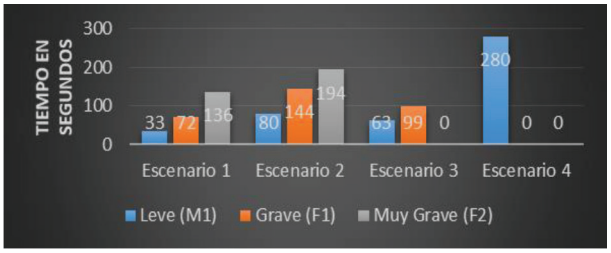


Figura 4 – Comparación de tiempo (s) y el grado de discapacidad visual (%)

4. Discusión

El uso de la metodología *top-down* permitió diseñar un sistema embebido con seguridad, encubriendo los circuitos electrónicos, optimizando el peso, logrando un diseño ergonómico, principales limitantes de proyecto propuesto por Bradford (2011) y Condo (2014).

La participación de personas con varios grados de discapacidad, permitió comprobar la garantía del SE, especialmente en personas con grado de visión leve al igual que en el trabajo de Guevarra et al. (2018); y a diferencia del estudio de Anuj et al. (2015), donde se probó únicamente con personas de visión normal.

El sistema propuesto presenta algunas limitaciones: (i) no detecta objetos por debajo de los 0,5 m y por encima de los 1,65 m de altura; (ii) no está diseñado para funcionar bajo lluvia o en condiciones climáticas adversas; (iii) la señal al viajar en el aire se ve afectada por el aumento de la temperatura, ocasionando interferencias en las señales de los sensores ultrasónicos.

Otros resultados observados en personas con grados de discapacidad grave y muy grave fueron la postura de los brazos debido a la utilización del bastón. Esto interfirió con los sensores ubicados en los lados (sensores 2 y 4, en la Figura 1), haciendo que la detección de obstáculos sea menor, aumentando el tiempo y disminuyendo la velocidad en cada recorrido.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Este estudio presenta un sistema embebido (SE) para la movilidad de personas con discapacidad visual, utilizando la metodología *top-down* que consta de cuatro fases: diseño de la prenda, diseño electrónico, *software* y pruebas. El sistema es testeado cuantitativamente en cuatro escenarios diferentes (Tablas 4-8), con personas con diferentes grados de discapacidad visual (Tabla 3). Específicamente, se evalúa el número de obstáculos detectados, el tiempo requerido para cada prueba y la velocidad de cada participante (Tablas 5, 6 y 7), corroborando que, a mayor grado de discapacidad, mayor es el tiempo requerido para completar los escenarios.

El SE inspecciona y alerta oportunamente sobre la presencia de obstáculos, tales como: postes, personas en la vía, rótulos colgantes. La utilización de cinco sensores

permite identificar obstáculos al frente y a los lados (Figura 1); el uso de este sistema en personas con discapacidad visual con grado de discapacidad leve mejora la orientación, reconocimiento y retroalimentación de ambientes, y desarrolla la rapidez de la movilidad (Tablas 5-8 y Figura 7). El SE, por su diseño, resulta fácil de utilizar y no requiere mayor entrenamiento. Además, es liviano y regulable al cuerpo.

En el futuro, el propósito de la investigación es incorporar el reconocimiento de voz, GPS, y desarrollar una aplicación web para proporcionar cuatro funciones básicas: (i) reconocimiento de voz para el registro de destinos, geoposicionamiento para determinar la posición actual; (ii) visualización de la mejor ruta; (iii) cálculo de la distancia en kilómetros; y (iv) cálculo de dos rutas alternativas. Asimismo, se sugiere considerar la detección de obstáculos de baja altura como escalones, los cuales no han sido detectados en este estudio. Así como también, realizar pruebas adicionales con una muestra mayor de personas con discapacidad visual en la cual se considere el factor de la edad.

Agradecimientos: *Un agradecimiento a todas las personas del CONADIS de Ibarra y a la Asociación de No Videntes de Imbabura, quienes aportaron con ideas y su tiempo para* las *pruebas del sistema embebido propuesto*.

Referencias

Abusleme Hoffman, A., & Alessandri, C. (2017). Electrones en Acción: Electrónica y Arduinos para tus propios Inventos. (Electrons in Action: Electronics and Arduinos for your own Inventions). *Coursera*. Recuperado de https://www.coursera.org/learn/electrones-en-accion

Akhil, R., Gokul, M., Sanal, S., & Sruthi Menon, V. (2018). Enhanced Navigation Cane for Visually Impaired. *SpringerLink, 696*, 103–115.

Alvarado, J. D., y Mosquera, V. H. (2016). Sistema de detección de obstáculos para invidentes (Obstacle detection system for blind people). *Visión Electrónica, algo más que un estado sólido, 10*(1), 96–101.

Anuj, P., Dhvani, S., Krupa, P., & Harish, N. (2015). Blind Man Stick Using Programmable Interrupt Controller (PIC). *Procedia Computer Science, 45*, 558–563.

Arduino. (2018). What is Arduino. *Arduino*. Recuperado de https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction

Bradford, R. (2011). USC, University of Southern California. *Eurek Alert*. Recuperado de http://www.eurekalert.org/pub_releases/2011-05/uosc-v-052511.php

CONADIS. (2016). Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (National Council for Disability Equality). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Recuperado de http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/

CONADIS. (2017). Reglamento a la Ley Orgánica de Discapacidad (Regulations to the organic law of desabilities). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Recuperado de https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp.../Regalamento-lod-decre_-194.pdf

CONADIS. (2018). Personas con discapacidad registradas. *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Recuperado de https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/index.html

CONAFE, C. (2016). Discapacidad motriz Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica. *Secretaría de Educación Pública*. Recuperado de http://www.educacionespecial.sep.gob.mx/2016/pdf/discapacidad/Documentos/Atencion_educativa/Motriz/2discapacidad_motriz.pdf

Condo Pilco, I. R. (2014). RunaTech: Traje tecnológico para no videntes (RunaTech: Technological suit for blind people). *Revista Electrónica Conocimiento y Licenciamiento (CLIC)*, 39–52.

Dunai, L., Lengua, I., Tortajada, I., & Brusola, F. (2014). Obstacle detectors for visually impaired people. *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, (pp. 809 - 816). Madrid.

Fayadh, R. A. (2017). Micro Controlled and Directed Alarm System. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 95*(22), 6032–6041.

Foulke, E. (1971). The perceptual basis for mobility. *American Foundation for the Blind, Research Bulletin, 23*, 1–8.

Guerrero Ulloa, G., Rodríguez Domínguez, C., & Hornos, M. J. (2018). IoT-Based System to Help Care for Dependent Elderly. *4th International Conference on Technology Trends. CITT 2018*. Babahoyo-Ecuador: Springer.

Guevarra, E. C., Reyes Camama, M. I., & Cruzado, G. (2018). Development of Guiding Cane with Voice Notification for Visually Impaired individuals. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 18*(1), 104–112.

ICO (2018). Center for Ophthalmic Educators. *International Council of Ophthalmology*. Recuperado de http://www.icoph.org/: www.icoph.org/pdf/icocurricressp.pdf

INEN (2009). *Accesibilidad De Las Personas Al Medio Físico. (Accesibility To Physical Environment. Signals.)* (Primera ed.). Quito: INEN.

Jiménez, M., Palomera, R., & Couvertier, I. (2013). *Introduction to Embedded Systems: Using Microcontrollers and the MSP430*. (S. S. Media, Ed.) Puerto Rico.

Kuan-Ching, L. (2018). Inderscience Publisher. *Inder Science Publishers*. Recuperado de http://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=ijes

Lengua Lengua, D. I. (2014). *Desarrollo de un sistema de entrenamiento acústicovirtual para localización de sonidos virtuales para personas invidentes* (Tesis doctoral). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Martín Andrade, P. (2018). Desafíos de la diferencia en la escuela. *Escuelas Católicas*. Recuperado de http://www2.escuelascatolicas.es/pedagogico/Documents/Discapacidad%20Visual%205.pdf

Martínez Fuentes, V. (2014). *Introducción a la plataforma Arduino y al sensor ultrasónico HC-SR04. Trabajo de Grado en Ingeniería Informática* (U. C. Madrid, Ed.) Madrid, España.

OMS. (2016). Ceguera y discapacidad visual. *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/

ONCE. (2011). *Discapacidad visual y autonomía personal (Visual disability and personal autonomy)*. Madrid: Departamento de Promoción Cultural y Braille.

Ontiveros Paredes, S. D., Rojas Balbuena, D., y Martínez Paredes, J. (2014). Diseño y construcción de una bastón blanco electrónico para personas invidentes (Design and construction of an electronic white cane for the blind). *Redalic - Científica, 18*(2), 63–70.

Organización de las Naciones Unidas. (2018). Día Internacional de las Personas con Discapacidad, 3 de diciembre. *Organización de las Naciones Unidas*. Recuperado de http://www.un.org/es/events/disabilitiesday/

Patil, K., Qaidjohar, J., & Felix Che, S. (2018). Design and Construction of Electronic Aid for Visually Impaired People. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 172–182.

Sound Foresight Technology (2018) Nuestra gama de productos UltraCane. *Ultracane.com*. Recuperado de https://www.ultracane.com/ultracanecat

Sourab, B. S., Ranganatha Chakravarthy, H. S., & Sachith, D. (2015). Design and implementation of mobility aid for blind people. En IEEE (Ed.), *2015 International Conference on Power and Advanced Control Engineering (ICPACE)*, (págs. 290-294). Bangalore, India.

Tanveer, S. R., Hashem , M. A., & Hossain , M. K. (2015). Android Assistant EyeMate for Blind and Blind Tracker. *2015 18th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)* , 266–271.

Úbeda Miñarro, B. (2009). Sistemas embebidos. *Univerisdad de Murcia*. Recuperado de http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 12/11/2018
Aceitação/Acceptance: 07/01/2019

Red neuronal convolucional orientado a la gesticulación de un robot social interactivo con aspecto humanoide

Edisson Arias[1], Patricio Encalada[2], Marcelo García[3], César Granizo[4], Franklin Tigre[5], Myriam Cumbajín[6]

edixio21lk@gmail.com, pg.encalada@uta.edu.ec, mv.garcia@uta.edu.ec, cesar_granizo@uta.edu.ec, fg.tigre@uta.edu.ec, myriamcumbajin@uti.edu.ec

[1,2,3,4,5] Universidad Técnica de Ambato, 180104, Ambato, Ecuador.

[6] Universidad Tecnológica Indoamérica, 180150, Ambato, Ecuador.

Pages:341–352

Resumen: Los robots sociales presentan el auge de una infinidad de investigaciones en cuanto a su diseño y control, estos a su vez, se acercan con mayor intensidad a ser nuestros compañeros en el hogar o el trabajo, sin embargo, todavía carecen de habilidades de interacción social similares a la del ser. En este documento se presenta la implementación de un algoritmo de red neuronal convolucional, orientado a la detección de emociones para la toma de decisiones en la gesticulación del robot social, con apariencia humanoide, además se hace hincapié en el uso de visemas, como unidad de movimiento labial, para mejorar la interacción hombre-robot, en cualquier ámbito en que se pueda dar uso al robot social, ya sea docencia, terapias, navegación segura, etc., coordinando simultánea y semejantemente a la naturalidad humana el movimiento de servomecanismos de la boca y el audio, sintetizado del texto que el robot da como respuesta.

Palabras-clave: aprendizaje profundo; interacción hombre-robot; redes neuronales; robots sociales; visemas; robots humanoides.

Convolutional Neural Network Oriented to the Gesticulation Control of an Interactive Social Robot with Humanoid Aspect

Abstract: Social robots present the boom of an infinity of investigations in terms of design and control, these in turn approach with greater intensity to be our partners at home or work, however, still lack similar social interaction skills to the human being. This paper presents the implementation of a convolutional neuronal network algorithm aimed at the arrest of emotions for decision-making in the gesticulation of the social robot with a humanoid appearance. In addition, emphasis is placed on the use of visemas as a unit of labial movement for improve the human-robot interaction in any field in which the social robot can be used, be it

teaching, therapies, safe navigation, etc., simultaneously coordinating and similar to the human naturalness the movement of servomechanisms of the mouth and the synthesized audio of the text that the robot gives in response.

***Keywords**:* deep learning; human-robot; interaction; neural networks; social robots; visemas; humanoid robots.

1. Introducción

El constante avance tecnológico de las últimas décadas en aplicaciones de automatización, robótica e inteligencia artificial, ha estimulado el sector investigativo para el desarrollo de nuevos conceptos y metodologías a implementar en el diseño, construcción y control de robots. La robótica social, como parte de la robótica de servicios, está enfocada en proporcionar al autómata las habilidades que presentan los seres humanos para su incursión en la sociedad, facilitando así la interacción Humano-Robot (HRI) (Barnes et al., 2017; Mead & Mataric, 2016).

Se trata de una aportación en en el ámbito de la robótica de servicios, que exhibe información bibliográfica de una metodología para la interacción humano-robot (Silva, Soares, & Esteves, 2017), con el desarrollo y aplicación de tecnologías interactivas para apoyar y promover nuevos enfoques de enseñanza-aprendizaje adaptativo para niños con trastornos del espectro autista (TEA).

En el transcurso de varios años, el reconocimiento de las expresiones faciales, como una habilidad de los robots sociales, ha sido tema de investigación por Chen (2018), y aún sigue siendo un gran desafío en aplicaciones de tiempo real como afirma Faria (2017). El primer paso, de gran importancia, en la detección de gestos está demarcado por la extracción de características para el reconocimiento de rostros, como el histograma de gradientes orientados (HOG), anexado a una máquina de soporte vectorial (SVM) lineal y entrenado para realizar la clasificación de la expresión o gesto (Chen et al., 2014), o el *framework* Viola-Jones, algoritmo utilizado para detectar objetos en tiempo real, sin embargo, su principal aplicación es la detección de rostros debido a su alta tasa de precisión que presenta frente a otros, como se aprecia en el trabajo de Soni (2017).

Otro segmento implícito en el desarrollo de los robots sociales es la incorporación de algoritmos, que permitan la comunicación mediante la coordinación simultánea entre el movimiento de la boca del robot y el audio generado como la voz del robot. En la sincronización del habla con el mecanismo del desplazamiento de la boca existe una unidad acústica llamada visema, que es la representación visual del sonido generado y la posición exacta de la boca (Fernández & Montes, 2016). Esto permite que los movimientos articulados del robot sean similares a los movimientos que genera la boca humana.

El trabajo en mención consiste en el diseño y construcción de mecanismos que simulen el movimiento de ojos, cejas, parpados, boca y labios de un robot social interactivo, de aspecto humanoide, bajo la estructura del robot humanoide descrito en la investigación de Cheng & Ji (2016). Además, se procede al desarrollo de sistemas de control gesticular y de habla del robot.

2. Diseño del robot social interactivo con aspecto humanoide

2.1. Diseño mecánico del robot social

El diseño del autómata parte de la idea de generar una estructura robótica con un gran parentesco al hombre, la estructura que cumple, en gran proporción con este requerimiento, es el robot InMoov como se aprecia en la Figura 1, del cual se extrajo las partes de la cabeza y torso.

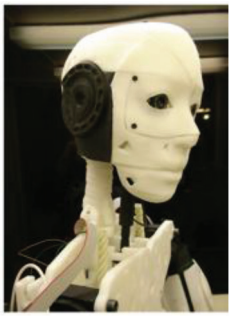


Figura 1 – Robot "InMoov"

A esta estructura ya mencionada, se diseñaron y agregaron varios mecanismos que permitan visualizar la gesticulación del robot, entre ellos describimos y mostramos los grados de libertad (GDL) de cada uno.

1. Mecanismo para el movimiento de cejas (2 GDL)
2. Mecanismo para el movimiento de ojos (4GDL)
3. Mecanismo para el movimiento de labios (6 GDL), como se puede apreciar en la Figura 2.

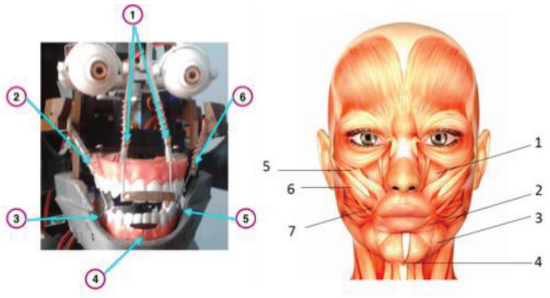


Figura 2 – Mecanismo para el movimiento de labios

4. Sistema eléctrico: compuesto por la placa controladora de servomotores SSC-32, dispositivo que permite controlar hasta un total de 32 servomotores. El computador es el encargado de ejecutar los algoritmos de control del robot

y mediante el uso del protocolo de comunicación serial se envían valores de posición (PWM) a la tarjeta controladora para desplazar cada servomotor a la posición deseada. En la Figura 3 se presenta el diagrama eléctrico que controla los servomecanismos del robot.

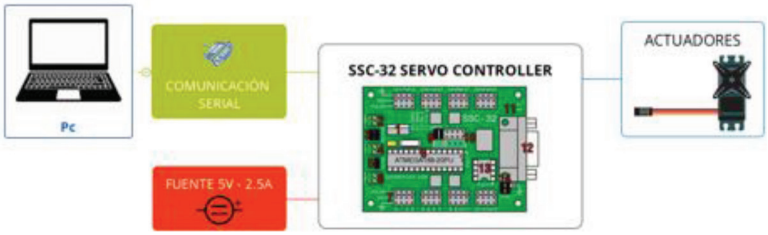


Figura 3 – Sistema eléctrico del robot

2.2. Control de gesticulación del robot social

El controlador de gesticulación incorpora un algoritmo de red neuronal convolucional empleado en aplicaciones de aprendizaje profundo (Deep Learning) (LeCun, Bengio & Hinton, 2015), para identificar los gestos faciales que realiza el ser humano mediante la adquisición de imágenes en tiempo real (Kumar, Happy & Routray, 2016), registrándolo y, de tal forma que, el robot sea capaz de imitarlo (Meghdari et al., 2016). En la Figura 4 se puede ver la estructura del controlador de gesticulación.

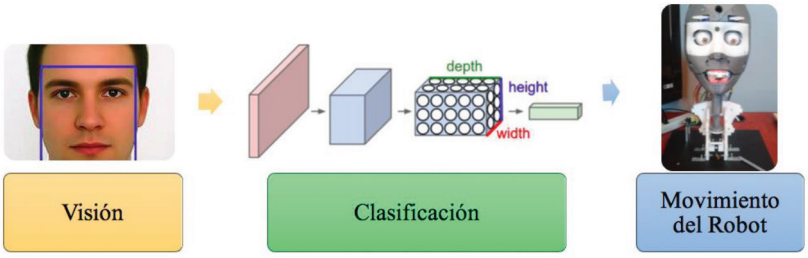


Figura 4 – Estructura del controlador de gesticulación

La estructura del controlador está constituida por los módulos:

Módulo de visión: es el encargado de normar y uniformar los datos de entrada; escala la imagen a un tamaño adecuado y, a través de la segmentación de escala de grises, genera una imagen, la cual es enviada al detector de rostros, basado en el algoritmo Viola-Jones para obtener como salida la imagen del rosto (Fernández et al., 2014; Wang, 2014).

Módulo de selección: el módulo de selección está compuesto por un modelo de red neuronal convolucional (Sang et al., 2017), para lo cual se partió por la preparación de datos, luego se procedió a la creación del modelo de red neuronal y, finalmente, se entrenó y validó el modelo.

Haciendo referencia a la metodología desarrollada en Jena (2017), se divide a estructuras los datos de rostros del conjunto de datos FERC-13.00 cm2013, que se proporcionó en el concurso de expresión facial Kaggle (Sang et al., 2017), en 2 conjuntos destinados al entrenamiento y *test* del modelo. La Figura 5 muestra la distribución de los datos, en la cual se puede apreciar que, para la emoción "Disgusto", no divergen demasiado, o su valor es excesivamente bajo para considerarlo como una salida, debido a esto, se fusionaron los datos de "Disgusto" con los datos de "Enojo" para, así, obtener una salida o gesto del sistema.

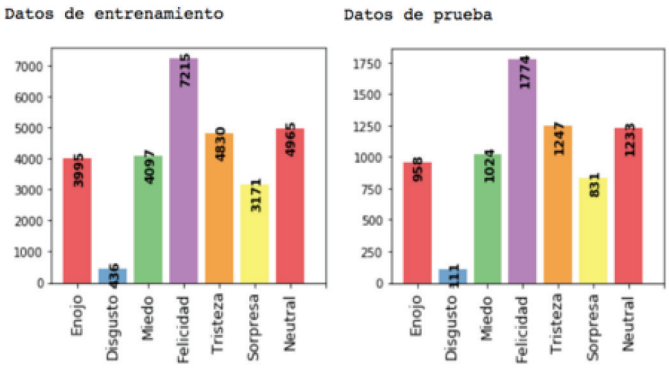


Figura 5 – Distribución de la base de datos Fer2013

Una vez preparados los datos, se procede a la creación del modelo de red neuronal convolucional. El modelo empleado en este documento es el planteado en Jena (2017). La red está compuesta por 3 capas convolucionales de 32, 64 y 128 filtros, el tamaño de paso es de 5*5 píxeles para la capa 1 y 2, mientras que para la capa 3 es de 4*4, cada capa cuenta con una función de activación, tipo unidad de rectificación lineal (ReLU) (Khan et al., 2018; Vu et al., 2018), a la salida de cada capa convolucional se encuentra una capa de reducción (MaxPooling2D), tomando como paso 3*3 píxeles.

La capa de reducción se enlaza con la capa de aplanamiento que, después, se conecta con la capa dropout y, finalmente, se unen a las capas densas, una de ellas cuenta con 512 neuronas, mientas que la otra con 6, debido al número de clases que se desea como salida, las funciones de activación para estas capas son ReLU y Softmax (Vu et al., 2018).

Por último, la red fue compilada con los siguientes datos:

- Optimizador: método por optimización estocástica.
- Función de pérdida: crossentropy categórico.
- Métrica: precisión.

El entrenamiento de la red neuronal se realizó durante 100 épocas, el tamaño de batch asignado fue de 128, dando como resultado 224 valores a procesar por cada época. Al finalizar el entrenamiento, se validó el comportamiento del modelo durante la preparación y testeo, como se aprecia en la Figura 6. La precisión, resultante del modelo en la detección de los gestos faciales, es del 61%.

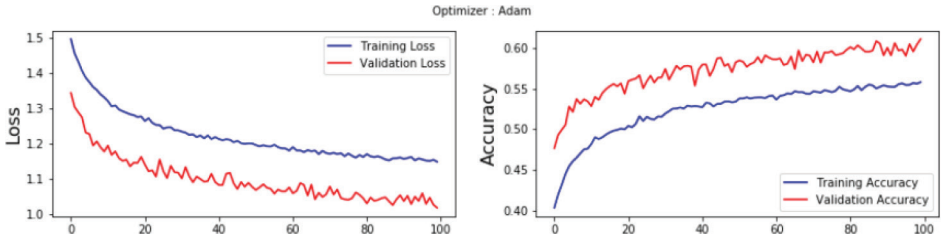


Figura 6 – Comportamiento del modelo de Red Neuronal Convolucional (CNN) durante el entrenamiento y *test*

Módulo de movimiento del robot: mediante la predicción del módulo selector se establece el bloque de movimientos, previamente configurado, de las posiciones de cada servomotor para generar el gesto detectado.

2.3. Control del habla del robot social

La sincronización labial de un robot interactivo social representa una característica verosímil de la forma en que los seres humanos nos comunicamos mediante el habla.

Los segmentos que conforman la sincronización labial son:

1. Normalización del texto (frase de entrada).
2. Separación de la frase en palabras.
3. División de las palabras en sílabas.
4. Lectura de base de datos en visemas.
5. Asignación de visema a cada sílaba.
6. Detección y envío de visema-movimiento.
7. Configuración del convertidor de texto a voz.
8. Introducción de frase para convertir en voz.
9. Ejecución simultánea de movimientos y voz.

En la Figura 7 están representados, de forma gráfica y secuencial, todos los segmentos que forman el sistema de sincronización labial.

Conversor de texto a voz o sintetizador: El conversor de texto a voz empleado en el proyecto fue el presente de forma nativa en los sistemas operativos de Apple, sus características son:

- Voces disponibles en varios idiomas.
- Velocidad configurable.
- Disposición de librerías para su fácil implementación.

Funciones empleadas en el algoritmo de sincronización labial:

Normalización del texto: el texto ingresado pasa a través de un filtro, que tiene por objetivo eliminar símbolos, espacios, y otros caracteres diferentes de las 27 letras del alfabeto español.

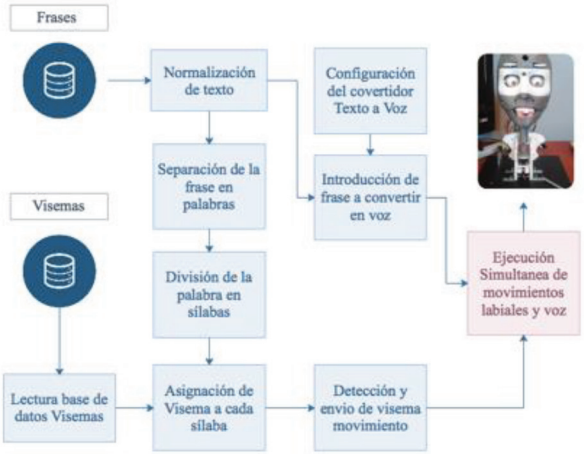


Figura 7 – Sistema de sincronización labial del robot

Número de sílabas y división silábica: la división silábica fue realizada con la consideración de las reglas de división del lenguaje español (Fernández et al., 2016), por lo tanto, cada cadena de caracteres que sale del proceso de normalización ingresa al proceso de división silábica.

Comunicación con el conversor de texto a voz: el conversor de texto a voz, que posee el sistema operativo de Macintosh, es utilizado en esta etapa del programa, el cual recibe la cadena de caracteres ingresada y la convierte en una señal audible.

Asignación de visemas: una vez realizada la división silábica, cada valor obtenido se compara con la base de datos de visemas para la asignación del código de visema respectivo.

Control de movimiento de servomotores: recibe los códigos de visema de entrada, los compara con los códigos de visemas establecidos y escribe cada sentencia de movimientos de los servomotores obtenido en el puerto serial.

3. Discusiones y resultados

3.1. Funcionamiento de la red neuronal

La precisión resultante, obtenida durante el *test* del modelo de la red neuronal, fue de 61% para la detección de emociones, entre estas tenemos: enojo, felicidad, miedo, sorpresa, tristeza y neutral.

Para observar, de forma gráfica, el comportamiento de la red se utiliza una matriz de confusión (Deng et al., 2016), la cual nos permiten visualizar el comportamiento de los modelos bajo un aprendizaje supervisado (Liu et al., 2014).

En la Figura 8 existen imágenes donde la variación de un gesto se puede considerar como un gesto de “tristeza” o “miedo”, entonces el comportamiento de la red tiende

a confundirla y, por tanto, pronostica una etiqueta incorrecta, esto se puede ver en la fila número 2, de la matriz de confusión, donde se exponen los datos acertados para la etiqueta "miedo", que no divergen mucho de la etiqueta "tristeza", con un valor de 212 aciertos.

3.2. Funcionamiento del robot social

Los resultados obtenidos del funcionamiento del sistema de control de gesticulación del robot se visualizan en la Tabla 1, la cual muestra el gesto facial detectado en el usuario y la imitación del gesto por parte del robot.

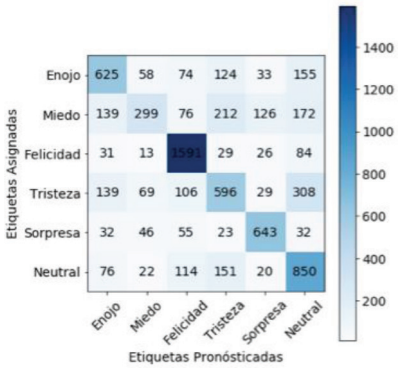


Figura 8 – Matriz de confusión del modelo de la red neuronal

3.3. Resultados obtenidos para la cadena de texto "soy un robot social"

Texto: DORIS LA ROBOT

Sílabas separadas: ['DO', 'RIS', 'LA', 'RO', BOT,']

Número de sílabas: 5

Lectura y asignación de código visemas: ['V28DO', 'V38RIS', 'V21LA', 'V28RO', 'V28BOT']

La señal de audio que proporciona el robot es dividida en 5 segmentos, en los cuales se establecen los visemas que forman el segmento. Los resultados de la sincronización de habla y movimiento del robot se aprecian en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se aprecia que, al terminar la ejecución de los movimientos y audio, los mecanismos adaptan la posición de neutro para esperar la siguiente línea de caracteres.

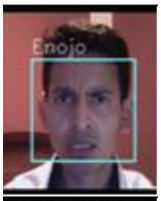
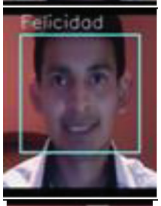
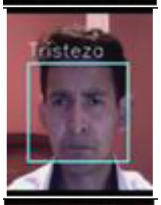
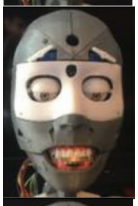
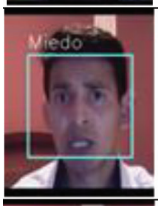
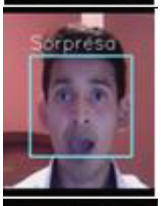
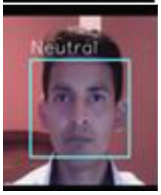
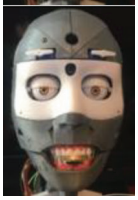
Gestos	Gesto reconocido	Gesto del robot
Enojo		
Felicidad		
Tristeza		
Miedo		
Sorpresa		
Neutral		

Tabla 1 – Características de la Raspberry Pi 3B.

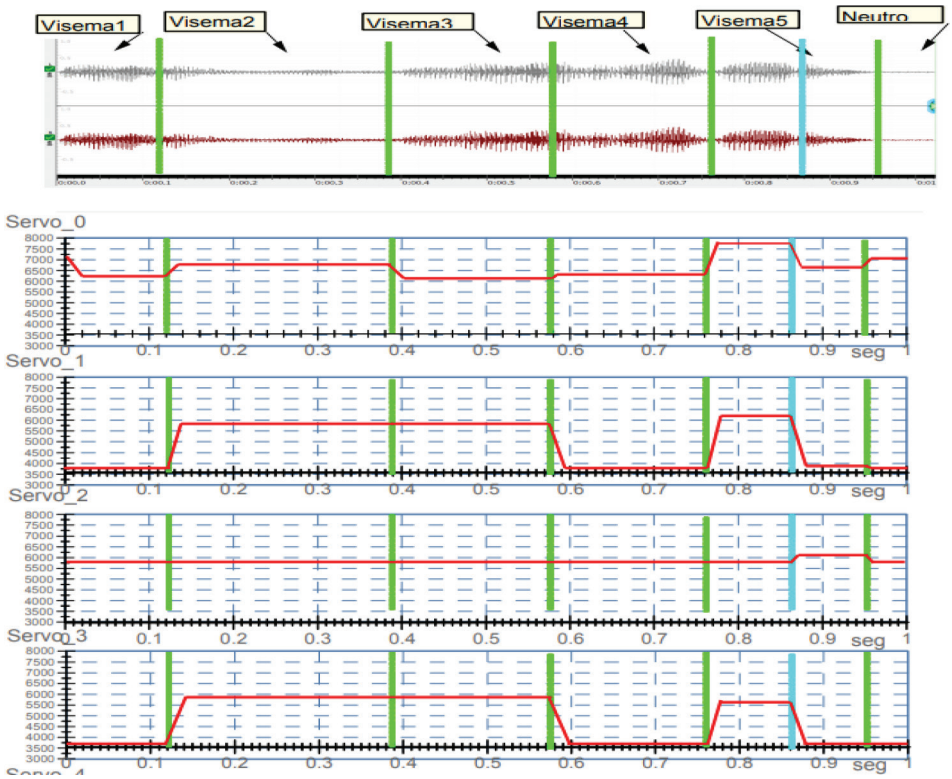


Figura 9 – Sincronización del habla y los servomecanismos del robot

4. Conclusiones

El trabajo desarrollado presentó un eficiente desempeño en la detección de emociones presentes en un rostro humano, que se logró mediante la utilización de redes neuronales convolucionales, las cuales fueron entrenadas, testeadas e implementadas para su funcionamiento. Esto, hizo posible que el robot emule los gestos con una fidelidad del 61%, siendo la felicidad, la emoción con mayor porcentaje de detección y, la tristeza, con el menor; aun siendo este índice aceptable, se puede mejorar la disertación exacta de las emociones pudiéndose aplicar técnicas de Deep Learning en trabajos futuros.

Agradecimientos: *Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización de este trabajo de investigación.*

Referencias

Barnes, J., FakhrHosseini, M., Jeon, M., Park, C.-H., & Howard, A. (2017). The influence of robot design on acceptance of social robots. In 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI) (pp. 51–55). Jeju: IEEE. DOI: 10.1109/URAI.2017.7992883

Chen, J., Chen, Z., Chi, Z., & Fu, H. (2014). Facial Expression Recognition Based on Facial Components Detection and HOG Features, 64–69.

Chen, L., Zhou, M., Su, W., Wu, M., She, J., & Hirota, K. (2018). Softmax regression based deep sparse autoencoder network for facial emotion recognition in human-robot interaction. *Information Sciences*, *428*, 49–61. DOI: 10.1016/j.ins.2017.10.044

Cheng, H., & Ji, G. (2016). Design and implementation of a low cost 3D printed humanoid robotic platform. In *2016 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)* (pp. 86–91). Chengdu, China: IEEE. DOI: 10.1109/CYBER.2016.7574801

Deng, X., Liu, Q., Deng, Y., & Mahadevan, S. (2016). An improved method to construct basic probability assignment based on the confusion matrix for classification problem. *Information Sciences*, *340–341*, 250–261. DOI: 10.1016/j.ins.2016.01.033

Faria, D. R., Vieira, M., Faria, F. C. C., & Premebida, C. (2017). Affective facial expressions recognition for human-robot interaction. In *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 805–810). Lisbon: IEEE. DOI: 10.1109/ROMAN.2017.8172395

Fernández, M. C. D., Gob, K. J. E., Leonidas, A. R. M., Ravara, R. J. J., Bandala, A. A., & Dadios, E. P. (2014). Simultaneous face detection and recognition using Viola-Jones Algorithm and Artificial Neural Networks for identity verification. In *2014 IEEE REGION 10 SYMPOSIUM* (pp. 672–676). Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE. DOI: 10.1109/TENCONSpring.2014.6863118

Jena, S. (2017). Machine Learning Engineer Nanodegree Capstone Project Emotion Recognition using Deep Learning.

Khan, S., Rahmani, H., Shah, S. A. A., & Bennamoun, M. (2018). A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision. *Synthesis Lectures on Computer Vision*, *8*(1), 1–207. DOI: 10.2200/S00822ED1V01Y201712COV015

Kumar, P., Happy, S. L., & Routray, A. (2016). A real-time robust facial expression recognition system using HOG features. In *2016 International Conference on Computing, Analytics and Security Trends (CAST)* (pp. 289–293). Pune, India: IEEE. DOI: 10.1109/CAST.2016.7914982

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436–444. DOI: 10.1038/nature14539

Liu, L., Li, B., Chen, I.-M., Goh, T. J., & Sung, M. (2014). Interactive robots as social partner for communication care. In *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 2231–2236). Hong Kong, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICRA.2014.6907167

Mead, R., & Mataric, M. J. (2016). Autonomous human-robot proxemics: A robot-centered approach. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 573–573). Christchurch, New Zealand: IEEE. DOI: 10.1109/HRI.2016.7451862

Meghdari, A., Shouraki, S. B., Siamy, A., & Shariati, A. (2016). The real-time facial imitation by a social humanoid robot. In *2016 4th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM)* (pp. 524–529). Tehran, Iran: IEEE. DOI: 10.1109/ICRoM.2016.7886797

Fernández, R., & Montes, H. (Eds.). (2016). *RobCcity16 Open Conference on Future Trends in Robotics*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Sang, D. V., Van Dat, N., & Thuan, D. P. (2017). Facial expression recognition using deep convolutional neural networks. In *2017 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)* (pp. 130–135). Hue: IEEE. DOI: 10.1109/KSE.2017.8119447

Silva, V., Soares, F., & Esteves, J. S. (2017). Mirroring and recognizing emotions through facial expressions for a RoboKind platform. In *2017 IEEE 5th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG)* (pp. 1–4). Coimbra, Portugal: IEEE. DOI: 10.1109/ENBENG.2017.7889480

Soni, L. N., Datar, A., & Datar, S. (2017). Implementation of Viola-Jones Algorithm Based Approach for Human Face Detection. *Int. J. Curr. Eng. Technol.*, *7*, 1819–1823.

Vu, T. H., Nguyen, L., Guo, T., & Monga, V. (2018). Deep network for simultaneous decomposition and classification in UWB-SAR imagery. In *2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18)* (pp. 0553–0558). Oklahoma City, OK: IEEE. DOI: 10.1109/RADAR.2018.8378619

Wang, Y. Q. (2014). An Analysis of the Viola-Jones Face Detection Algorithm. *Image Processing On Line*, *4*, 128–148. DOI: 10.5201/ipol.2014.104

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 26/12/2018
Aceitação/Acceptance: 16/02/2019

Science and technology in Ecuador: first approach to its current status at national level

Juan Salazar-Mera[1], Catalina Silva-Ordoñez[2], Ximena Morales-Urrutia[3], Luis Simbaña-Taipe[4], Diana Morales-Urrutia[5], Lilian Morales-Carrasco[6]

juansalazar@uti.edu.ec, catalinasilva@uti.edu.ec, ximenamoralesurrutia@yahoo.com, lesimbania@espe.edu.ec, dc.moralesu@uta.edu.ec, lilianmorales@uta.edu.ec

[1,2,3] Universidad Tecnológica Indoamérica, 180103, Ambato, Ecuador.

[4] Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), 171103, Sangolquí, Ecuador.

[5,6] Universidad Técnica de Ambato, 180104, Ambato, Ecuador.

Pages:353–365

Abstract: The objective of the research was to analyze the technological activity in the Ecuadorian context, by offering a first approach to this type of business from a conceptual and empirical point of view. A documentary review was performed at general level related to information technologies' conceptualization and in detail about the policies and regulations applied to the Ecuadorian case. It also analyzed the expenditure on science and technology activities and the use of information and communication technologies at the enterprise level. The data is based on the Ecuadorian Institute of Statistics and Censuses (INEC) surveys corresponding to 2009-2015. According to the analysis, provisional conclusions were drawn on the current role of activities related to science and information technology and their possible contribution to the diversification of scientific and technological activity of Ecuador.

***Keywords*:** science; technology; companies, Ecuador.

1. Introduction

In recent decades in companies, information and communication technologies (ICT) play a significant role in the development of a new organizational paradigm; through the use of tools that facilitate the operation of different processes of both planning and dissemination, transmission and use of information. These factors directly affect the organizational and operational development (Kleinschmidt, De Brentani & Salomo, 2007; Cano and Baena, 2015).

Moreover, authors such as Malbernatt (2010); Bolleto, Pedraza and Contreras (2015) agree that ICT in addition to being considered as an instrument for information management, also it inserts in this process, adequate knowledge for its management. In this regard, Lundvall (2002), states that it is necessary for companies to make changes in their internal processes. These changes imply the development of new procedures, organizational changes, and acquisition of new skills (Rivas and Stumpo, 2013, p. 43)

for both executives and collaborators. It requires reforming working methods to adapt production systems to new and changing economic models (CEPAL, 2013, p. 12). In this sense, ANETCOM (2012) shows that the adoption of ICT alone does not guarantee an automatic or linear growth of the company (Lundvall, 2002); there must be a synergy of all the existing resources in order to promote complementary innovations and efficient, productive processes with higher added value (CEPAL, 2010).

Huaroto (2012) settle that one of the positive effects of ICTs correct adaptation represents technical support on decision-making on management processes. In the same way, Winkler (2014) considers that the use of ICTs is part of an organization's strategy, which turns to be a competitive advantage in business management development. ICTs modify the value chains according to consumers, and the results are materialized in benefits and productivity generation. Also, another success factor that results from ICTs' incorporation are innovations in business strategies and trained human resources. These complementary investments produce essential assets for the company, both at individual and enterprise levels. In productive areas, they also accelerate the process of internal information and general business network transmission (CEPAL, 2010).

This study deals with the analysis of the technological activity in Ecuador; it offers first evidence to this activity from a theoretical and applied point of view. It is taken as an analytical framework the Ecuadorian territory that has been selected by a double criterion of statistical availability and novelty, from a temporal perspective that comprises 2009-2015.

This paper is structured in four sections, in addition to the introduction and conclusions. In the second section, a review of the literature is performed. The third section discusses methodological aspects (definition of variables). The fourth section presents the results of the work, addressing both the trends observed in science and technology activities and the use of ICT at firm-level.

2. Theoretical review

The current process of globalization has generated a technological revolution of great magnitude, framed in activities related to science and technology. This phenomenon has promoted the generation of a solid base of knowledge at the enterprise level (Metaxiotis, 2009; Chadha & Saini, 2012) and infrastructures that support a series of alternatives and innovations to introduce structural changes. These modifications allow the achievement of a degree of business evolution and productivity (Ca'Zorzi, 2011; Lai et al., 2011; Wang & Wang, 2012) in the different productive sectors (Delgado and De Paula, 2015).

The current organizations of the 21st century present a series of demands of different kinds to be more competitive (Delgado et al., 2015; Bolleto et al., 2015). In this sense, technology is considered one of the most critical factors that contribute to the development of the communication by means of diffusion and the exchange of information between the institution personnel, Customers and Suppliers (Duclós & Santana, 2009, p. 129; Elder et al., 2013; Spagnol Fedoce et al., 2015). It also fosters the development of strategies, structure, and innovation of the processes (Moura and Campanholo, 2011).

In this regard, large companies have made substantial investments in modern infrastructures that allow them to improve the use and management of knowledge.

Nevertheless, it is essential to understand that this is a synergistic process in which technologies must be fully implemented to generate performance improvements, value chains and competitive advantages (Moura and Campanholo, 2011). Based on this, Delgado et al. (2015) state that technology should be understood as a group of ordered knowledge that gives the company technical conceptual support to solve problems production process and commercialization of goods or services.

Buenrostro (2015) establishes that technologies within companies generate two types of effects; furthermore, everything that is related to automation increase and the intensity of capital (capital-work ratio), which are related to productivity growth per worker. On the other hand, ICTs highlight all aspects that are linked in an indirect way with the technology, such as, organizational changes, utilization processes and information & communication management of both internal and external levels and the generation of new forms to knowledge access (Rivas and Stumpo, 2013, pp. 45-48; CEPAL, 2013, p. 39).

Additionally, technology is considered as one of the tools that promote business competitiveness. It reflects specific effects that are the result of internal aspects and conditions of the environment, such as: the relation with the country technology capacity, the productive profile, the techno-organizational capability, the structure of the articulations between the companies, the linkage with institutions of higher education and research centers, as well as the local institutional arrangements (Breard and Yoguel, 2013, p. 211; Buenrostro, 2015).

In the same track, CEPAL (2010) shows that different barriers and incentives generate new technologies incorporated in the organizations. In this regard, both external and internal studied variables are the levels achieved in education, science, and technology, as well as the development of the technology-producing industry. The legal framework governing the operation and application of different types of technology in organizations according to each country should also be considered. On the other hand, certain conditions arise that affect the technology adaptation of the companies because of their characteristics.

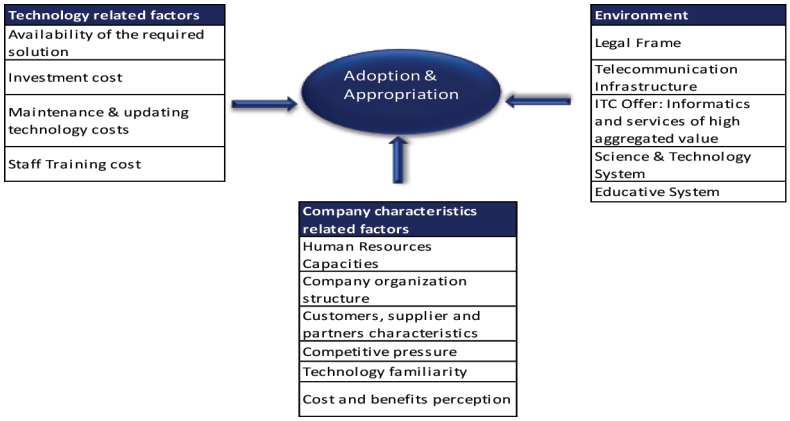


Figure 1 – Environment conditions and factors related to technologies and company's characteristics (CEPAL, 2010)

Thus, there are specific competencies of the executives, technicians and workers of the company, the company organizational structure, the competitive pressure, the familiarity of the owner and the executives of the company with the technology, the characteristics of customers, suppliers and partners, and the perception of the costs and benefits associated with the incorporation of technologies, among others.

The elements mentioned taking particular relevance depending on the stage in which the company technology incorporation is found. From this perspective, international organizations such as CEPAL and OECD have proposed a four-step scale that determines the process of technology incorporation (Buenrostro, 2015). A first stage brings together companies that lack technology in their operations, for example, micro-enterprise. In the second stage, companies that have basic technology are found. Therefore, the use and management of ICT do not imply specialized knowledge. The third stage involves companies that manage technology to articulate all areas of the company to be more productive. Finally, in the fourth stage, different companies make intensive and sophisticated use of technology; they use specialized software for the generation of knowledge.

Within this process, each stage demands more complex uses of technologies, and then the companies require greater capacities to adapt these to the productive and administrative process (Plottier et al., 2013, pp. 18-19). On the other hand, the complete adaptation of technology in different organizations requires the implementation and fulfillment of several public policies, which are oriented to the appropriate use of the new technologies and the promotion of a digital society. Due to the above mentioned, there is still a considerable digital inconsistency that has been the result of factors, such as: institutional weakness, lack of budget, absence of policymakers to determine positive actions in relation to the use of Technologies, among others (Peres and Hilbert, 2009, p. 326; Delgado et al., 2015).

State public policies must be under the requirements of each country and company, to promote a digital revolution and to generate a positive impact in the administrative field of all types of organization (Delgado et al., 2015). Regarding the established policies supporting the technology implementation in South American countries, they are aligned to the Regional Action Plan of the Information Society for Latin America and the Caribbean (eLAC). They promote the technological growth of the member countries (Rovira and Stumpo, 2013:39). Within these political views, two are the aspects of importance. The first is related to the strategy framed in the development policy agenda, which aims to give continuity and sustainability. Additionally, the second is the existence of external components in the technology policies formulation that depend directly on the governments and the degree of development of a region (Guerra and Jordán, 2010, p. 22).

In the case of Ecuador, the technology adoption and adaptation are still in an incipient status. However, governments have implemented laws, regulations, and norms that have promoted the use of technology. The Constitution of the Republic of Ecuador guarantees digital democracy in the country. In article 16, literal 2 stipulates: “universal access to information & communication technologies”. The Plan Nacional de Buen Vivir 2009-2013, aims specific objectives, such as Objective 2 Improve capacities and potentialities of the citizens. Policy 2.7. Promote access to information and new information &communication technologies, to incorporate the population into the information society and to strengthen the exercise of citizenship. Also in Objective 11: Establish a

social, solidarity and sustainable economic system and in policy 11.9. Promote access to knowledge and technologies and their endogenous generation as public goods.

The Strategy Digital Ecuador 2.0 (EED) issued in the year 2011, deals with a set of sectoral policies that the Telecommunications Ministry and the Information Society (MINTEL) urges. Therefore, it fosters all citizens access and generate information and knowledge, through the effective use of information and communication technologies, actively integrated into Ecuador (Ministry of Telecommunications and Information Society, 2011). As part of the EED model, policies for the ICT sector are proposed, including 1) To promote social, solidarity and inclusive development in rural, urban marginal sectors, communities, and priority care groups, through the intensive use of ICT; 2) To bring the administration of the government and its processes closer to the citizens and the productive sectors. These elements will provide quality, accessible, safe, transparent and timely services, through intensive use of ICTs; 3) Convert ICT into axles of productive transformation and economic development.

Similarly, there are institutional efforts that have been included in the National Plan of Electronic Government 2014-2017 version 1.0. Its objectives (open government, close government, and effective and efficient government), are aligned into digital democracy to break the digital and cognitive gap (National Secretariat of Public Administration, 2014).

In 2016, the National Electronic Government Plan 2018-2021 was developed for the promotion of the development and use of open technologies, with the ultimate aim of encouraging the circulation and national & regional transfer of the available knowledge and technologies. The confirmation of both social innovation and academic research networks will focus on increasing the practice of disaggregation and technological transference. It will be supported through mechanisms for technology research, development, and innovation with a high degree of national component. It is imperative to promote the development of the knowledge and information society as a fundamental principle for the productivity increase in manufacture factors and intensive work knowledge activities (MINTEL, 2018, p. 11).

Finally, a year later, the public policies of telecommunications & information Society Sector 2017-2021 were issued. These policies covered the reduction of the digital gap in the population. Additionally, they promoted the use of ICT and the incorporation of companies' technology to support the development of businesses. They aim to build the bases to stimulate the growth of the ICT industry in the country (MINTEL, 2017, p. 12).

3. Methodology

The databases analyzed in this study were elaborated by the Institute of Statistics and Censuses of Ecuador (INEC). In addition, it has taken the national survey on science, technology and innovation activities – ACTI 2013 and 2015 that uses a quantitative approach because the analyzed data use statistical procedures. It also uses a technology developed and validated methodology based on the International handbook specifications. The survey mentioned above-considered institutions of the following sectors: private or public university education, government and private non-profit organizations that perform permanently science and technology activities, for the periods: 2009-2011 and 2012-2014. On the other hand, data from information and communication technologies

(ICT) module have been reviewed in manufacturing and mining, internal trade and services surveys, which enables the evaluation of the use and impact on ICT at national level and at Business sectors, from 2012-2015.

This work considered several variables that try to capture different dimensions related to the study object. The following is a description of these variables, specifying the data sources and units of measurement, as well as other essential aspects.

From the critical point of view, they are variables that refer to both: scientific & technological activities and those related to ICT in Ecuador. These variables try to explain the current and evolutionary state of technology. In this case, the relevant variables for the situational analysis of science and technology in the country are divided into two broad groups. They are analyzed through 6 indicators, as described in the following paragraphs:

Executed expenditure in or after the scientific and technological activities: it corresponds to the expenses in other scientific and technological activities. Besides, it is disaggregated collected by the source of financing.

Natural persons dedicated to science and technology: it refers to the total of natural persons engaged in science & technology activities, disaggregated by type of function, sex, full and partial time.

The generated indicators from the previously exposed variables are expenditure on science & technology activities (STA) as a percentage of GDP, STA expenditure according to the financing sector, science & technology personnel according to the type of function (individuals).

As previously mentioned, this study analyzes some of the indicators that are derived from the calculated variables from the information & communication technologies (ICT) module in the manufacturing and mining, internal trade and services surveys: Invested Value in ICT: refers to the value that companies drive for ICT goods or services purchased during the investigation year; Dedicated staff using computers: corresponds to the number of people employed in the company disaggregated by sex; who use computers to carry out their activities during the research year; Internet connection: quantity of companies that occupy an internet connection during the research year; Dedicated staff using the Internet: corresponds to the number of people employed in the company disaggregated by sex; who use the Internet to carry out their activities during the research year; Internet transaction: quantity of companies that carry out operations (buy or sell) over the Internet during the research year.

Finally, it should be noted that, although the statistical availability of these variables is presented in recent years, they are not fully desegregated. It has been necessary to carry out a reconstruction procedure of the data series, to have a balanced and homogeneous sample.

4. Results and discussion

We will begin the analysis of the phenomenon studied, with a brief perspective of the development of ICT in companies in Latin America. In Figure 1, the data reveal that

there is an impact of public policies concerning ICT through the regional action plan on the Information Societies of Latin America and the Caribbean (eLAC) (Delgado et al., 2015). However, it should be noted that although there is a specific policy aimed for promoting the creation of an information society, it does not fulfill its purpose; due to the lack different technological tools to allow the offer and demand production.

According to the results, it is evident that small companies in Latin America present a slow and limited ICT adoption, except in countries such as Brazil and Chile, where they have stimulated the use of business technology, introducing different innovations in their productions. In the specific case of Ecuador, it registers a percentage of application in small companies below Latin America average. This fact is partially the result of an emergent state of introduction of this trend within the Ecuadorian business sector (Figure 2)

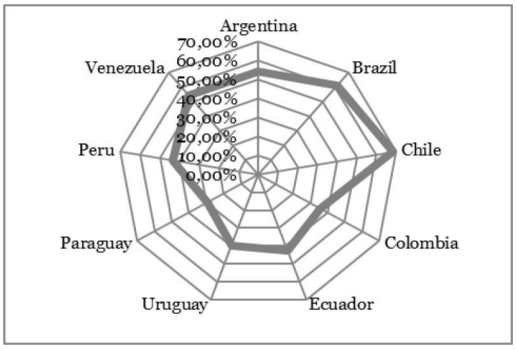


Figure 2 – Percentage of small businesses that use ICT in Latin America (Arazi and Baralla, 2012)

The surveys that are analyzed in this work incorporate an additional interest by covering different aspects related to technology from the perspective of the Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 (PNBV). The objective is to identify the development that has had the information technologies in the Ecuadorian context, according to the different studied variables.

At a first approach referring to the whole period 2009-2014 (Figure 3), it is showed a certain degree of parallelism, both in R & D and STA. In this case, both seem to follow the same evolutionary trend from the expenditure view performed by the government. However, there are certain asymmetries between these areas, mainly when these trends are observed under the economic changes experienced by Ecuador. In the same way, the data reveals that there has been a 0.10% growth in STA, while the R & D expenditure does not exceed 0.05%. These results in part are aligned to the structural change and the support provided by the government through different public policies implemented in the PNBV 2013-2017. PNBV promotes the good living of citizens, which must be reflected in a progressive and intense change process supported by the development of a digital society.

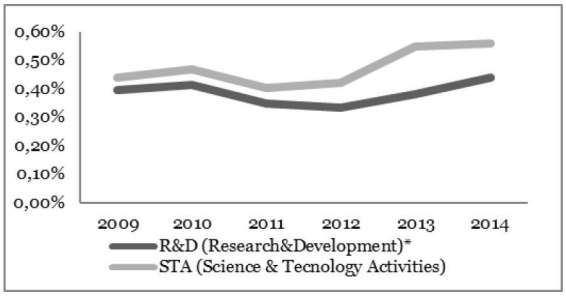


Figure 3 – Expenditure on science & technology and R&D*[1] activities as a percentage of GDP (National Survey of Science and Technology 2009-2014)

In comparative terms, the expenditure in STA, according to the financing sector, shows marked differences between the different segments; the data shown in Figure 4 reveal two aspects to be highlighted. On the one hand, the government's financing maintained stable growth. These data are consistent with the results presented in Figure 3, supporting the efforts made by the government to promote the use of technology. Moreover, there is a marked difference in expenditure according to the financing sector: the government has the highest representation among the analyzed groups, while companies and NGOs do not reach 10% in their expenses.

The carried out analysis is consistent with the conclusions obtained by RICYT (2017), which mentions that government spending is essential in most South American countries, except Chile and Uruguay that show low levels in trend as Anglo-Saxon countries.

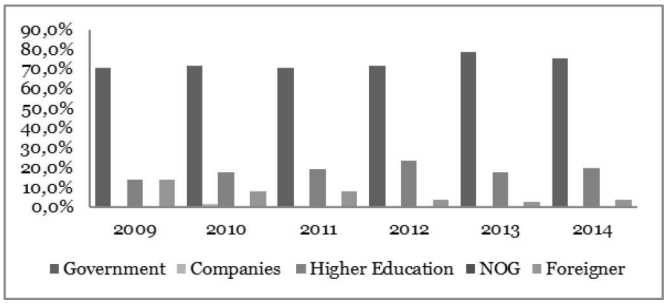


Figure 4 – Expenditure in STA according to the financing sector (expressed as a percentage of total expenditure in STA) (National Survey of Science & Technology 2009-2011 and 2012-2014)

In recent years, the majority of countries have formulated digital strategies; plans, policies or agendas aimed at the support of ICT public policies, as means of building information societies (MINTEL, 2011, p. 4). Continuing with the analysis, the investment in ICT and invested value of the companies are analyzed according to their size. In general, it is observed that the Ecuadorian business network has been investing in the technological area, during the studied years. However, there are marked differences

[1] * National R&D: Research and development of science, technology and innovation surveys.

concerning investment; this aspect represents a problem at the country level. Although laws are promoted and motivate the ICT implementation and use, there are not enough specific policies or programs of financial support to generate new investments in this field. Additionally, there is a lack of knowledge of the employers on programs and procedures/formalities to access them (Table 1).

Company Size	Year	Number of Companies			Investment Value
		Total	With investment	Percentage	
Small Companies	2012	1921	564	29%	$2.475.465,00
	2013	1541	317	21%	$4.179.313,00
	2014	1356	337	25%	$1.468.268,00
	2015	838	330	39%	$2.273.406,84
Medium Companies A	2012	174	89	51%	$1.181.672,00
	2013	401	135	34%	$1.697.518,00
	2014	447	193	43%	$2.151.806,00
	2015	443	291	66%	$3.604.847,00
Medium Companies B	2012	1179	562	48%	$10.761.021,00
	2013	905	353	39%	$11.815.162,00
	2014	733	407	56%	$25.582.682,00
	2015	752	552	73%	$9.283.789,00
Big Companies	2012	854	554	65%	$129.705.187,00
	2013	1074	594	55%	$120.075.826,00
	2014	1135	766	67%	$175.369.488,00
	2015	1155	983	85%	$266.266.040,00

Table 1 – Number of companies with investment in ICT and value invested, according to the size of the company (ICT Module for industrial surveys 2012-2015)

The current globalization process and the information society in which the country is immersed have led companies to implement new forms of marketing and sales in which it is necessary to use information technologies. ICTs promote a positive effect on a country's economic dynamism, making it an essential tool for business development and internationalization to enhance commercial transactions through electronic commerce of goods and services. In this context, the Government has approved the law of electronic commerce that has a legal regulation, necessary to contribute to the use of the Internet to another level. Like this, it supports the performance of commercial transactions such as exchange of digital goods and services, electronic funds transfers, electronic securities trading, public procurement, marketing, identity and transaction certification.

Table 2 shows that there is a limited percentage of companies at a general level using transactions by electronic means, despite the existence of the above-mentioned law. There is a reluctance degree on some of the companies, due to some aspects arise in the accomplishment of online businesses, among them: virtual contracts, transactions legality, delivery fulfillment of goods/services and a lack of knowledge of different legal norms.

Company Size	Year	Number of Companies		
		Total	Those that perform internet transactions	Percentage
Small Companies	2012	1.921	269	14%
	2013	1.541	175	11%
	2014	1.356	189	14%
	2015	838	96	11%
Medium Companies A	2012	174	34	20%
	2013	401	77	19%
	2014	447	87	19%
	2015	443	83	19%
Medium Companies B	2012	1.179	262	22%
	2013	905	180	20%
	2014	733	144	20%
	2015	752	147	20%
Big Companies	2012	854	184	22%
	2013	1.074	225	21%
	2014	1.135	221	19%
	2015	1.155	209	18%

Table 2 – Number of companies with investment in ICT and value invested, according to the size of the company (ICT Module for industrial surveys 2012-2015)

5. Conclusions

A first element highlighted in this study determines that the technology sector in Ecuador has experienced significant growth over the last decade; an increase that has been the result of investment and implementation of public policies in favor of the generation and development of a digital society, which promotes a citizen-technology inclusive relationship.

Likewise, it has been found that the different structural changes that have suffered Ecuador have promoted different government policies related to the knowledge generation. This factor not only has growth implications but a socioeconomic development through the generation of employment and technology transfer to society.

On the other hand, no clear evidence has been found, bonding the existing policies to the technology investment in companies. There is a different business development in which small businesses find it almost impossible to access domestic and international competitive markets. This feature shows the lack of financing sources that allows them to incorporate technology into their processes and generate a strategic business mechanism.

Finally, although the analysis should be taken as a first approximation to the problem, the data point out the existence of a moderate impact of technology spending. The different changes introduced by the Ecuadorian government have stimulated the creation of a digital environment. Nevertheless, it is not enough to alter in a significant way the scientific and technological dynamics in national context. Even though the current state of technological implementation is limited in the country; this research reveals that the existence of different Government development plans is not sufficient to reverse the inequitable development that the state has had concerning to information technology. At least, it has not been so far.

References

Asociación para el Fomento del Comercio Electrónico Empresarial. (ANETCOM). (2012) *La TIC en la estrategia empresarial*. Retrieved from http://video.anetcom.es/editorial/Las_TIC_en_la_estrategia_empresarial.pdf

Arazi M., and Baralla G. (2012): *La situación de las PyMEs en América Latina*, Buenos Aires: IERAL. Retrieved from http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2013/12471.pdf.

Botello Peñaloza, H. A; Pedraza Avella, A. C., and Contreras Pacheco, O. E. (2015). Análisis Empresarial de la influencia de las TIC en el desempeño de las empresas de servicios en Colombia. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, *45*, 3–15 Retrieved from http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/652/1185

Breard, G., and Yoguel, G. (2013). Patrones de incorporación de TIC en el tejido empresarial argentino: factores determinantes. En M. Novick y S. Rotondo (Comp.). *El desafío de las TIC en Argentina. Crear capacidades para la generación de empleo. Crear capacidades para la generación de empleo* (pp.207-247). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Buenrostro Mercado, E. (2015). Uso y apropiación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en las Pymes de Aguascalientes. *Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, *3*(6).

Ca'zorzi, A. (2011). Adoption and use of information systems and technology in manufacturing small and medium-sized enterprises. *European Journal of Information Systems, 12*, 127–141.

Cano, J. A., and Baena, J. J. (2015). Tendencias en el uso de las tecnologías de información y comunicación para la negociación internacional. *Estudios Gerenciales*, 31(136), 335–346.

CEPAL. (2010). Las TIC para el crecimiento y la igualdad: renovando las estrategias de la sociedad de la información. Efectos de las TIC en el desempeño de las empresas. Lima, Perú.

Chadha, S. K. & Saini, R. (2012). Key enablers in the implementation of KM practices: an empirical study of software SMEs in North India. *The IUP Journal of Knowledge Management, X*(4), 59–85.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2013). *Economía digital para el cambio estructural y la igualdad*. Retrieved from http://www.cepal.org/ publicaciones/ xml/5/49395/economia_digital_para__ cambio_estryigualdad. pdf, consultado el 24 de enero de 2014.

Delgado Aranda, M. Á., and de Paula Pinto, J. S. (2015). Empresa y tecnologías de la información: una mirada a Bolivia y América del Sur. *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad*, *10*(29), 147–171.

Duclós, C., and Santana, V. (2009): *Ciclo estratégico da informação: como colocar a TI no seu devido lugar*, Curitiba, Champagnat.

Elder, L. et al. (2013). *Connecting ICTs to Development: The IDRC Experience*. New York, NY, US: Anthem Press.

Guerra, M., and Jordan V. (2010): *Políticas públicas de Sociedad de la Información en América Latina: ¿una misma visión?* Santiago de Chile: Naciones Unidas. Retrieved from http://www.cepal.org/SocInfo.

Huaroto, C. (2012). El Uso de Internet y la Productividad de las Microempresas: Evidencias del Caso Peruano (2007–2010). *Information Technologies y International Development*, *8*(4), 129.

Kleinschmidt, E., De Brentani, U. & Salomo, S. (2007). Performance of global new product development programs: A resource-based view. *Journal of Product Innovation Management*, *24*(5), 419–441

Lai, M. C. et al. (2011). Designing a knowledge-based system for benchmarking: A DEA approach. *Knowledge-based systems, 24*(5), 662–671.

Lundvall, B. A. (2003). ¿Por qué la nueva economía es una economía del aprendizaje? *Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación. Los límites de la Economía del Conocimiento*, 39–55.

Malbernat, L (2010). Tecnologías educativas e innovación en la Universidad. *LaCapitalmdp.com*. Retrieved from http://www.lacapitalmdp.com/noticias/La-Ciudad/2010/12/27/168009.htm

Metaxiotis, K. (2009). Exploring the rationales for ERP and knowledge managementintegration in SMEs. *Journal of Enterprise Information Management*, *22*(1-2), 51–62.

MINTEL. (2011). *Estrategia Ecuador Digital 2.0*. Quito: Ministerio de la Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

MINTEL. (2018). *Plan Nacional de Gobierno Electrónico 2018-2021*. Quito: Ministerio de la Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

Moura, A., and Campanholo, T. (2011): Tecnologia da Informação aliada a gestão do conhecimento na melhoria da estratégia e desempenho organizacional. *Revista de la Católica*, *3*(3), 1–17. Retrieved from http://catolicaonline.com.br / revistadacatolica2/artigosv3n5/artigo04.pdf.

Peres, W., and Hilbert, M. (2009): *La sociedad de la información en América Latina y el Caribe: Desarrollo de las tecnologías y tecnologías para el desarrollo*, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Plottier, C., Rovira, S., and Stumpo, G. (2013). *Una iniciativa sectorial para la difusión de las tic en las empresas. La experiencia del Uruguay*. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

RICYT (2017). El estado de la ciencia. Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos. Buenos Aires: Altuna Impresores. Retrieved from http://www.ricyt.org/files/Estado%20de%20la%20Ciencia%202017/El_Estado_de_la_Ciencia_2017_Completo.pdf

Rivas, D., and Stumpo, G. (2013). Las tic en el tejido productivo de América Latina. En M. Novick y S. Rotondo (Comp.). *El desafío de las tic en Argentina. Crear capacidades para la generación de empleo. Crear capacidades para la generación de empleo,* 43–78. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Rovira S., and Stumpo J. (2013): *Entre mitos y realidades: TIC, políticas públicas y desarrollo productivo en América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Retrieved from http://www.cepal.org/SocInfo.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

Secretaría Nacional de la Administración Pública. (2011). *Estrategia Ecuador Digital 2.0*. Quito: Ministerio de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

Spagnol Fedoce, R. et al. (2015). Knowledge management as a competitive advantage to the brazilian MVAS ecosystem. *Journal of Technology Management & Innovation, 10*(2), 1–8.

Wang, Z. & Wang, N. (2012). Knowledge sharing, innovation and firm performance. *Expert Systems with Applications, 39*(10), 8899–8908.

Winkler, T. (2014): *Information Management and IT Strategy. Material de lectura correspondiente a la Escuela de Verano Internacional en Economía y Gestión*. La Habana.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 08/11/2018
Aceitação/Acceptance: 28/01/2019

Security Analysis Protocol for Android-Based Mobile Applications

José Palacios[1], Gabriel López[2], Franklin Sánchez[3]

jose.palacios01@epn.edu.ec, gabriel.lopez@epn.edu.ec, franklin.sanchez@epn.edu.ec

[1,2,3] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

Pages:366–378

Abstract: This document presents a testing protocol to evaluate security of mobile applications based on Android. For this, it's been used as a reference the methodology proposed by OWASP Mobile Security Project. It's been developed a protocol of tests that consists of three phases: information gathering, static analysis and dynamic analysis. To assess the security of mobile applications the testing protocol has been designed, using certain steps of the OWASP Mobile Security Project. For the three phases that are part of the designed test protocol, a set of tasks is defined with the necessary procedure and tools. Subsequent to the design of the test protocol, it has been validated on a mobile application, and it has been presented comments of the test. The tools used in the protocol include dex2jar, PeaZip, axml2printer, jd-gui, logcat, OWASP ZAP and Drozer.

***Keywords*:** Android; data gathering; dynamic analysis; mobile application; security; static analysis; OWASP.

1. Introduction

With the increasing use of mobile applications, a lot of enterprises have chosen to offer the possibility of making commercial transactions from the convenience of a mobile device. However, given the sensitivity of the data that is handled by these types of applications, it has become necessary to analyze the level of security of these applications in order to protect the customer's information.

The OWASP Mobile Security Project methodology (Owasp.org, 2016), has been used to design a testing protocol, which consists of three phases: data collection, static analysis and dynamic analysis. While the OWASP Mobile Security Project defines the points to consider for testing the security of mobile applications, it does not define the procedure or tools required for testing. Because of this, in this work a test protocol is defined for Android applications, which defines the procedure and tools needed for each of the tasks that are part of the phases of data collection, static analysis and dynamic analysis.

The analysis of Android applications for devices has already been studied in other investigations, such as: Mobile Application Security on Android: Context on Android security (Burns, 2009), documents like this one, in which only the theoretical approach is discussed, which serves as the basis for an analysis of Android applications, but does

not indicate steps or current tools to do it. Towards Black Box Testing of Android Apps (Zhauniarovich, Philippov, Gadyatskaya, Crispo & Massacci, n. d.). In which they focus on the design of a framework for Black Box analysis, for Android applications. However, they do not take into account the analysis of the application code components or the tools needed to perform the analysis.

A test protocol has been designed in order to test the security of mobile applications, using certain steps of the OWASP Mobile Security Project. For the three phases that are part of the designed test protocol, a set of tasks is defined with the necessary procedure and tools. Subsequent to the design of the test protocol, it has been executed on a mobile application of Ecuador and it has been found that there are several weak points in this, including an alarming vulnerability. Finally, the results obtained from the execution of the test protocol for the mobile application was analyzed.

Using the protocol proposed in this paper, it is possible to have a notion of the security status of mobile applications. Through the implementation of this protocol, vulnerable points can be detected, in order to be able to correct them later and to protect the data of the clients.

The second section of this document presents the related work, the third section presents the proposed protocol, along with the tools and commands required for its use. The forth section shows the validation of the test protocol for a mobile application of Ecuador. Finally, the sixth section presents the conclusions.

2. Related work

With the aim of analyzing the security of mobile applications, work has been carried out such as: OWASP Mobile Security Project methodology (Owasp.org, 2016), Mobile Application Security on Android: Context on Android security (Burns, 2009), Towards Black Box Testing of Android Apps (Zhauniarovich et al., n. d.), Securing The Mobile Banking Channel (Entersekt, 2014).

OWASP Mobile Security Project methodology, is a resource whose purpose is to provide developers and security teams with the resources they need to build and maintain secure mobile applications. This project seeks to classify mobile security risks and provide development controls to reduce their impact or probability of exploitation. For this, OWASP defines a set of steps grouped into three phases: data gathering, static analysis and dynamic analysis. However, for all the steps described in each of the three phases, there is no detailed procedure of how to carry them out, which is why the proposed protocol details the points to be considered within each of the three phases: data collection, static analysis and dynamic analysis, the procedure and the tools required for the implementation of the protocol on mobile applications.

Mobile Application Security on Android: Context on Android security (Burns, 2009) details a complete theoretical approach, which can then be used to define a test protocol. For example, it takes into consideration Android's security model, permissions, attempts, activities, broadcasts, services, content providers, etc. However, no protocol is defined to test the security of Android-based mobile applications, nor the necessary tools. This is why this paper includes a selection of specific procedures and tools for testing.

Towards Black Box Testing of Android Apps (Zhauniarovich et al., n. d.) deals with the development of a framework for black box testing, i.e. without having access to the application's source code. For this, this framework uses tools such as: Apktool, dex2jar and Emma. However, it defines more of a set of tools than a test protocol with defined steps for assessing the security of an application. That's why this document offers a series of defined steps, which provides a guide to evaluate an Android mobile application.

Securing The Mobile Banking Channel (Entersekt, 2014), deals with ways to secure the communication channel with mobile banking applications, in order to encourage the use of these by customers. For this purpose, recommendations are provided that the developer of mobile banking applications should take into account during the design process. However, it does not define any procedure for defining the security of an application nor a set of defined steps can be followed. This is why this document offers a protocol, which provides a guide to determine the security status of an application, taking into account not only the communications channel but also its code.

In relation to the works mentioned above, it is found that they do not define a set of defined steps, which allow the security level of Android-based mobile applications to be determined. For this purpose, this document defines three phases: data gathering, static analysis and dynamic analysis, which have a set of defined steps, as well as the necessary tools to evaluate the security level of mobile applications based on Android.

3. Methodology

The figures and examples shown below were obtained from the implementation of the protocol on a mobile application.

The OWASP Mobile Security Project methodology was used as a reference for the analysis of applications. OWASP methodology mentions the points needed for the analysis, but it does not indicate the tools or steps to be taken in detail. This chapter describes the test protocol and the required tools. As mentioned above, the protocol consists of three phases: data collection, static analysis and dynamic analysis.

3.1. Information Gathering Protocol

The following describes the protocol for data collection, which is then used for the analysis of applications. For this, applications must be obtained from the official store, this with the aim of avoiding the use of malicious or modified applications. The tasks which are part of this phase are: Functionality and workflow, Network interfaces and hardware components, Commercial transactions and interaction with other applications, and Application signing.

1. Functionality and workflow: At this point the application is installed on a device and navigate through it to see the options it provides.
2. Network interfaces and hardware components: When the application is installed and it is opened for the first time, it requests some permissions. It is necessary at this point to make a screenshot, in order to remember the permissions requested. Subsequently, the set of permissions should be listed, separating the permissions that provide access to the network interfaces with which interacts with the application.

3. Commercial transactions and interaction with other applications: Using the exploration in section 3.1.1, it should be taken into account the information about the customer displayed by the application, and list the business transactions it allows to conduct. Also, it should be checked what information is needed or what process is to execute these transactions. For example, if the transactions can be executed only by accessing the application or if it is needed to confirm them with some additional code.
4. Application signing: Each application is signed with a certificate obtained by the application developer, to verify the origin of the application, it is necessary to verify the data contained in this certificate. Two tools are used to obtain this information: Jarsigner and OpenSSL.

3.2. Static Analysis

For this phase the application is installed on a virtual Android device. For each task that makes up the static analysis, the use of each of the tools necessary for the analysis is described in the following sections. In addition, there are recommendations that will help to perform each task. The task for static analysis are: Obtaining the source code, Permissions in the archive AndroidManifest.xml, Framework, Libraries, Views, Data entry, Code used for authentication, Online/Offline authentication, Additional information to the User/Password, Authentication methods, Blocking, Unique authentication, Two step authentication, and Automated static analysis.

Name	Size	Packed Size	Modified
assets	16 023 238	4 489 462	
lib	9 548 700	4 008 227	
META-INF	100 756	33 766	
res	736 532	712 843	
AndroidManifest.xml	5 856	1 686	2017-09...
classes.dex	497 692	165 645	2017-09...
resources.arsc	34 236	34 236	1980-12...

Figure 1 – Viewing.apk files using PeaZip

1. Obtaining the source code: Once the application is installed on the Android virtual device, the Apk Extractor application is installed on it. Apk Extractor lists and extracts the application to be analyzed and obtains its .apk file. Clicking on the desired application extracts the .apk file and displays the path in which it was saved.

   Now that the .apk file has been obtained, the PeaZip tool is used to view the elements contained in this file. As shown in Figure 1, the .apk file is a zip file of everything needed to make the application work. These files are then extracted into a folder to make them available for analysis.

Then, the code that composes the application is obtained using the Dex2Jar tool. To do this, execute the command d2j-dex2jar.bat from the directory of the dex2jar-2.0 folder, executing the following instruction, where the second part of the command is the path to the classes.dex file obtained in the previous step.

>d2j-dex2jar.bat C:\Users\josep\Desktop\classes.dex

The resulting file is located in the tool folder, this file will be used later, so it is recommended to put it in the same folder where the .apk file was extracted.

2. Permissions in the archive AndroidManifest.xml: To make this point you work with the AndroidManifest file.xml that was obtained in step 3.2.1. However, this file needs to be processed by another tool before it can be read, AXMLPrinter2 is used for this. With the following command you get the readable file, the second part of the command indicates the name of the file where the result will be saved.

   >java -jar AXMLPrinter2.jar AndroidManifest.xml > AndroidManifest_ decoded_.xml

   With the AndroidManifest file.xml already in a readable format, any text editor is used to read its contents. It is recommended to use the Sublime Text (Sublime Text, n. d.), tool as it allows a more comfortable reading of the file. The result is shown in Figure 2.

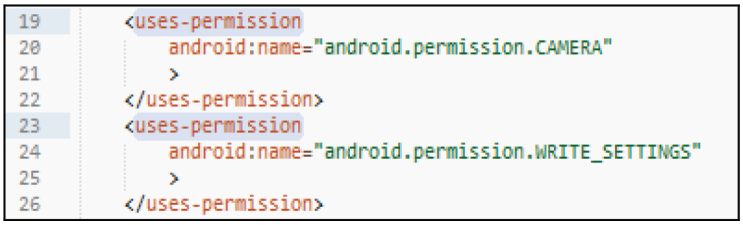


Figure 2 – Extract from the AndroidManifest.xml file

   This file contains the permissions that the application requests at the time of its installation, these are found with the label <uses-permission>. These permissions should be listed to verify that they are the same as those the application requested when installing it. A detail of the most relevant permissions is shown in reference (Permissions Overview-Android Developers, n. d.).

3. Framework: This point aims to determine the framework in which the application was developed. The determination of this information is made according to the recommendations of the documents: (Quora, n. d.) or (Deitel University of London & Trinity College Dublin, 2012), where it is specified to navigate through the content of the decompressed .apk file, obtaining information about the framework used for the development of the application. In these documents it is recommended to search within the assets folder, if there is a www folder containing the name of packages such as those suggested in Owaps.org (n. d.), such as Apache Cordova (Apache Cordova, n. d.), Ionic (Ionic Framework, n. d.), etc. This information can also be found in the src folder.

4. External Libraries: Each application uses libraries that provide certain functionalities, these libraries can introduce vulnerabilities into the application, so it is necessary to identify them. For this purpose, the following procedure is performed.

   Unzipping the .apk file finds the lib folder, this folder contains the libraries which are part of the application, for example, libraries that are not included in the Android SDK (Owaps.org, n. d.). For this, there is a folder for each processor architecture. Once identified the libraries which are part of the application, it can be used references such as: (NVD - Search and Statistics, n. d.), (CVE, n. d.), (Exploits Database, n. d.) o (US-CERT|United States Computer Emergency Readiness Team, n. d.) in order to look for known vulnerabilities in its database.
5. Views: From this point, it is necessary to mention that the code obtained through the previous procedure is not exactly the same as the original one that makes up the application, since a part of the code is lost during the process to create the .apk file (Godfrey, 2012).

   Now that it is acquired the application code and the data obtained during the information gathering phase, it can be defined whether the application processes the user data, as the case with native and hybrid applications; or whether it only has the necessary views to connect to the server, and that it performs the entire process, as the case with web applications (Owaps.org, n. d.) . In the case of a native or hybrid application, when extracting the. apk file you will find the res folder, this folder contains the views of the application.
6. Data entry: JD-Gui is used for the analysis of the code, while Logcat is used for the analysis of the logs generated by the Android device at the time of using the application. This facilitates code analysis as logs can be displayed as the application is running, so that the code portions of each stage can be identified.

   For data entry, the application is run in parallel with Logcat. It is recommended that each time it is performed a step, such as entering a user name or password, enter the log number so that it can be displayed it later, and thus know which logs belong to which stage.

   For example, for this point the process of an electronic transfer is considered and the logs generated are. As shown in Figure 3, the logs generated show the Direct Transfer Confirmation Activity, and also the word requiresValidation which is later explored with the JD-Gui tool. To be able to successfully develop this point, it is necessary to collect the logs generated only by this particular process (for this example, an electronic transfer), and with that information search for the related code using the JD-Gui tool.

   Now that the information from one of the Activities has been obtained, the words obtained in the previous point are searched in the application's .jar file, opened using the JD-Gui tool. As noted in Code 1, the phrase requiereValidation required has been found, obtained from the logs generated during the electronic transfer. Thanks to this it is found that the application performs validation of the data of the transferee, such as his name.

```
1  04-26 21:15:29.925 I/ActivityManager( 1838): START u0
   {cmp=com.application.application/.DirectTransferConfirmationActivity (has extras)}
   from uid 10063 on display 0
2  04-26 21:15:29.947 D/Volley  ( 3406): [111] BasicNetwork.logSlowRequests: HTTP
   response for request=<[ ] https://sbapp07.application.com/
   application-mobile-services-pfm/xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
   0xe7aa217e NORMAL 10> [lifetime=8084], [size=946], [rc=200], [retryCount=0]
3  04-26 21:15:29.947 D/Response( 3406):
   {"resultadoValidaDestino":"requiereValidacion":true,"mensaje":
```

Figure 3 – Class identified in the logs generated during an electronic transfer

7. Code used for authentication: This section uses the information generated by the application and collected by Logcat to analyze the corresponding code. The authentication phase is the most important as the application must properly handle customer information so that sensitive information is not exposed.

   At this point it must be searched for the code corresponding to the logs generated in the.jar file. Logs are displayed using Logcat while the application is running on the Android virtual appliance. With this it can be identified the methods that are executed and also the keywords that will be searched later by JD-Gui.

```
1  public ValidateDirectTransferParser(JSONObject paramJSONObject)
2    {
3      super(paramJSONObject);
4      try
5      {
6        Object localObject = paramJSONObject.getJSONObject("resultadoValidaDestino");
7        this.a = new DirectTransferSummary(parseProduct(((JSONObject)
         localObject).getJSONObject("producto")));
8        JSONObject localJSONObject =
         paramJSONObject.getJSONObject("tresultadoDatosBeneficiario");
9        paramJSONObject = localJSONObject.getString("nombreBenefeciario");
10       boolean bool = ((JSONObject)localObject).optBoolean("requiereValidacion");
11       this.a.setRequireValidation(bool);
12       if (bool)
```

Code 1 – ValidateDirectTransferParser class and the word found in the logs for an electronic transfer

8. Online/Offline authentication: To analyze this point, it is used the logs generated by the application, while it is running on the virtual appliance. It is required to know if the application connects with any external server to carry out the authentication (online), or if this process is carried out locally (offline).

   In the case of an application that performs the online authentication process, URLs appear in the logs generated by the application to which it connects. As shown in Figure 4, this application makes use of the HTTPS protocol to connect to an external server during execution.

   If the application is authenticated offline, the application does not connect to any URLs to provide access. Figure 5 shows an extract of the logs generated by an application that is authenticated offline, showing that there is no connection to an external server.

```
04-23 20:36:43.412 W/json    ( 2452): https://www.aplicacion.com.ec/detectrd/
image.htm?id=XXXXXXX
04-23 20:33:56.964 W/json    ( 2452): http://www.aplicacion.com/Files/MovilApp/
BancoApp.jpg
```

Figure 4 – Extract of the logs generated by an application that performs online authentication

9. Additional information to the User/Password: Within the authentication process, applications use a username and password, at this point it will be asked to find out if the application uses additional information. For example, there are applications that use a device identifier, coordinates, etc.

```
04-26 22:09:55.926 I/ActivityManager( 1838): START u0 {act=android.intent.action.MAIN
cat=[android.intent.category.LAUNCHER] flg=0x10200000
cmp=com.android.music/.MusicBrowserActivity (has extras)} from uid 10007 on display 0
04-26 22:09:55.927 W/AudioTrack( 1838): AUDIO_OUTPUT_FLAG_FAST denied by client
04-26 22:09:55.972 E/libprocessgroup( 3956): failed to make and chown /acct/uid_10033:
Read-only file system
04-26 22:09:55.978 I/ActivityManager( 1838): Start proc 3956:com.android.music/u0a33
for activity com.android.music/.MusicBrowserActivity
04-26 22:09:56.008 I/ActivityManager( 1838): START u0 {act=android.intent.action.PICK
dat= typ=vnd.android.cursor.dir/artistalbum flg=0x4000000
cmp=com.android.music/.ArtistAlbumBrowserActivity (has extras)} from uid 10033 on
display 0
```

Figure 5 – Extract of the logs generated by an application that performs offline authentication

10. Authentication methods: The purpose of this point is to determine which methods the application uses to allow access. Generally, mobile applications use two authentication methods, to find the corresponding code, the results of point B.7 are scanned in the JD-Gui tool. At this point it should be noted that the JD-GUI search will display results as written in the search box, case sensitive.
11. Blocking: In case of anomalous behavior, for example, if a user enters invalid credentials into the application several times, the application must be blocked. At this point you will find the code that performs this action. To find it, you could enter invalid credentials when you authenticate in the application, and observe the logs generated.
12. Unique authentication: At this point it is checked whether the application performs the authentication process each time it is opened, or whether this process is performed only the first time it is accessed. To determine this, it is used the logs generated by the application when it is opened.

    The applications use several methods that control the behavior of the same one, the method which is relevant for this point is the onResume. This method is the one that is executed when the application is opened. As shown in Figure 6, this application executes this method when the application is opened. Using the JD-Gui tool, the onResume block is searched to find the associated code.

```
04-26 22:44:12.260 I/***     ( 3406): AplicacionActivity onResume
04-26 22:44:12.260 I/***     ( 3406): AplicacionActivity showRestriction
```

Figure 6 – Extract of the logs obtained when opening the application

For instance, the onResume method has been found as shown in Code 2, this method calls the showRestriction method, which calls the Login screen every time the application opens or returns to the foreground. Therefore, this application requires credentials to be entered each time it is opened.

13. Two step authentication: To allow access, a application must maintain an adequate level of security, one of the ways of achieving this is through two-step authentication (Entersekt, 2014).

```
1   public void onResume()
2   {
3     RUMApplicationHook.onActivityResumed(this);
4     showRestriction();
5     HP_WRAP_onResume();
6     ActivityHooks.onActivityResumeEndHook(this);
7   }
8
9   protected boolean showRestriction()
10  {
11
12    showLoginScreen();
13
14  }
```

Code 2 – onResume method and show Restriction Validate Direct Transfer Parser method

During a two-step authentication, in the first phase the user correctly enters his or her credentials in the application, while in the second phase a verification code is sent to the customer's email or cell phone number, this code must be entered in the mobile application to access.

To identify this process, it is necessary to use the initial exploration of the application, carried out during the information gathering phase, and the logs generated by the application. It is useful to search for words such as code, activation, validate, etc. The words identified in the logs are then searched in the application code.

14. Automated static analysis: Finally, at this point, the .apk file of the application to be analyzed is dragged to the MobSF application web interface. MobSF performs automated analysis of Android applications and this results complement the information about the overall state of application security. Once the analysis is complete, the results are presented and can be saved in.pdf format.

    The results obtained are separated into different sections and to export them as a.pdf file, the Download Report option is used and the file is automatically extracted for later analysis.

3.3. Dynamic Analysis

This section is called dynamic because it provides insight into the communication aspects. For each of the tasks which are part of the dynamic analysis, it describes how to use the tools, as well as the recommendations for obtaining the desired information. The tasks for this phase are: Communication protocols used, Existing scripts for vulnerability scanning, Content provider, and Data leakage.

1. Communication protocols used: Since applications communicate with a web server for both authentication and transaction processing, it is necessary to verify that this communication is done using secure protocols. Two Network Connections and OWASP ZAP tools are used for this purpose.
2. Existing scripts for vulnerability scanning: There are scripts that help to perform the scanning process, such as Pidcat; or that provide information about vulnerabilities that the application may contain, such as Manitree.

   For the development of this point, the Pidcat and Manitree scripts have been considered according to what has been suggested in documents such as: How to Avoid Development Errors in Android (Welivesecurity, 2016) or Risk Analysis of Android Based Appliance (Network Intelligence, 2011), since these scripts have proven to be very useful and have obtained successful results.
3. Content provider: Drozer tool is used to develop this point. A content provider, when not properly configured, shares the information it handles, making it accessible to other tools installed on the same Android device. The procedure for testing this point is as follows.

   From the Drozer console, the installed applications are listed with the following command. It uses the name of the application in order to obtain the name of the package, which begins with "com."+ the name of the application.

   >run app.package.list –f aplication_name

   Now that the name of the package is known, the following command is executed to know if there are exported content providers. In addition, the application also shows if there are activities, broadcast receivers, or services that are exported.

   Within the command syntax, the package_name is the one obtained in the previous step.

   >run app.package.attacksurface package_name

   Next, the information about the permissions that the content provider has is gotten with the following command:

   >run app.provider.info -a package_name

   In this way, it is confirmed whether or not the information managed by the content provider is accessible by other applications. For example, if a permission has the value of null, it means that it can be accessed by another application.
4. Data leakage: Finally, the .apk file contains the URIs with which the application communicates and, by means of the Drozer tool, tests are carried out to determine whether or not these addresses can be queried directly. To do this, proceed as follows:

   From the Drozer console, the following command is executed to obtain the URIs with which the application communicates. At the same time, Drozer attempts to consult these addresses and reports the results.

   >run scanner.provider.finduris –a package_name

If accessible URIs are found, the following command is used to obtain the information it contains.

>run app.provider.query uri

Instead, the following command is used to check for SQL Injection vulnerabilities:

>run scanner.provider.injection –a package_name

With this, it is known whether or not the application contains URIs that are vulnerable to this type of attack.

4. Discussion

The protocol was performed on a mobile banking application of Ecuador. A summary of its results is presented below.

4.1. Data Gathering

The protocol defined for the collection of information has given successful results for this mobile application, since it has been possible to identify the transactions they allow to carry out, as well as the permissions they request for their installation. In addition, it was found at the analyzed mobile application important data, such as the name of the company that developed the application, on its certificate.

4.2. Static Analysis

By applying the protocol defined for static analysis, successful results have been obtained for this mobile application. However, for applications that contain most of the server-side process, such as the analyzed application. For this case, it is recommended to browse through the files which are part of the application.

It has been found that the protocol was most useful for applications which log a large part of the information, so that it is possible to identify the code portions associated with authentication processes, transfers, etc. For the analyzed application, the protocol allowed to identify the folder containing the HTML code files for the different processes to be identified. As an alarming problem it has been found that the banking application, contains the image of a check, including personal information such as, names and valid identification numbers, incorporated in the application code. Also, the analyzed application has been signed using the SHA1 algorithm with RSA, which is known to have collision problems.

4.3. Dynamic Analysis

The protocol has proven to be effective for the dynamic analysis of mobile applications, since the results obtained when applied showed that there were security shortcomings, at the analyzed application. It has been successful, mainly for detecting the use of weak protocols, as it has been possible to identify the username and password for the analyzed application in plain text.

5. Conclusions

- Thanks to the selection of specific steps of the methodology of OWASP Mobile Security Project and considering the treats, which affects mobile applications, it's been designed the first version of a testing protocol to verify the security status of mobile applications. The protocol has three phases: data gathering, static analysis and dynamic analysis, which are implemented, using Android Virtual Device Manager, OpenSSL, Dex2Jar, JD-Gui, Logcat, MobSF, OWASP ZAP and Drozer.
- The protocol proposed for the information gathering phase was useful for analyzing the content of the.apk file. The protocol proposed for the static analysis phase has given good results, mainly for applications that perform data processing in the application and not only on the server side. The protocol proposed for the dynamic analysis phase has been successful, mainly for applications that need to authenticate with an external server. For this phase is recommended to use a physical Android device.
- Through the analysis of the chosen mobile application, it's observed that there exists the need of a better control on the developing process of mobile applications, since this application include vulnerabilities such as: customer data included in the source code, and the log of sensitive information. In addition, it's been found that the mobile banking application includes in its source code, personal information of customers at the image of a check, which undermines the privacy of this customer. This highlights the lack of security controls on the developing process. All this can compromise the personal information of the customers.

References

Apache Cordova. (n. d.). Mobile apps with HTML, CSS & JS. *Cordova*. Retrieved from https://cordova.apache.org/

Burns, J. (2009). Mobile Application Security on Android: Context on Android security. BlackHat US. *Isec Partners*. 1–27. Retrieved from http://www.blackhat.com/presentations/bh-usa-09/BURNS/BHUSA09-Burns-AndroidSurgery-PAPER.pdf

CVE. (n. d.). Current CVSS Score Distribution For All Vulnerabilities. CVE Details. Retrieved from https://www.cvedetails.com/

Deitel University of London & Trinity College Dublin. (2012). *Android for programmers: an app-driven approach*. Deitel developer series.

Entersekt (2014). Securing the mobile banking channel. *Entersekt*. Retrieved from https://www-304.ibm.com/partnerworld/gsd/showimage.do?id=40237

Exploit Database. (n. d.). Exploits Database by Offensive Security. *Exploit-db*. Retrieved from https://www.exploit-db.com/

Godfrey, N. (2012). *Decompiling Android*. (M. James, A. Steve, B. Ewan, & C. Corbin, Eds.) (1st ed.). New York: Apress.

Ionic Framework. (n. d.). One codebase. Any platform. *Ionic Framework*. Retrieved February from https://ionicframework.com/

Network Intelligence (2011). Risk Analysis of Android Based Appliance - Checkmate. *Niiconsulting.com*. Retrieved from http://niiconsulting.com/checkmate/2011/11/risk-analysis-of-android-based-appliance/

NVD-Search and Statistics. (n. d.). Search Vulnerability Database. *Nvd.nist.gov*. Retrieved February 28, 2018, from https://nvd.nist.gov/vuln/search

Owaps.org (n. d.). OWASP Mobile Security Testing Guide. *Owasp.org*. Retrieved from https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Mobile_Security_Testing_Guide

Owasp.org. (2016). Mobile Security Project Archive. *Owasp.org*. Retrieved from https://www.owasp.org/index.php/Mobile_Security_Project_Archive#tab=M-Security_Testing

Permissions Overview-Android Developers. (n. d.). Permissions overview. *Developer.android.com*. Retrieved from https://developer.android.com/guide/topics/permissions/overview.html

Quora. (n. d.). How do I know if android app was programmed in a framework such as ionic, cordova or phonegap? *Quora*. Retrieved from https://www.quora.com/How-do-I-know-if-android-app-was-programmed-in-a-framework-such-as-ionic-cordova-or-phonegap

Sublime Text. (n. d.). A sophisticated text editor for code, markup and prose. *Sublime Text*. Retrieved from https://www.sublimetext.com/

US-CERT|United States Computer Emergency Readiness Team. (n. d.). Official website of the Department of Homeland Security. *US-CERT*. Retrieved from https://www.us-cert.gov/

Welivesecurity. (2016). Cómo evitar errores de desarrollo en Android con PidCat. *Welivesecurity*. Retrieved from https://www.welivesecurity.com/la-es/2016/06/28/auditar-aplicaciones-android-pidcat/

Zhauniarovich, Y., Philippov, A., Gadyatskaya, O., Crispo, B., & Massacci, F. (n. d.). Towards Black Box Testing of Android Apps. *Zhauniarovich.com* Retrieved from http://www.zhauniarovich.com/files/pubs/BBoxTester_Zhauniarovich2015.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 19/12/2018
Aceitação/Acceptance: 29/02/2019

Data Harvesting from devices that support the SNMP Protocol: a practical approach

Marjury Díaz[1], Carla Santorum[2], Franklin Sánchez[3], Gabriel López[4]

marjury.diaz@epn.edu.ec, carla.santorum@epn.edu.ec, franklin.sanchez@epn.edu.ec, gabriel.lopez@epn.edu.ec

[1 2,3,4] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

Pages:379–390

Abstract: Currently, data networks generate a large amount of information related to their status and operation. This information is very important in order to improve performance and network security. Most of the well-known solutions for data harvesting use the SYSLOG protocol. However, there are network elements, which do not provide detailed information through this protocol, so it is necessary to propose alternatives, such as SNMP. No related works addressing SNMP based protocol solutions were found. This article presents a practical implementation of data harvesting using the SNMP protocol. The implemented scripts and the results of the data harvesting validation are presented.

***Keywords*:** Harvest; SNMP; Network Management.

1. Introduction

Currently most companies have acquired several tools and computing devices that generate a large number of events known as logs (Niño & Sierra, 2009), which contain information about network status. This information often present management problems, due to the variety of formats; this is why it is important to harvest these data for a possible future analysis, that will allow to detect the abnormal events produced and thus, be able to act and response to any difficulty that may arise (Jarosciak, 2017). One of the most used protocols for the harvesting of logs is SYSLOG (Gerhards, 2009), which allows transporting notification event messages from one device to another through IP networks (Deveriya, 2009).

SYSLOG captures the logs, which record data or information about who, what, when, where and why an event occurs for a particular device or application (BeyondTrust, 2019) (Alonso and Diez, 2016). Despite this, it has been noted that the information that can be collected from some network devices through this protocol, is sometimes limited and cannot have more detail of certain parameters, for this reason it has been analyzed to use another protocol that allows obtaining certain parameters in more detail. In this approach it was found that SNMP protocol is a valid alternative.

The SNMP protocol is known to be a network management protocol, which allows configuration management of network devices from a workstation (Hui-Ping, Shi-De, & Xiang-Yin, 2015). SNMP allows queries to different devices that support this protocol,

by using identifiers of objects called OID, which are a sequence of numbers that are assigned hierarchically and that allows to identify objects in the network.

Since no other work has been found that focuses in detail the use of SNMP protocol, for the capture of data from a wireless controller, this work proposes the use of the SNMP (White, 2009) network management protocol for data harvesting from a Cisco Wireless LAN Controller. This practical application consists on coding a script using the Python language.

As a result of the execution of the script, a text file that contains several parameters of the Wireless Lan Network is obtained, such as: number of users, types of connected devices, among others, that in the future can be used for data analysis. This will allow those in charge of the administration of the network to take corrective actions to improve the service (Hobbs, 2014).

This article is organized as follows: Section 2 presents the methodology that has been used, as well as a brief flow chart. Section 3 contains the implementation of the code made in Python for harvesting data using the SNMP protocol. Section 4 shows the results obtained from the previous section and a brief discussion of them. Finally, Section 5 presents the final comments.

2. Methodology

As mentioned above, this document proposes a mechanism for data collection from a Cisco Wireless LAN Controller, through SNMP. For this purpose, a script was coded in Python programming language version 3.6 (Python, 2016) that supports the SNMP protocol package. This script will be executed periodically to get the most information about various parameters of the wireless network that is used daily.

For the development of the script it is necessary to have the necessary permissions from the network administration, to have enabled the corresponding ports and the community for the use of SNMP.

The script behavior is detailed as follows:

1. The SNMP protocol was used for the harvesting of the wireless controller data, the variables containing the corresponding OIDs were initialized for each wireless parameter that is consulted.
2. Two variables were initialized. The first is the IP address of the wireless controller and the second is the name of the community for the SNMP query.
3. A dictionary was defined containing the instances for successful SNMP queries.
4. The SNMP application generator was enabled, provided by the Python libraries.
5. Nine methods were performed to capture the different parameters of the wireless controller.
6. Two methods of format conversion were coded. The first one for the conversion of string data type to MAC address format and the second one to IP address format.
7. The dictionary type variable called results was established. It contains all the information of the SNMP queries. This is the final result.
8. Finally, all the results information was exported to a text file. This has as name the date and time of the execution of the script.

The flowchart in Figure 1 show the algoritms detailed above.

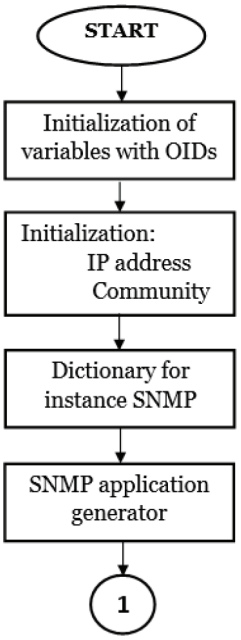


Figure 1 – Flowchart (a)

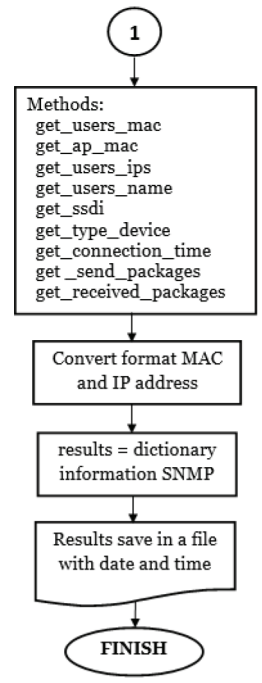


Figure 1 – Flowchart (b)

3. Implementation

For the practical application, the script was developed based on the flow chart in figure 1, for which the SNMP v2c protocol and the Python programming language were used, which allows the use of: dictionaries and high-level data types incorporated as map collections that consist of a key and value.

Next, the most relevant parts of the code made will be explained.

1. PySNMP core implements the concept of "SNMP Applications" defined in SNMPv3 in the pysnmp.entity.rfc3413 package (Sileika, 2014).

   PySNMP comes with a high-level API for the main applications of SNMP and some of the SNMP engine services. This API is known as pysnmp.hlapi. This is observed in Code 1.

```
from pysnmp.entity.rfc3413.oneliner import cmdgen
from pysnmp.hlapi import OctetString
```

Code 1 – SNMP

- The variables corresponding to the following OIDs were initialized: MAC address of the device connecting to the wireless network, assigned IP address, user name, MAC address of the AP to which the user connected, SDDI, device type, time spent connecting, number of packets sent and received by the device. This process is observed in Code 2.

```
cisco_bsnMobileStationMacAddress = '1.3.6.1.4.1.14179.2.1.4.1.1'
cisco_bsnMobileStationIpAddress = '1.3.6.1.4.1.14179.2.1.4.1.2'
cisco_bsnMobileStationUserName = '1.3.6.1.4.1.14179.2.1.4.1.3'
cisco_bsnMobileStationAPMacAddr='1.3.6.1.4.1.14179.2.1.4.1.4'
cisco_cldcClientWlanProfileName='1.3.6.1.4.1.9.9.599.1.3.1.1.3'
cisco_typeDispositivo ='1.3.6.1.4.1.9.9.599.1.3.1.1.44'
cisco_cldcClientUpTime='1.3.6.1.4.1.9.9.599.1.3.1.1.15'
cisco_bsnSystemCurrentTime='1.3.6.1.4.1.14179.2.3.1.10'
cisco_MobileStationPacketsReceived='1.3.6.1.4.1.14179.2.1.6.1.5'
cisco_bsnMobileStationPacketsSent='1.3.6.1.4.1.14179.2.1.6.1.6'
```

Code 2 – OIDs

- Having the necessary permissions to perform the SNMP query, given by the network administrator, two variables were initialized, Code 3:
  - *ip:* contains the ip address of the wireless controller.
  - *community:* contains the name of the community assigned in the wireless controller.

```
ip='IP_ADDRESS_DEVICE'
community='NAME_COMUNITY'
```

Code 3 – Community and ip

- A dictionary type variable was created, it contains the IP address for the SNMP request, where the key will be the word ip and the value will be the ip address. This is observed in Code 4.

```
dic_wlc={ ip:{} }
```

Code 4 – Type of data dictionary

- In Code 5, the *cmdGen* variable was then instantiated. It created the application generator to perform one or more SNMP queries.

```
cmdGen = cmdgen.CommandGenerator()
```

Code 5 – cmdGen

- In Code 6, a method was carried out to obtain each SNMP consultation of the different OIDs, there are nine methods. The three most important are detailed.

  The first method implemented was to obtain the MAC addresses of the user's devices. For this purpose, iterations were performed according to the number of elements contained in the dictionary of results.

  Then, for each iteration, a new SNMP GETNEXT request was sent, checking whether or not an error was generated with the IP address or the community. The parameters used for the GETNEXT request are the following:
  - *authData (CommunityData or UsmUserData)*: instance of class that represents the SNMP credentials, in this case the community defined above was placed.
  - *transportTarget (UdpTransportTarget or Udp6TransportTarget)*: class instance that represents the type of transport along with the IP address of the wireless controller.
  - *varBinds (ObjectType):* one or more class instances that represent OID variables to place in the SNMP request, this parameter in each method will vary depending on which OID you want to consult.
  - *errorIndication (str):* the true value indicates an SNMP motor error.
  - *errorStatus (str):* the true value indicates an SNMP PDU error.
  - *errorIndex (int):* value other than zero refers to varBinds [errorIndex-1].
  - *varBinds (tuple):* a sequence of ObjectType class instances representing OID variables returned in the SNMP response.

  A new data type dictionary called *dic_results* was declared, this contains the information of the SNMP request made in each method.

  It was verified that the GETNEXT request was successful in order to start iterations on each OID variable contained in *varBinds*. Each element of varBinds is composed by a name (name OID) and a value (SNMP request), which were iterated to establish a unique user identifier allowing to collect the

greatest amount of information from the same user, for it the variable *object_id* is established.

The next step was to obtain the information of the SNMP request located in the val variable, in this case, as it is a MAC address, the *mac_convert* method was used, which converts the information string into a format defined for MAC addresses.

To save the MAC address obtained, the dictionary *dic_results* was updated, containing the unique user identifier *object_id*, this will be the key of the dictionary, followed by another dictionary containing the value. This new dictionary has as keys mac, ip, client, mac_ap, SSDI, typeDevice, connectionTime, sentPackages, receivedPackages, building, latitude and longitude, while the values of each key were obtained in each method for SNMP GETNEXT requests.

Finally, the dictionary *dic_results* was obtained, which contains all the information of the SNMP requests of the OID belonging to the mac address of the user's device. All these processes are shown in Code 6.

```
def get_users_mac():
    for wlc,result in dic_wlc.items():
        errorIndication, errorStatus, errorIndex, varBindTable = cmdGen.nextCmd(
        cmdgen.CommunityData(community),
        cmdgen.UdpTransportTarget((wlc, 161)),
        cisco_bsnMobileStationMacAddress)
        dic_results={}
        if errorIndication:
            print("MSG GET_USERS_MAC: "+str(errorIndication))
        else:
            if errorStatus:
                print("MSGGET_USERS_MAC:"+'%s at %s' %
(errorStatus.prettyPrint(),errorIndex and varBindTable[-1][int(errorIndex)-1] or '?'))
             else:
                for varBindTableRow in varBindTable:
                     for name, val in varBindTableRow:
                        object_id = str(name).strip().upper()
                        object_id = object_id[len(cisco_bsnMobileStationMacAddress)+1:]
                        mac = mac_convert(val)
                        dic_results.update({object_id:{"mac:":mac,'ip:':'','client:':
'','mac_ap:':'','SSDI:':'','device:':'','time:':'','packages_sent:':'','packages_rece
ived:':'','building:':'', 'latitude:':'','longitude:':''}})

                return dic_results
```

Code 6 – get users mac Method

- The second method was to obtain the MAC addresses of the Access point to which the user was connected. The difference with the previous method is that with the mac address of the Access point, the building where the device was connected is located by means of geographic coordinates. For this purpose, the mac addresses of the Access points and their location were requested from the administrators of the wireless network. A conditional sentence was used

to compare the mac address obtained through the SNMP query and the mac address given by the administrator to determine the location and geographic coordinates of the connected device. This is shown in Code 7.

```
def get_ap_mac():
…
…
 for varBindTableRow in varBindTable:
                      for name, val in varBindTableRow:
                         object_id = str(name).strip().upper()
                         object_id = object_id[len(cisco_bsnMobileStationAPMacAddr)+1:]
                         mac = mac_convert(val)
                         if object_id in dic_results:
                             dic_results[object_id]['mac_ap:']=mac
                             if mac == 'A0:EC:F9:XX:XX:XX' or mac=='A0:EC:F9:XX:XX:XX':
                                 dic_results[object_id]['building:']= 'building1'
                                 dic_results[object_id]['latitude:']= -0.2098942
                                 dic_results[object_id]['longitude:']= -78.48947
                             elif mac== '50:2F:A8:XX:XX:XX' :
                                 dic_results[object_id]['building:']= 'building2'
                                 dic_results[object_id]['latitude:']= -0.2098942
                                 dic_results[object_id]['longitude:']= -78.48947
                             else:
                                 dic_results[object_id]['building:']='undefined building'
                                 dic_results[object_id]['latitude:']= -0.2098942
                                 dic_results[object_id]['longitude:']= -78.48947
                   return dic_results
```

Code 7 – get ap mac Method

- The third method allowed the IP addresses assigned by the wireless network to each user to be obtained. The implementation of this method is similar to the previous ones, the necessary iterations were carried out to define the unique user identifier and to be able to index the IP address consulted through SNMP in the correct position, so that each user has the information of all the wireless parameters. This is shown in Code 8.

```
def get_users_ips():
    …
    …
    for varBindTableRow in varBindTable:
                         for name, val in varBindTableRow:
                             object_id = str(name).strip().upper()
                             object_id = object_id[len(cisco_bsnMobileStationIpAddress)+1:]
                             ip = ip_convert( val )
                             if object_id in dic_results:
                                 dic_results[object_id]['ip:']=ip
                   return dic_results
```

Code 8 – get users ips Method

- For the implementation of the remaining methods, the same procedure as described above was followed. The Code 9 shows the declaration of the last 6 methods.

```
def get_usersnames():
def get_SSDI():
def get_device():
def get_time():
def get_packages_sent():
def get_packages_received():
```

Code 9 – Declaration of the methods

- In addition, two format conversion methods were created, because when requesting MAC and IP addresses, these were of the string type.

  The first method, *mac_convert () in code 10*, converted the string data type to a suitable format for MAC addresses, for this it receives an input parameter and is encoded with ISO-8859-1.

  The result was then transformed to hexadecimal. A conditional was used to ensure that the length of the hexadecimal is 12.

  Then every 2 hexadecimals a colon (:) was added and finally the mac address was returned in the proper format.

```
def mac_convert( value ):
    value = str(value).encode('iso-8859-1')
    value = hexlify(value)
    if len(value)==12:
        chunks, chunk_size = len(value), int(len(value) / 6)
        mac  =  ":".join([value[i:i + chunk_size].decode("utf-8")  for i in  range(0,
chunks, chunk_size)])
        return mac.upper()
```

Code 10 – mac convert method

The second method converted the IP addresses to a correct format, using the *ip_convert()* method, which receives an input parameter, encoded with ISO-8859-1.

It was then decoded with UTF-8 and transformed to hexadecimal.

Then an instance of the *Octetstring* class was used, which represents the binary data in octet format in hexadecimal notation.

Finally the instance of the *IPv4Address* class was used to return the IP address with the appropriate format. This is shown in Code 11.

```
def ip_convert( value ):
    value = str(value).encode('iso-8859-1')
    value = hexlify(value).decode("utf-8")
    value = OctetString(hexValue=value)
    ip=IPv4Address(value.asOctets())
    if ip:
        return str(ip)
```

Code 11 – ip convert Method

- In Code 12, the information added by the last method was assigned to a dictionary type variable called results, in this case *get_packages_received()*, because it contains the dictionary complete with the information of all users.

```
results=get_packages_received()
```

Code 12 – results

- Finally, the results information was saved in a text file with the name of the date and time of the SNMP query. For this, the function given by Python, *datetime. datetime.now()*, was used to get the current time. This is shown in Code 13.

```
dateTime= str(datetime.datetime.now())
```

Code 13 – time

- Python functions were used, *open* to create and open the file, and *write* to write it. Iterations were made to the dictionary *results* to save each wireless parameter obtained from the SNMP queries made. This is shown in Code 14.

```
with open("/root/home/wireless_controller/files/"+date+"T"+time+".csv", "w") as file:
    for object_id,data in results.items():
         file.write(date)
         for key,value in data.items():
             file.write(",%s" %(value))
         file.write("\n")
```

Code 14 – file

4. Results and Discussion

To verify the correct functioning of the script made in section 3, we proceed to execute it and observe what the result was, for this the following steps were followed:

1. Execution of the script, Code 15:

```
python3.6 clients.py
```

Code 15 – Execution of the script

   Being Clients.py the file that contains the programming code has to be compiled and executed.
2. Automatic creation of the file that will contain the information collected by the execution of the script in step 1. This is shown in Figure 2 and 3.



Figure 2 – result of the successful execution of the script



Figure 3 – Generated text file

3. Once the file is created, it will proceed to verify the information it contains.

   Because we are working with private information, the following Figure 4 shows an example of how the information obtained from the controller would be presented through the Python script. Thanks to the help of the placed filters, it is possible to appreciate the information in an orderly manner.

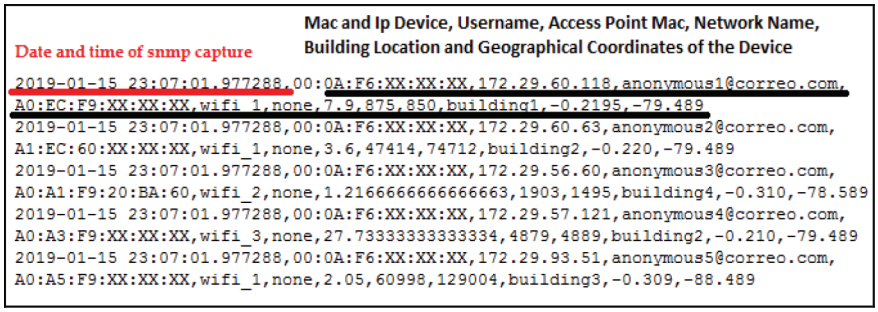


Figure 4 – Information obtained

Figure 4 shows the data obtained in a text file as a result of the execution of the script made in Python.

These results contain information on the following parameters of the wireless network: date and time of the SNMP query, MAC address of the connected device, IP address, user name connected, MAC address of the AP to which you have connected, name of SSDI, time of connection permanence, number of packages received and sent by the user, building where the Access point is located, geographical coordinates (latitude and longitude) of the building; which were obtained through SNMP queries to the wireless controller, in order to have relevant information about the users that connect to the wireless network, to later perform an analysis on these data and take advantage of them, in order that the network administrators have a better perspective of what happens daily with the wireless network and can correct mistakes or improve the system to achieve a quality service.

To ensure that the information obtained when executing the script is true and reliable, it was validated with the information of the proprietary software of the wireless controller.

5. Conclusions

- Thanks to the fact that the wireless controller supports the SNMP protocol, it was possible to carry out the data harvesting by means of said protocol, making use of Python as a programming language, for the elaboration of a script that allows said harvesting.
- Through the successful execution of the script, text files containing information on different wireless parameters related to users using the wireless network were obtained, such as the user name, MAC address and IP of the device, type of device, place and geographical coordinates of the device where the connection was made, number of packets sent and received by the user, time of permanence of connection, IP address of the AP to which he has connected, through different SNMP queries.
- The use of the SNMP protocol was chosen for data harvesting; because it was thought that in the proposed case, where you want to obtain information from the user that connects to the wireless network through Access points controlled by a wireless controller, the information is required in real time, making it easier to make SNMP requests that perform them with Syslog where you would only have a history of events that occurred with a certain level of severity and not all the necessary information.
- Once the data of interest is available, a study of historical data, real-time data and a higher level of Big Data can be carried out.

Acknowledgment: *We thank Dirección de Gestión de Información y Procesos and Centro de Respuesta a Incidentes de Seguridad Informática from Escuela Politécnica Nacional for supporting this project whit infrastructure and data access, required for its development.*

References

Alonso, M. B., and Diez, A. (2016). Gestión de Logs. Logroño: Universidad Internacional de La Rioja. Retrieved from https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/3618/ALONSO-ALEGRE%20DIEZ%2C%20MARIA%20BEGO%C3%91A.pdf?sequence=1

BeyondTrust. (2019). Beyond Trust. Retrieved from Syslog Message. *Beyond Trust*. Retrieved from https://www.beyondtrust.com/docs/remote-support/documents/18-2/rs-syslog-18-2.pdf

Deveriya, A. (2009). *Network Administrators Survival Guide*. Indianápolis: Cisco Press.

Gerhards, R. (2009). Network Working Group. *The Syslog Protocol*. Retrieved from https://tools.ietf.org/html/rfc5424

Hobbs, A. (2014). Social Media and Big Data. *House of Parliament Office of Science and Technology*. Retrieved from http://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-460/POST-PN-460.pdf

Hui-Ping, H., Shi-De, X., & Xiang-Yin, M. (2015). The Open Cybernetics & Systemics Journal. Retrieved from Applying SNMP Technology to Manage the Sensors in Internet of Things: https://pdfs.semanticscholar.org/4d24/f333baf0c8e4df2b4f99241ad9c3b4a90df1.pdf

Jarosciak, J. (2017). Log Management and Big Data Analytics. Retrieved from https://www.joe0.com/2017/02/05/applying-big-data-analytics-to-logging/

Niño, D. C., and Sierra, A. (2009). Guía Metodológica para la Gestión Centralizada de Registro de Eventos de Seguridad en PYMES. Trabajo de Grado. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Sileika, R. (2014). *Pro Python System Administration*. New York: Apress.

Python. (2016). Python 3.6.0. *Python*. Retrieved from https://www.python.org/downloads/release/python-360/

White, T. (2009). Hadoop: The Definitive Guide. Sebastopol: O'Reilly. es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj3vt6j_u_dAhVirlkKHQp0A10Q6AEIRTAE#v=onepage&q=paper%20of%20study%20for%20apache%20hadoop&f=false

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 02/11/2018
Aceitação/Acceptance: 06/01/2019

Integración de energías renovables en sistemas de energía eléctrica convencionales basados en confiabilidad computacional

Myriam Cumbajín[1], Lourdes Ramírez[2], Carlos Gordón[3]

myriamcumbajin@uti.edu.ec, lourdes.ramirez@ciemat.es, cd.gordon@uta.edu.ec

[1] Universidad Tecnológica Indoamérica, 180103, Ambato, Ecuador.

[2] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 28040, Madrid, España.

[3] Universidad Técnica de Ambato, 180104, Ambato, Ecuador.

Pages:391–402

Resumen: Reportamos la exitosa confiabilidad computacional de la integración de energía renovable en sistemas de energía eléctrica convencionales. De acuerdo con los datos de recursos renovables obtenidos de la provincia de Imbabura, en Ecuador, donde hay suficientes recursos renovables para generar energía limpia con tres tipos de tecnología, como energía eólica, energía solar fotovoltaica y energía termoeléctrica. Hemos podido realizar dos estudios de caso fundamentales, para luego calcular los índices de confiabilidad gracias al uso del método Monte Carlo no secuencial mediante la programación en Matlab. Los índices de confiabilidad nos han permitido evaluar la confiabilidad del sistema. Debido al hecho de que cuanto más bajo es el índice de confiabilidad, mayor es la confiabilidad del sistema. Como resultado, el presente trabajo proporciona un método prometedor para aumentar la confiabilidad de los sistemas de energía eléctrica y brindar soporte para la futura integración de las energías renovables.

Palabras-clave: energía eléctrica; método Monte Carlo; índice de confiabilidad; integración de energías renovables; Matlab.

Integration of Renewable Energies in Conventional Power Systems based on Computational Reliability

Abstract: We report the successful computational reliability of integrating renewable energy into conventional electric power systems. According to renewable resources available in the province of Imbabura in Ecuador, where there are sufficient renewable resources to generate clean energy with three types of technology, such as wind energy, photovoltaic solar energy and thermoelectric energy. We have been able to conduct two fundamental case studies, and then calculate reliability indices using the non-sequential Monte Carlo method using Matlab programming. The reliability indices allowed us to evaluate the reliability of the system. Due to the fact that the lower the reliability index, the higher the reliability of the system. As

a result, this paper provides a promising method for increasing the reliability of electric power systems and supporting the future integration of renewable energies.

***Keywords**:* electric power; Monte Carlo method; reliability index; renewable energy integration; Matlab

1. Introducción

Las energías renovables tienen el propósito principal de obtener energía limpiamente, debido al hecho de que este tipo de energía se obtiene de fuentes naturales prácticamente inagotables ("The Importance of Alternative Energies", s.f.). En los últimos años, la IEA (Agencia Internacional de Energía) ha señalado constantemente que la energía renovable ha crecido rápidamente en la última década, especialmente la energía solar y eólica (André, De Castro & Cerdá, s.f.). Luego, la expansión proyectada actual de la energía renovable pretende superar una cuarta parte de la producción total de electricidad global para 2020 ("The most widely used renewable energy sources in the world", s.f.). Las energías renovables en América Latina, aunque ya han dado pasos importantes para su desarrollo, aún se encuentran en una etapa incipiente en términos de la capacidad instalada de tecnologías no convencionales. Pero de acuerdo con el estatuto de la OIE (estrategia interbiética), todo parece indicar que la curva de crecimiento exponencial que hemos visto en otras partes del mundo está a punto de cambiar la pendiente de esta región. Por lo tanto, a mediano plazo, veremos avances significativos y la implementación masiva de tecnologías renovables no convencionales para este grupo de países en América Latina ("The Importance of Alternative Energies", s.f.).

La matriz energética actual en el Estado ecuatoriano se basa básicamente en: fuentes de generación eléctrica de origen fósil con aproximadamente 48.72% y con una contribución del 49.67% de la energía de fuentes renovables, dentro de la cual la energía hidráulica tiene su mayor contribución (47.68%), y el 1,61% corresponde a la interconexión por importaciones ("National Energy Balance", s.f.). Sin embargo, si agregamos las grandes centrales hidroeléctricas, de las que depende más de la mitad del consumo de electricidad de la región, se ubica como líder en energía renovable ("The most widely used renewable energy sources in the world", s.f.). Para lo cual, el gobierno y las administraciones están comenzando a ver la importancia de satisfacer las necesidades energéticas con recursos que no sean fósiles. De modo que, para el futuro, se espera que haga un uso extensivo de energías alternativas: solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica y biomasa ("Ecuadorian Initiative for Electrical Integration of the Andean Region advances with steady steps", s.f.).

Frente a esta realidad, una alternativa es la integración de la energía de los recursos renovables, que es un tipo de energía limpia y también permite satisfacer la creciente demanda. El aumento en la penetración de fuentes renovables en el sistema de energía puede afectar diferentes aspectos como: la confiabilidad del sistema, la calidad de la energía y el funcionamiento de los sistemas de energía. Por lo tanto, se deben desarrollar nuevas técnicas con el objetivo de evaluar el impacto de estos sistemas basados en energías renovables (Ghaedi et al., 2013).

El objetivo del presente trabajo aborda el estudio de la confiabilidad de la generación de electricidad con energías renovables y la integración con las fuentes convencionales en la provincia de Imbabura, en Ecuador. Es importante destacar que los diferentes trabajos,

relacionados con la confiabilidad del funcionamiento de un sistema de energía eléctrica, mencionan que a menudo se usan varios métodos deterministas y probabilísticos (Fayazi, Eghtedari, Abdollahi & Behzadipour, 2012; Ghaedi et al., 2013; Maldonado & Pachari, 2012). En este trabajo, hemos aplicado el enfoque de simulación Monte Carlo no secuencial. Además, un sistema eléctrico moderno es complejo, altamente integrado y muy grande. Afortunadamente, se puede dividir en subsistemas o áreas funcionales que son: generación, transmisión y distribución, las mismas que se pueden analizar por separado (Maldonado & Pachari, 2012; Zapata & Campos, 2005). Así, el presente trabajo se centra en el subsistema de generación. Este es un aspecto importante en la planificación de la capacidad futura del sistema de expansión, para garantizar suficiente capacidad viable para satisfacer la demanda en cualquier momento. Para poder medir la confiabilidad del funcionamiento de un sistema de energía eléctrica, se obtiene calculando los diferentes índices de confiabilidad. Estos son: LOLE (pérdida de la expectativa de carga), EDNS (energía demandada no suministrada), LOLP (pérdida de la probabilidad de carga) y LOEE (pérdida de la expectativa de energía). Como se han utilizado en trabajos relacionados con la confiabilidad de la generación de energía eléctrica (Billington, Ringlee & Wood, 1973; Fayazi, Eghtedari, Abdollahi & Behzadipour, 2012; Ghaedi et al., 2013; Maldonado & Pachari, 2012; Zapata & Campos, 2005).

Además, el presente trabajo analiza la variación de la confiabilidad del sistema de energía eléctrica a medida que agrega la generación eléctrica a partir de fuentes renovables de tres tipos de tecnología (eólica, fotovoltaica y solar térmica) al sistema de generación de electricidad ecuatoriano. Las centrales de energía renovable están ubicadas en la provincia de Imbabura, en la parte norte de Ecuador. La importancia de este trabajo radica en el hecho de que permite aplicar de manera socialmente responsable el aumento de la participación de las energías renovables asegurando la generación de electricidad sostenible a largo plazo. Además, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono se logrará resolviendo muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático. Además, ofrecerá oportunidades de empleo en áreas rurales y urbanas, promoviendo el desarrollo de tecnologías locales. Finalmente, el principal objetivo de este trabajo es estudiar el sistema de generación de electricidad ecuatoriano, para hacerlo más robusto, más confiable y más seguro, capaz de satisfacer la creciente demanda en cualquier momento.

2. Metodología de evaluación

La presente investigación se ha realizado considerando el siguiente proceso. Primero, ubicar el área de estudio. Segundo, determinar el recurso renovable disponible. Tercero, identificar la fuente convencional disponible. Cuarto, hacer el estudio de la demanda. Quinto, emplear el método Monte Carlo para establecer los índices de fiabilidad; y por último, realizar el análisis de los resultados.

2.1. Localización del área de estudio

El primer paso del estudio es la ubicación de un área específica, que corresponde a la provincia de Imbabura, en Ecuador, debido a la alta disponibilidad de recursos eólicos y solares renovables en esta área. El área de estudio está situada en la región intertropical (zona tórrida), en el noroeste de América del Sur entre los meridianos 75 ° 11'E y 81 °

02 'E y entre los paralelos 1 ° 21' N y 5 ° S. La Figura 1 muestra el mapa de ecuador. En el recuadro se representa la ubicación geográfica del área específica en el continente de América del Sur.

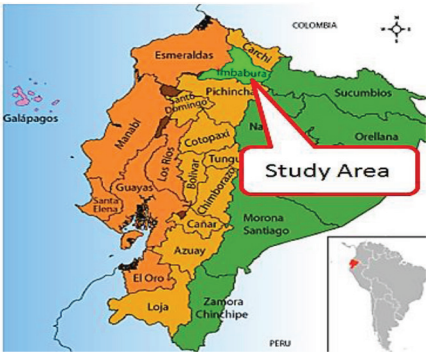


Figura 1 – Mapa de Ecuador en América del Sur

En Ecuador, la provincia de Imbabura ha sido identificada como una de las provincias con mayor capacidad para la generación de energía eólica y solar, según las campañas de encuestas de viento en la provincia de Imbabura, llevadas a cabo por la empresa española "Barlovento Natural Resources". Esta compañía ha concluido que Ecuador tiene características peculiares de viento con alto potencial eólico, las altas velocidades promedio del viento lo hacen lo suficientemente grande como para el desarrollo de parques eólicos, con factores de plantas por encima del 40%. Como resultado, se podrían implementar nuevos parques eólicos (Fayazi, Eghtedari, Abdollahi & Behzadipour, 2012). Del mismo modo, según los datos proporcionados por la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA).

2.2. Características de la energía renovable

Es importante identificar el escenario total de la ubicación de las estaciones de energía renovable según el recurso disponible en la zona. De acuerdo con la disponibilidad de recursos renovables en el área de estudio, se identifica que existe una gran cantidad de recursos eólicos y de radiación solar. Por eso, se ha propuesto realizar el estudio de la confiabilidad de la generación eléctrica con tres tipos de tecnologías que son: eólica, solar fotovoltaica y termoeléctrica solar.

El estudio del parque eólico se ha llevado a cabo en la parroquia de Salinas, cantón Ibarra, en la provincia de Imbabura-Ecuador. Las coordenadas del lugar seleccionado son: latitud: 0 ° 29'44,85 "N, longitud: 78 ° 07'59.24" O, elevación: 1733 msnm. El estudio de la central solar fotovoltaica se llevó a cabo en la parroquia de Paragachi, en el cantón de Pimampiro, en la provincia de Imbabura-Ecuador. Las coordenadas del lugar seleccionado son las siguientes: latitud: 0 ° 23'56,31 "N, longitud: 77°56'36,57" W, elevación: 2902 msnm. Luego, la central termoeléctrica de energía solar se ubicó en la parroquia de Tambabiro en el cantón de Ibarra en la provincia de Imbabura-Ecuador. Las coordenadas del lugar seleccionado son las siguientes: latitud: 0 ° 25'5,33 "N, longitud: 78 ° 8'0,46" W, elevación: 557 msnm.

La Figura 2 muestra el escenario de las tres plantas de energía renovable (eólica, fotovoltaica y solar térmica). Así, la planta de energía eólica está ubicada en la parroquia de Salinas, la planta de energía fotovoltaica está ubicada en la parroquia de Paragachi, y la planta de energía solar térmica está ubicada en la parroquia de Tambabiro, en la provincia de Imbabura - Ecuador.

Teniendo en cuenta los avances tecnológicos actuales, los sistemas de suministro de electricidad están en condiciones de integrar cada vez más otras fuentes de energía renovable, como la eólica y la solar. Como ya se mencionó, la penetración de nuevas fuentes de electricidad crea impactos técnicos en el sistema de generación eléctrica ("Renewable Energies", s.f.). Para eso, es conveniente resolver los problemas de tal integración en la red manteniendo la rentabilidad y confiabilidad del sistema.

Para el análisis de los índices de confiabilidad, se requieren los siguientes parámetros del recurso renovable disponible en el área de estudio. Así tenemos:

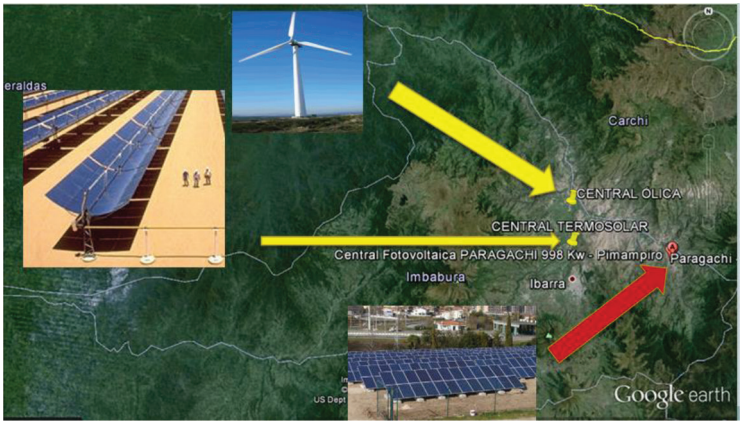


Figura 2 – Ubicación de las tres plantas de energía renovable

Datos del recurso eólico:

- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.
- Presión.
- Humedad relativa

Datos del recurso solar fotovoltaico:

- Radiación global
- Temperatura

Datos del recurso térmico solar:

- Radiación directa

Los datos de recursos eólicos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (s.f.), de Ecuador. Mientras, los datos de recursos solares fueron proporcionados por la empresa SolarGis, a través de una solicitud realizada

por el CIEMAT (Centro de Investigación de Energía, Medio Ambiente y Tecnología) en Madrid-España. Es necesario mencionar que el trabajo para obtener los datos de recursos renovables ha sido muy arduo debido a que los Institutos nos dieron datos sin tratamiento. Por lo tanto, fue necesario realizar el proceso y la depuración, lo que ha significado una tarea muy laboriosa. Pero finalmente, ha sido muy productivo realizar el tratamiento de los datos desde cero, para tener un mejor criterio de gestión de datos.

La frecuencia temporal de los datos utilizados en el presente trabajo es el perfil de carga por hora de un año completo, desde el 01 de enero hasta el 31 de diciembre de 2016. Luego, procedemos a simular la generación eléctrica utilizando herramientas informáticas como: la simulación, el *software* HOMER -Optimización Híbrida de Recursos Múltiples, por su traducción al español- ("HOMER-Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software", s.f.) se utiliza para establecer de manera coherente la producción de energía de los recursos eólicos y la producción de energía a partir de recursos fotovoltaicos. Y, el *software* de simulación SAM (Modelo de Asesor del Sistema) se utiliza para determinar la producción de energía en el recurso solar termoeléctrico ("System Advisor Model [SAM]", s.f.).

2.3. Fuente convencional

La generación de electricidad convencional en el estado ecuatoriano para 2016 se basa principalmente en fuentes de energía fósil (petróleo), que actualmente representan el 90% de la producción total de energía primaria. Las fuentes de energía secundarias para la generación de electricidad en Ecuador son principalmente diesel y *fuel oil* (búnker c), especialmente este último.

Las plantas para generar energía eléctrica convencional se agrupan en:

- Motores de combustión interna.
- Motores diésel de alta velocidad.
- Turbinas de gas.
- Turbinas de vapor.
- Ciclo combinado, que combina turbina de vapor y turbogas para aumentar la eficiencia aprovechando el ciclo de calor.

Conexiones Nacionales			
Nombre	**Central**	**Potencia nominal MW**	**Potencia efectiva MW**
Ambi	Hidroeléctrica	4	4
La Playa	Hidroeléctrica	0,44	0,44
San Gabriel	Hidroeléctrica	0,23	0,2
San Miguel	Hidroeléctrica	2,95	2,95
San Francisco	Térmica	2,5	1,8
Conexiones Internacionales			
Colombia - Ibarra	Hidroeléctrica	215	215
Ipiales - Ibarra	Hidroeléctrica	25	25

Tabla 1 – Fuentes convencionales

Según los datos proporcionados por el INAMHI, en el área de estudio, hay ocho plantas de generación convencionales proporcionadas por la compañía eléctrica llamada el norte. Asimismo, se puede afirmar que, en la provincia de Imbabura, existen 2 interconexiones internacionales con el país vecino, Colombia. La Tabla 1 esboza la fuente convencional disponible en el Ecuador, que es utilizada en el presente trabajo.

2.4. Demanda

Las tasas de crecimiento de la energía y la demanda de energía del sistema nacional interconectado, registradas para el período enero 2016-diciembre 2016, en comparación con el período anterior (enero 2015-diciembre 2015), en los terminales de generadores, presentaron un crecimiento promedio de 5.94% para la energía y 4.91% para energía como se muestra en la Tabla 2.

Año 2016		
Variable	**Demanda**	**Crecimiento (%)**
Potencia (MW)	3.207	5.94
Energía (GWh)	19.593	4.91

Tabla 2 – Potencia y demanda energética

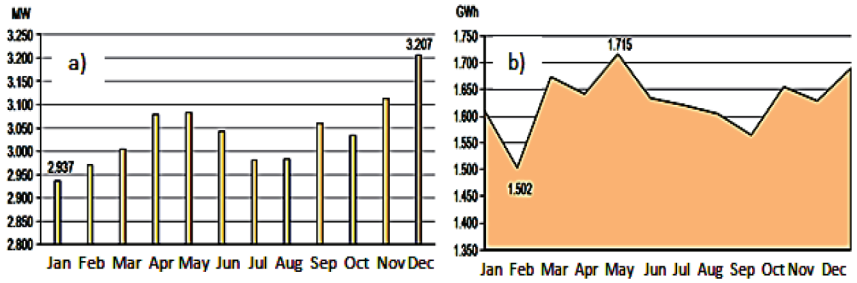


Figura 3 – a) Demanda de potencia; y (b) demanda de energía. Para el año 2016

2.5. Método Monte Carlo

Cualquier simulación estocástica basada en la generación de números aleatorios se llama simulación Monte Carlo (Losilla, 1994). En los métodos Monte Carlo, los objetos de la investigación son eventos aleatorios o pseudoaleatorios (Imbarack, 2006). El método Monte Carlo se usa no solo para resolver problemas estocásticos, sino también problemas probabilísticos en nuestro caso, el comportamiento aleatorio del sistema. La simulación Monte Carlo consiste en repetir, a través de métodos computacionales, el funcionamiento de los sistemas considerando sus aspectos aleatorios. Dada su naturaleza estocástica, la simulación Monte Carlo no cumple con los niveles de precisión de las técnicas analíticas en sus resultados, sino que solo proporciona estimaciones de los resultados exactos (Billinton & Bagen, 2006).

Los métodos Monte Carlo se clasifican en dos tipos:

- Método Monte Carlo no secuencial.
- Método Monte Carlo secuencial.

En el marco de este trabajo, hemos elegido el método no secuencial Monte Carlo debido a que queremos evitar la dependencia cronológica para reducir la complejidad.

2.6. Cálculo de los índices de fiabilidad

El estudio de confiabilidad del sistema de potencia se realizó mediante el método no secuencial Monte Carlo mediante programación en Matlab ("Products and Services-MATLAB & Simulink," s.f.). Para lo cual, se obtienen los siguientes parámetros:

- Falta de disponibilidad (FU).
- Tiempo medio hasta el fracaso (MTTF).
- Tiempo medio de reparación (MTTR).
- El número promedio de fallas por año (λ).
- Número promedio de reparaciones por año (μ).

Además, los parámetros que son necesarios para identificar, que son 8 plantas convencionales, 2 interconexiones y 3 centrales renovables. Para el método Monte Carlo no secuencial, se analizan una gran cantidad de escenarios, lo que lo convierte en un método más realista. Para este estudio, los índices que se deben tener en cuenta para determinar la confiabilidad del sistema eléctrico son: LOLE, EDNS, LOLP y LOEE.

Los pasos necesarios para determinar la confiabilidad de la integración de energías renovables en los sistemas de energía eléctrica convencionales son:

1. Conocer los componentes de la generación, su potencia disponible, su tasa de fallos y sus períodos de mantenimiento preventivo. Tendrá en cuenta los tipos de plantas que conforman el grupo generador del sistema eléctrico en estudio.
2. Para definir los posibles estados de cada componente de la generación, para nuestro caso son: (0) si no está disponible, y (1) si está disponible. Entonces, para cada grupo generador, se analizan dos estados posibles. Si "n" es el número de generadores, el número de estados posibles del sistema de generación será 2n.
3. Conocer la curva temporal de la demanda esperada.
4. Analizar los posibles estados de pérdida de carga y determinar si en cada caso se cubre o no el pico de demanda.
5. Calcular los índices de fiabilidad mencionados anteriormente.
6. Analizar los resultados, determinando si el LOLE está dentro del límite de confiabilidad. LOLE considera que un sistema eléctrico es confiable si la demanda no está cubierta a lo sumo, 1 día en 10 años.

El método de simulación Monte Carlo estima los índices de confiabilidad, simulando el proceso actual y el comportamiento aleatorio del sistema, tratando el problema como una serie de experimentos. Para la investigación, se ha establecido un número máximo de iteraciones igual a 8 000 y un límite de margen de error con un valor máximo del 5%. Después de varias verificaciones con diferentes valores de repeticiones, se elige 8 000 como número máximo, ya que, con ese valor, nos aseguramos de que la convergencia sea confiable y estamos satisfechos de que el error estará por debajo del valor establecido.

3. Resultados

Los índices de confiabilidad LOLE, EDNS, LOLP y LOEE son los parámetros determinantes que permiten establecer que un sistema de energía convencional con penetración de energía renovable es fiable solo con el mero hecho de tomar una tendencia de aumento o reducción.

Para el estudio de los índices de confiabilidad del sistema eléctrico, se han realizado dos casos de estudio:

- Caso 1: 100% convencional
- Caso 2: 100% convencional y 100% renovable.

La Figura 4 (a), (b), (c) y (d) muestra las simulaciones de los índices de confiabilidad LOLE, EDNS, LOLP y LOEE, respectivamente. Los índices muestran la confiabilidad del sistema eléctrico, cuando la generación es 100% producida a partir de plantas convencionales, sin inyección de recurso renovable.

También registramos la Figura 5 (a), (b), (c) y (d) que muestran los índices de confiabilidad LOLE, EDNS, LOLP y LOEE, respectivamente. Los índices muestran la confiabilidad del sistema de energía cuando la generación es 100%, producida a partir de plantas de energía convencionales, ya con inyección de energía renovable en este caso energía eólica, energía solar fotovoltaica y energía termoeléctrica.

Se puede observar que, con el apoyo de energías renovables en el sistema eléctrico existente, principalmente el LOLE disminuye y la confiabilidad del sistema eléctrico aumenta considerablemente. Como resultado, la confiabilidad del sistema de energía

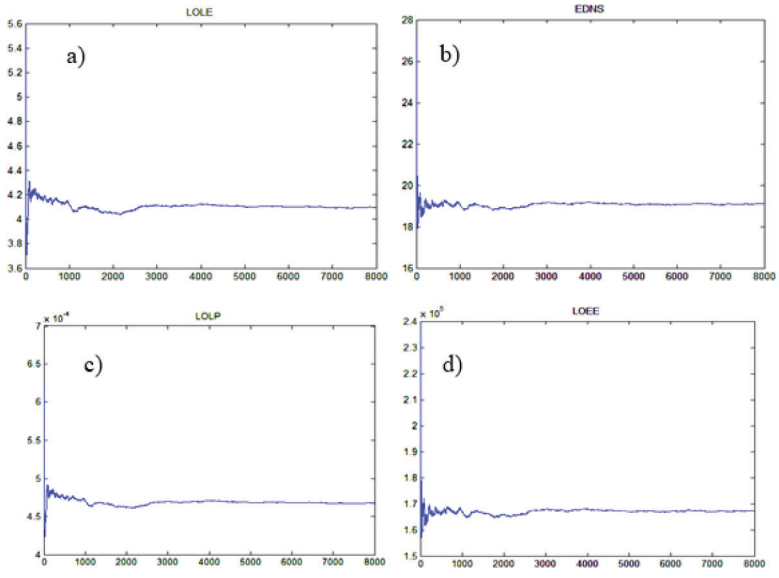


Figura 4 – Simulación del índice de fiabilidad. Caso 1: 100% convencional (a) LOLE, (b) EDNS, (c) LOLP, (d) LOEE

aumenta significativamente cuando inyectamos la generación del recurso renovable en el sistema de generación convencional.

La Tabla 3, muestra los resultados obtenidos de las simulaciones que corresponden a los valores de convergencia de los índices de confiabilidad estudiados. En el estudio de caso 1, se puede observar que las centrales eléctricas convencionales en el área de estudio son confiables debido a la interconexión internacional con Colombia, lo que proporciona un valor de LOLE de 40964 (horas/año). luego, según el estudio de caso 2, dado que el índice de confiabilidad disminuye considerablemente al aumentar la generación renovable al sistema de generación de energía, se puede decir que el sistema es confiable porque se ha obtenido un valor de LOLE 1,22 (horas/año). Si bien es cierto, todos los índices de fiabilidad son determinantes, pero LOLE es un valor numérico que tiene muchísimo significado, solo por el hecho de reducir el valor numérico se puede estimar que la fiabilidad se ha incrementado. Pero, si se desea realizar un aporte más minucioso, con alta penetración de energías renovables considerando los índices de confiabilidad LOLE, EDNS, LOLP y LOEE, es necesario utilizar estrategias de aprendizaje automático en lo general, e incluso técnicas de aprendizaje profundando en lo particular.

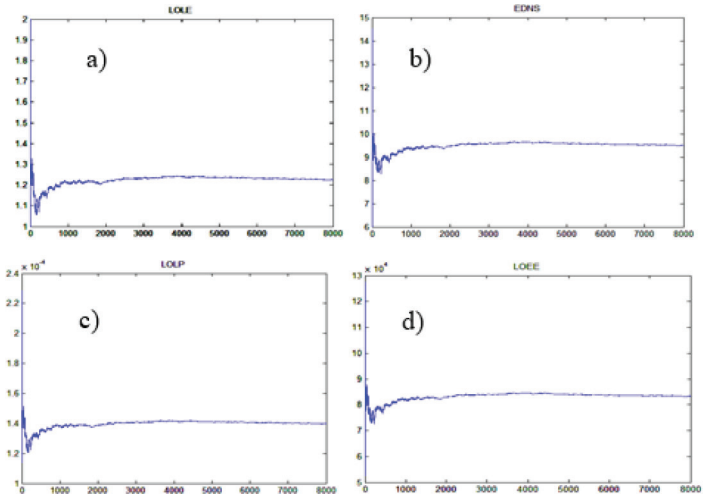


Figura 5 – Simulación del índice de fiabilidad. Caso 2: 100% convencional y 100% renovable. (a) LOLE, (b) EDNS, (c) LOLP, (d) LOEE

Conexiones Nacionales				
Casos \ Índices	**LOLE (h/y)**	**EDNS**	**LOLP**	**LOE (MWh/y)**
100% Convencional	4,0964	19,0984	4,6762 e-04	1,6703 e-05
100% Convencional + 100% Renovable	1,2246	9,4978	1,3980 e-04	8,3201 e-04

Tabla 3 – Índices de fiabilidad

4. Conclusiones

En resumen, de acuerdo con los datos de recursos obtenidos de la provincia de Imbabura, en Ecuador, se concluye que hay recursos renovables suficientes para generar energía limpia con los tres tipos de tecnología, como energía eólica, energía solar fotovoltaica y energía termoeléctrica. Se ha podido realizar dos estudios de caso fundamentales, que son: el caso 1 (100% de generación convencional), y el caso 2 (100% convencional + 100% de generación renovable). Es importante recalcar que, si se desea realizar un aporte más minucioso, con alta penetración de energías renovables considerando los índices de confiabilidad LOLE, EDNS, LOLP y LOEE, es necesario utilizar estrategias de aprendizaje automático en lo general, e incluso técnicas de aprendizaje profundando en lo particular. Por lo que, el presente trabajo da a conocer que es posible estimar la fiabilidad en base a un criterio numérico, pero no es una solución óptima ya que ello demanda mayores estudios que actualmente se resuelve con técnicas de visión artificial, que nuestro grupo de investigación plantea llevarlo a cabo en investigaciones futuras.

Agradecimientos: *Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Indoamérica y a la Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y la Comunicación por su incansable apoyo en la realización de este trabajo de investigación.*

Referencias

André, F., De Castro, L., & Cerdá, E. (s.f.). *Renewable energies in the International Sphere*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Billington, R., Ringlee, R., & Wood, A. (1973). *Power system reliability calculations*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

Billinton, R., & Bagen. (2006). Reliability Considerations in the Utilization of Wind Energy, Solar Energy and Energy Storage in Electric Power Systems. In *2006 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems* (pp. 1–6). Stockholm, Sweden: IEEE. DOI: 10.1109/PMAPS.2006.360204

Ecuadorian Initiative for Electrical Integration of the Andean Region advances with steady steps. (s.f.). *Ministerio de Energía*. Recuperado de http://www.conocimiento.gob.ec/la-energia-renovable-is-an-account-in-the-academy/

Fayazi, H., Eghtedari, M., Abdollahi, M., & Behzadipour, E. (2012). Calculation of generation system reliability index: Loss of Load Probability. (s.f.). *Life Science Journal, 9*(4), 4903-4908. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/281590843 _Calculation_of_generation_system_reliability_index_Loss_of_Load_Probability

Ghaedi, A., Abbaspour, A., Fotuhi-Firuzabad, M., Moeini-Aghtaie, M., & Othman, M. (2013). Reliability evaluation of a composite power system containing wind and solar generation. In *2013 IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)* (pp. 483–488). Langkawi Island, Malaysia: IEEE. DOI: 10.1109/PEOCO.2013.6564597

HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software. (s.f.). *Homer Energy*. Recuperado de https://www.homerenergy.com/

Imbarack, F. (2006). Elaboration of a Computational Tool for the Evaluation of the Reliability of Electric Transmission Systems. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, con Diploma en Ingeniería Eléctrica. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (s.f.). *Inamhi*. Recuperado de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/

Losilla, J. (1994). Tools for a statistical laboratory based on Monte Carlo techniques. Tesis. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.

Maldonado, M., & Pachari, J. (2012). Evaluation of Reliability Indices of Generation Systems. *Universidad de Cuenca*. Recuperado de dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/711/1/te305.pdf

National Energy Balance. (s.f.). *Subsecretaría de Regulación Eléctrica*. Recuperado de http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional

Products and Services-MATLAB & Simulink. (s.f.). *Math Works*. Recuperado de https://www.mathworks.com/products.html

System Advisor Model (SAM). (s.f.). *SAM*. Recuperado de https://sam.nrel.gov/

The Importance of Alternative Energies. (s.f.). *Interbioestrategia*. http://www.interbioestrategia.com/ new/index.php/educacion/89-la-importancia-de-las-energias-alternativas

The most widely used renewable energy sources in the world. (s.f.). *Fieras de la ingeniería*. Recuperado de http://www.fierasdelaingenieria.com/las-fuentes-de-energia-renovables-more-used-of-world

Renewable Energies. (s.f.). *Ministerio de Energía Renovable*. Recuperado de https://www.energias-renovables.com/articulo/ecuador-has-placements-with-an-potential-eolico-20130509-1

Zapata, C., & Campos, E. (2005). Reliability evaluation of generation systems with limited energy resources using Monte Carlo simulation. *Scientia et Technica, 29*.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/12/2018
Aceitação/Acceptance: 10/02/2019

Semáforos inteligentes y tráfico vehicular: un caso de estudio comparativo para reducir atascos y emisiones contaminantes

Víctor Samaniego-Calle[1], Marlon Santiago Viñán-Ludeña[2], Wilson Jaramillo-Sangurima[3], Luis Jácome-Galarza[4], Javier Sinche-Freire[5]

vmsamaniegoc@unl.edu.ec, marlon.vinan@unl.edu.ec, wijaramillosa@uide.edu.ec, lrjacome@unl.edu.ec, javier.sinche@unl.edu.ec

[1,2,4,5] Universidad Nacional de Loja, 110111, Loja, Ecuador.

[3] Universidad Internacional del Ecuador, 110101, Loja, Ecuador.

Pages:403–414

Resumen: El objetivo de este trabajo es analizar el tráfico vehicular a través de semáforos; comparando la estrategia semafórica actual de la ciudad de Loja (Ecuador) y el uso de semáforos inteligentes, usando simulación. Para ello, se aplicó la microsimulación en la zona céntrica de la ciudad, debido a la alta congestión vehicular, y la macrosimulación que abarca toda la red vial. Para la construcción de los escenarios de simulación, se recolectó datos de semáforos utilizados por el municipio, de tal forma que se pueda analizar la estructura semafórica actual y la propuesta. Los resultados mostraron que, con la microsimulación -en el centro de la ciudad- esta propuesta permite una reducción media en la contaminación por ruido de 1,46%; CO2 de 13,72%; CO de 16,09%; PMx de 15,61%; HC de 14,21%; NOx de 14,58%, y el número de vehículos en 11,75; mientras que, con la macrosimulación la situación no varía.

Palabras-clave: Microsimulación; Macrosimulación; Semáforos Inteligentes; Ingeniería de tráfico.

Smart traffic lights and vehicular traffic: A comparative case study to reduce traffic jams and contaminants

Abstract: The objective of this work is to analyze vehicular traffic through traffic lights; comparing the current traffic light strategy of the city of Loja (Ecuador) and the use of intelligent traffic lights, using simulation. For this, microsimulation was applied in the downtown area of the city, due to the high traffic congestion, and the macrosimulation that covers the entire road network. For the construction of the simulation scenarios, semaphore data used by the municipality was collected, in such a way that the current traffic light structure and the proposal can be analyzed. The results showed that, with microsimulation -in the center of the city- this proposal allows an average reduction in noise pollution of 1,46%; CO2 of 13,72%;

CO of 16,09%; PMx of 15,61%; HC of 14,21%; NOx of 14,58%, and the number of vehicles at 11,75; whereas, with macrosimulation, the situation does not change.

***Keywords**:* Microsimulation; macrosimulation; smart traffic light; traffic engineering.

1. Introducción

En todos los países del mundo, el uso de vehículos es imprescindible; esto ha logrado mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, ya sea para movilización o transporte de productos o materias primas. Esto ha permitido que los vehículos se hayan popularizado, incrementando su demanda y disminuyendo su valor adquisitivo.

Las mejoras en los diseños urbanos, las modificaciones en la infraestructura de la red vial y la creciente demanda de obtener un vehículo por ciudadano para trasladarse a diferentes destinos generan problemas como la congestión vehicular; este problema está presente en la mayoría de la ciudades, afectando a los habitantes de las urbes en diferentes aspectos, tales como: mayor contaminación acústica y atmosférica, impacto negativo sobre la salud mental, estrés, etc. (Bull & Thomson, 2002). Otro de los problemas que genera la congestión vehicular es el alto consumo de combustible, por lo tanto; una de las estrategias que ayudan a solventar cada uno de estos problemas es el uso de semáforos inteligentes.

Existe una propuesta para Ciudad del Este (Uruguay), en la cual se presentan estrategias de control semafórica que resuelven considerablemente la congestión vehicular, los autores realizan un proceso de simulación de un área altamente transitada; posteriormente se compara el tiempo de espera, demora, velocidades y flujos, demostrando que la utilización de semáforos inteligentes descongestiona la circulación vehicular. (Franco, 2014). Otro estudio muy similar realizado en Medellín (Colombia), modela un sistema de semáforos y se simulan, probando diferentes distribuciones en los tiempos de los semáforos, mejorando el comportamiento real y generando nuevas políticas para el control de tráfico en la ciudad, de acuerdo con el número de vehículos (Sánchez y Villa Garzón, 2009). La creciente cantidad de automóviles comúnmente excede la capacidad de las carreteras, la ineficiencia en el transporte publico y los sistemas de semáforos que no se adaptan de forma dinámica de acuerdo con el entorno, contribuyen a la crisis del tráfico. Una de las soluciones a este problema es un sistema que se adapte a las variaciones del tráfico de forma dinámica. En el Líbano, se implementó un sistema de semáforos adaptativos que utiliza el aprendizaje por refuerzo; para probarlo se utilizó una herramienta de simulación de software mostrando reducciones tiempo de espera, sin embargo, no se tomó en cuenta aspectos medioambientales. (Natafgi, Osman, Haidar & Hamandi, 2018). Otro de los trabajos basados en simulación, consiste en un algoritmo basado en prioridades para el control de tráfico en las intersecciones, usando la comunicación entre vehículos (vehicle-to-vechicle), este sistema, deja pasar al vehículo con la mayor prioridad. El algoritmo muestra que existe una disminución importante en el tiempo de espera (Ameddah, Das & Almhana, 2018). Hoy en día, se genera una gran cantidad de datos provenientes de diferentes fuentes -sensores, aplicaciones, redes sociales, etc.-; con la ayuda de la inteligencia artificial es posible procesar gran cantidad de datos generados desde muchos dispositivos o sensores y manejar problemas complejos en infraestructuras sociales como es el caso de las redes viales. Los sistemas inteligentes actuales usan información de

toda la infraestructura vial - sensores, cámaras para el control de velocidad, semáforos, datos de ciclo vías, datos de redes sociales- para que, en conjunto, se pueda mejorar la circulación vehicular. Las ciudades denominadas *Smart Cities* son quienes están usando este tipo de sistemas multiagentes y en general, usan la inteligencia artificial para el manejo y control de los semáforos y toda la infraestructura vial.

Se puede definir al concepto de *Smart City* como una conexión orgánica entre los componentes tecnológicos, humanos e institucionales, por lo tanto; una ciudad inteligente requiere de una comprensión integral de las complejidades e interconexiones entre los factores sociales y técnicos de los servicios y entornos físicos de la ciudad, teniendo en cuenta la eficiencia y un desarrollo urbano basado en la sostenibilidad (Nam y Pardo, 2011). Toda ciudad que implemente el concepto de *Smart City* debe implementar los semáforos inteligentes que permita aliviar la congestión vehicular.

Smart Street es uno de los proyectos cuyo objetivo es comparar los ahorros de energía del sistema actual con el sistema propuesto en base a una regulación predefinida; la simulación permite constatar la reducción de costos de energía (Petritoli, Leccese, Pizzuti & Pieroni, 2019). Existe un proyecto realizado en Alemania, en éste, se presenta el enfoque de implementar una infraestructura inteligente distribuida capaz de manejar los estados de los semáforos, las topologías de las carreteras y, especialmente, la información sobre los participantes del tráfico observados localmente, además; los datos se proporcionan en línea a través de la comunicación Vehículo a X -un canal de comunicación entre el vehículo y el sistema-, así como; fuera de línea con un análisis de alta precisión y aplicación de técnicas de aprendizaje automático; la información se captó usando cámaras. Sin embargo, este enfoque no se basa en simulación de semáforos inteligentes, sino en una infraestructura inteligente para vehículos autónomos (Fleck et al., 2019).

Otro enfoque usa la combinación de inteligencia artificial y el internet de las cosas para el control de semáforos, esto permite mejorar el sistema vial de una ciudad; esto permite superar las soluciones existentes en términos de longitud de cola de vehículos y peatones, tiempo de espera en las intersecciones, reduce las emisiones y el consumo de combustible (Liu, Liu & Chen, 2017).

Otro trabajo se basa en el uso de la lógica difusa, capaz de gestionar dinámicamente las fases de los semáforos en los cruces peatonales señalizados, ofreciendo la posibilidad de cambiar las fases del semáforo teniendo en cuenta la hora del día y el número de peatones a punto de cruzar la calle (Pau et al., 2018).

Existe un trabajo que se ha realizado en la ciudad de Arequipa (Perú), para solventar la congestión del tráfico vehicular; siendo su principal objetivo, el identificar si los semáforos inteligentes pueden hacer alguna diferencia en la velocidad promedio de los vehículos; los resultados indican que su propuesta tiene un pequeño efecto positivo. (Ali, Meneses, Torres, Espinoza y Flores, 2018). Por último, en Jácome et al., (2018) se hace una revisión de los trabajos relacionados con semáforos inteligentes, en el cual, se obtienen los algoritmos más usados en el control de tráfico vehicular basados en inteligencia artificial, siendo la visión artificial, la tecnología más importante y más prometedora en este ámbito.

El presente trabajo se basa en el uso de un software de simulación que permita comparar la situación actual de los semáforos existentes en la ciudad y la situación propuesta a

través del uso de semáforos inteligentes; permitiendo verificar si existe una reducción tanto de atascos como de contaminación medio ambiental.

Según Shannon (1998), la simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso, y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales pueden operar el sistema.

Para realizar la simulación de transporte o tráfico, es posible realizarlo mediante la simulación macroscópica que se caracteriza por el análisis del tráfico desde una perspectiva general, como el promedio de la velocidad de cada vehículo, densidad y flujo de tráfico, por otro lado; se tiene la simulación microscópica en la cual, se examina el movimiento individual de cada vehículo a través de la red, tomando en cuenta, su aceleración, desaceleración, tipo, color, etc. (Romero, Hernández, Ibarra y Ordóñez, 2009).

Los semáforos inteligentes son dispositivos que se comunican entre sí para asegurar el funcionamiento correcto de una red vial que incluyen tanto elementos hardware como cámaras de video, sensores y luces led del semáforo como el software que permite manipular el sistema a través de los datos que se captan usando los elementos hardware (Volkswagen, 2018).

La congestión de vehículos en redes urbanas ocasiona una degeneración en la infraestructura de la red vial y, en consecuencia, genera una serie de problemas que pueden ser neutralizados por medio de la utilización de estrategias de control de tráfico; entre la cuales se tiene: i) estrategias de tiempo fijo o lazo abierto; en la cual, usa datos históricos de flujo y densidad vehicular de tal forma que se pueda realizar el control de intersecciones aisladas y de control coordinado con tiempos fijos, y, ii) estrategias de control sensibles al tráfico o de lazo cerrado, las cuales realizan su lógica de adecuación de acuerdo a las mediciones de tráfico realizadas en tiempo real (Jiménez & Sarmiento, 2011).

El objetivo de este trabajo es simular semáforos a través de un software computacional que permita comparar la estrategia semafórica actual de la ciudad de Loja-Ecuador con la estrategia semafórica que utiliza semáforos inteligentes. A continuación, se presentan los materiales y métodos, posteriormente se indican los resultados de la micro y macrosimulación y, por último, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Materiales y métodos

La propuesta de este trabajo es implementar un control semafórico a través de semáforos inteligentes por medio de simulaciones a través de dos escenarios que corresponden a la macrosimulación y la microsimulación. En la primera se modela toda la red vial de la ciudad y en la segunda, se toma en cuenta únicamente el sector céntrico de la ciudad. Por último, se consideran tres experimentos o casos con variaciones del número de vehículos para cada uno. Es importante realizar la simulación micro (escenario1) debido a que, en ésta, se mide específicamente la cantidad de contaminación ambiental que emite un vehículo; y en la macro simulación (escenario2), la densidad de vehículos en toda la red vial de la ciudad.

Para la micro simulación se toma en cuenta las siguientes variables a medir: las emisiones de dióxido de carbono (CO2), monóxido de carbono (CO), partículas volátiles

(PMx) o *particulate matter*, hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), cantidad de ruido y el consumo de combustible (fuel); comparando todos estos valores con la situación actual (semáforos normales) y la situación propuesta (semáforos inteligentes). En la macro simulación se mide la densidad de flujo de vehículos y no se toma en cuenta variables correspondientes a contaminación ambiental.

Es importante mencionar que, en el proceso de simulación todos los vehículos están en perfecto estado, es decir, no presentan ninguna falla mecánica que permita visualizar la variación en las emisiones de contaminantes atmosféricos. Además, se toma en cuenta que no existen accidentes de tránsito, ni algún otro imprevisto que pueda mejorar o empeorar la circulación vehicular.

La simulación de tráfico se ha convertido en una herramienta fundamental y necesaria en la Ingeniería de Tráfico, ya que permite comprobar los análisis con diferentes escenarios. Entre las herramientas usadas para la simulación de tráfico se tienen: SUMO, VanetMob iSim y MOVE.

Se ha elegido el simulador de tráfico SUMO por ser de código abierto y abarca tanto la simulación macroscópica como microscópica; además permite modelar escenarios con alto nivel de detalle, como vías con diversos carriles, límites de velocidad e intersecciones con semáforos (German Aerospace Center [DLR] & Institute of Transportation Systems, 2015)

Todo problema de simulación se modela mediante la simplificación de la realidad. El modelado del escenario se basa en el diseño de un mapa de la zona geográfica a estudiar y la construcción de instancias realistas. Para ello, se recolectó datos de la Unidad Municipal de Tránsito y Transporte Terrestre y Seguridad Vial de la ciudad de Loja, así como también, el volumen de tráfico captado mediante la observación directa. En la microsimulación, se escogió el área céntrica de la ciudad de Loja, la cual abarca 28 intersecciones. La macrosimulación, abarca toda la ciudad. En la Figura 1 se puede visualizar los dos escenarios para la simulación.

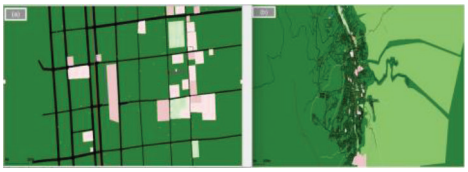


Figura 1 – (a) Escenario de simulación microscópica, (b) Escenario de simulación macroscópica.

Para la construcción del mapa de la zona de estudio, se usó Open Street Map (OSM) (OpenStreetMap Foundation, 2004). Posteriormente se hace la construcción vial, donde se debe tener en cuenta cuatro elementos principales: i) nodo, que consta de las intersecciones y uniones de la red; ii) borde, que consiste en las vías, calles y carreteras; iii) tipo, que son las características de las vías, por ejemplo, número de carriles, velocidad máxima, entre otras; y por último, iv) las conexiones, que permiten definir como se conectan los nodos para formar la red vial.

Posteriormente, se hace la creación de rutas tanto para la micro como macrosimulación y luego, se crea los semáforos que controlarán las intersecciones de la red. Además, se planteó dos tipos de vehículos "*Passenger*" o auto y "Bus". De esta forma, se puede tener un escenario muy apegado a la realidad. Sin embargo, para poder realizar un análisis comparativo se estableció dos distintos escenarios; el primero, con la estrategia de control semafórica actual y el segundo, bajo la estrategia de control semafórica inteligente que se propone.

2.1. Escenario 1 (micro)

Para la simulación en el centro de la ciudad, se cuenta con tres casos, bajo diferentes circunstancias de carga de congestión vehicular. En la Tabla 1 se muestra los parámetros utilizados para la simulación para cada escenario.

	Caso 1		**Caso 2**		**Caso 3**	
Parámetros	**Actual**	**Propuesta**	**Actual**	**Propuesta**	**Actual**	**Propuesta**
Número de autos	476	476	794	794	953	953
Número de buses	8	8	13	13	26	26
Total de vehículos	484	484	807	807	979	979
Velocidad máx. autos	50	50	50	50	50	50
Velocidad máx buses	40	40	40	40	40	40
Aceleración	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Desaceleración	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo simulación(steps)	700	700	1800	1800	2400	2400
Núm. bucles de inducción		5		5		5
Núm. de detectores		8		8		8

Tabla 1 – Parámetros de microsimulación

2.2. Escenario 2 (macro)

Para la simulación en toda la red de la ciudad, se utilizó tres casos, al igual que en la simulación micro. En la Tabla 2, se muestra los parámetros utilizados y la carga en cuanto a congestión vehicular.

3. Resultados y discusión

3.1. Microsimulación

El impacto medioambiental es uno de los principales factores que se debe considerar para que una ciudad llegue a ser Smart City y, por ende, se muestren mejoras con el uso de semáforos inteligentes. En el proceso de simulación, se tomó en cuenta la contaminación atmosférica que producen los vehículos, para esto; se eligieron cinco vehículos de manera aleatoria en cada uno de los casos -tres en total- con la estrategia

	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
Parámetros	**Actual**	**Propuesta**	**Actual**	**Propuesta**	**Actual**	**Propuesta**
Número de autos	1994	1994	3485	3485	4980	4980
Número de buses	6	6	15	15	20	20
Total de vehículos	2000	2000	3500	3500	5000	5000
Velocidad máx autos	50	50	50	50	50	50
Velocidad máx buses	40	40	40	40	40	40
Aceleración	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Desaceleración	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo_simulación(steps)	2100	2100	3600	3600	3750	3750
Núm. bucles de inducción		5		5		5
Nro de detectores		8		8		8

Tabla 2 – Parámetros de macrosimulación

actual (EA) y la estrategia propuesta (EP); tomando en cuenta las emisiones de dióxido de carbono (CO2), monóxido de carbono (CO), partículas volátiles (PMx) o "particulate matter", hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), cantidad de ruido y el consumo de combustible (fuel).

Como se muestra en la Figura 2, la emisión de contaminantes atmosféricos es menor con la estrategia propuesta que la existente. En cuanto a ruido, CO2, CO, PMx, HC, NOx y consumo de combustible, hay una disminución del 0,95%, 8,88%, 10,95%, 10,23%, 9,59%, 9,55% y 9,55% respectivamente.

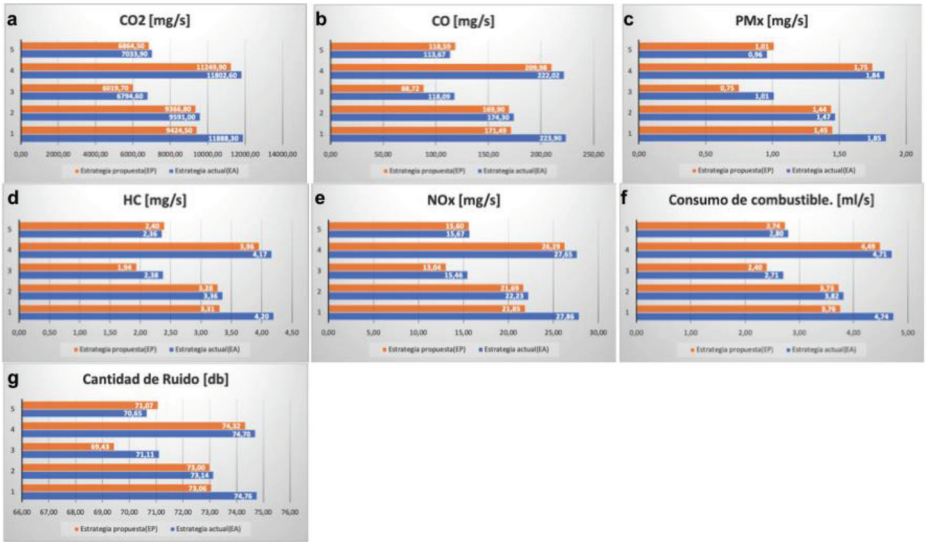


Figura 2 – Resultados de la simulación del caso 1 (escenario 1)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para el Caso 2. En esta figura (Figura 3), es posible observar que, para los parámetros: ruido, CO2, CO, PMx, HC, NOx y consumo de combustible; existe una disminución de 0,81%, 6,71%, 9%, 9,15%, 7,61%, 7,51% y 6,68% respectivamente. Existe menor emisión de los contaminantes atmosféricos, aunque no sea significativa.

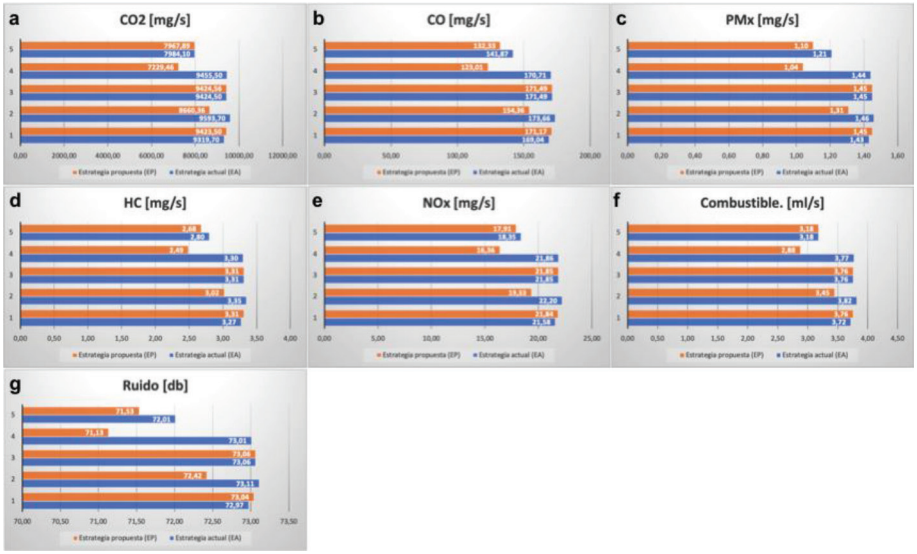


Figura 3 – Resultados de la simulación del caso 2 (escenario 1)

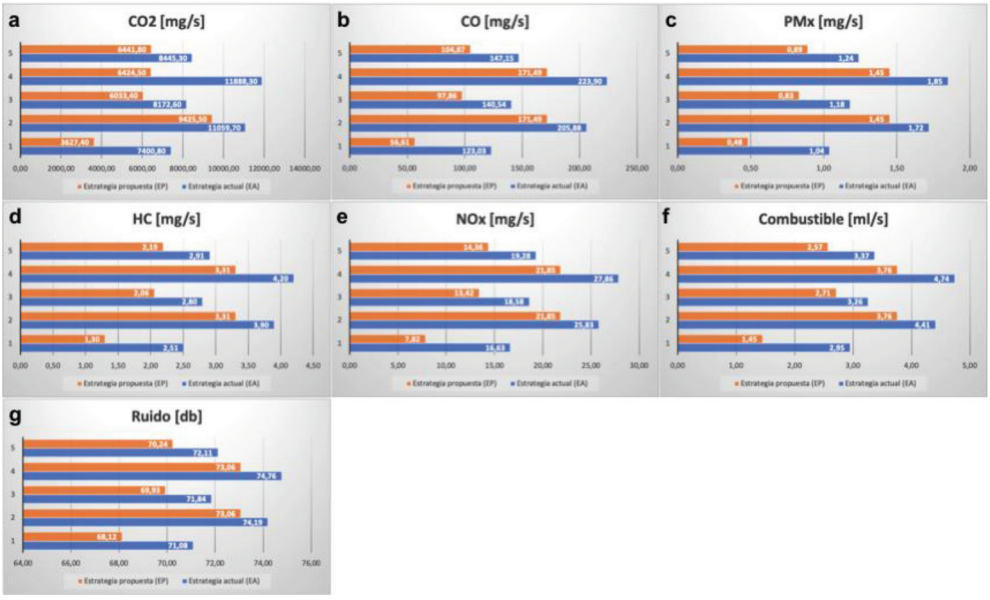


Figura 4 – Resultados de la simulación del caso 3 (escenario 1)

En la figura 4 se muestran los resultados del Caso 3. En esta simulación, se puede observar que hay una disminución significativa en contaminantes. Al igual que en los casos anteriores, existe una disminución de emisiones, tomando en cuenta la estrategia actual (EA) y la estrategia semafórica inteligente o estrategia propuesta (EP). Se visualiza, que la emisión de ruido, CO2, CO, PMx, HC, NOx y consumo de combustible; existe una disminución en 2,62%, 25,58%, 28,33%, 27,45%, 25,42%, 26,69% y 25,52%. Esta disminución de contaminantes como consumo de combustible y cantidad de ruido es notable.

Los resultados mostraron que, con la microsimulación, es decir, en el centro de la ciudad, el modelo propuesto muestra una reducción media en la contaminación para ruido de 1,46%, CO2 de 13,72%, CO de 16,09%, PMx de 15,61%, HC de 14,21%, NOx de 14,58%.

A continuación (Figura 5), se presenta los resultados obtenidos en cada uno de los casos en cuanto al conteo de vehículos, en la cual, se muestra la efectividad de los semáforos inteligentes en el manejo del tráfico vehicular, lo que se traduce en menor tiempo de espera para los conductores y menor acumulación de vehículos en las intersecciones y, por ende, la reducción de atascos.

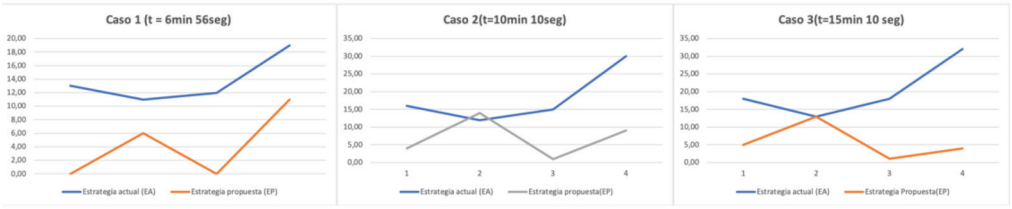


Figura 5 – Resultados del conteo de vehículos en el caso 1, caso 2 y caso 3 (escenario 1)

Los resultados muestran, que existe una disminución en promedio de 11,75 vehículos.

3.2. Macrosimulación

Tanto para la estrategia semafórica actual como para la estrategia inteligente propuesta; en los tres casos, se ha tomado en cuenta los siguientes parámetros: el número de vehículos que ha salido de la red, número de vehículos en la red, número de vehículos que han llegado a su destino, colisiones, promedio de velocidad, densidad y flujo.

En la Figura 6 se muestran los resultados de la macrosimulación para el Caso 1, Caso 2 y Caso 3. Como se puede observar, no presenta una diferencia considerable entre la estrategia actual y la estrategia propuesta. De igual forma para el Caso 2 y el Caso 3, los valores son muy similares entre ambas propuestas.

4. Conclusiones

El presente trabajo se basa en la simulación y evaluación de semáforos que se ubican en el centro de la ciudad (microsimulación) -donde existe mayor congestión vehicular-

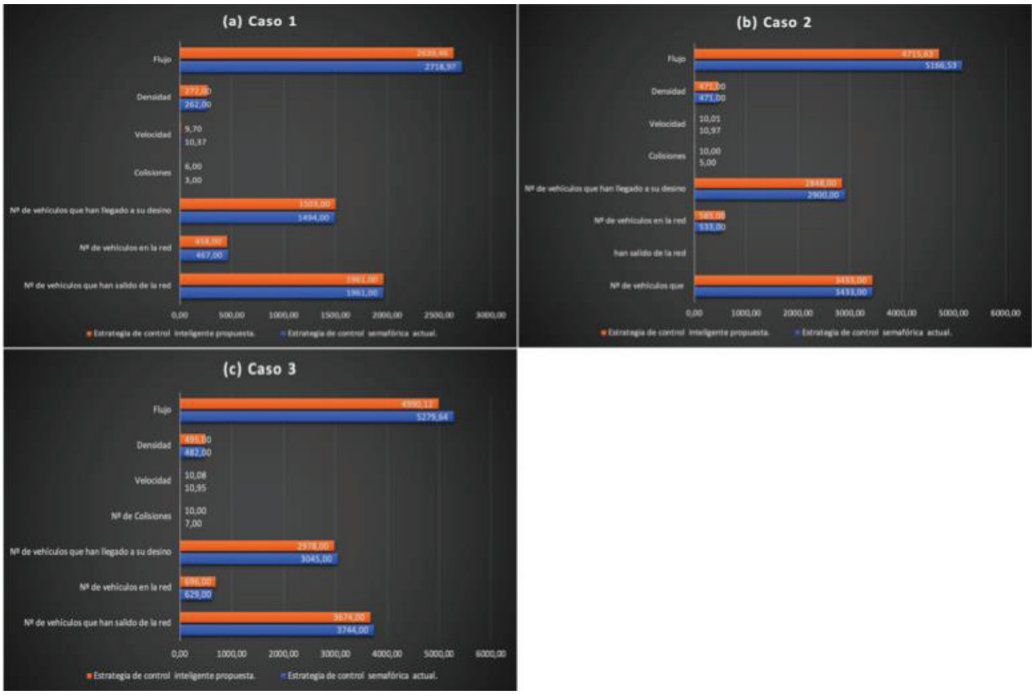


Figura 6 – Macrosimulación; resultados de la simulación del caso 1, caso 2 y caso 3 (escenario 2)

y la simulación tomando en cuenta toda la red vial (macrosimulación). Cada escenario contó con tres casos de prueba; en el cual, para cada uno, se escogió 5 vehículos al azar de tal forma que, permita evaluar la situación existente y la estrategia propuesta en este trabajo. Los resultados obtenidos, muestran que la implementación de semáforos inteligentes en el centro de la ciudad, es decir, con la microsimulación, muestra una disminución importante de contaminantes ambientales y en la reducción de atascos, frente a la situación actual donde existen semáforos convencionales. La estrategia propuesta para toda la red vial, es decir, usando macrosimulación, no mejora la situación que existe actualmente en la ciudad. Por otro lado; como todas las ciudades que se perfilan como *Smart City*, es necesario tener información tanto de sensores, actuadores y cámaras que estén o vayan a implementarse, de tal manera, que se pueda trabajar en un entorno más real y, por tanto, obtener mejores resultados que ayuden a disminuir la congestión vehicular. Se recomienda que antes de la construcción de pasos a desnivel se realice este tipo de simulación para justificar la obra civil a ejecutarse, es importante también tomar en cuenta el uso de vehículos eléctricos, de tal manera que se pueda verificar la diferencia de la huella de carbono entre el uso de vehículos a combustible y eléctricos. Como trabajos futuros, se planea realizar el estudio con información captada de cámaras de velocidad o contadores de vehículos, datos de peatones y ciclistas a través de cámaras del ECU911, y también, colisiones o accidentes que pueden suceder en la red vial que constituyen un factor clave de movilidad para la ciudad.

Referencias

Ali, L. C., Meneses, A. O., Torres, S. R., Espinoza, A. T., y Flores, J. A. R. (2018). Mejorando la Circulación de Vehículos: Simulación con Semáforos Inteligentes - Improving Traffic: Simulation with Smart Traffic Lights. *AMCIS 2018 Proceedings*. Recuperado de https://aisel.aisnet.org/amcis2018/LACAIS/Presentations/13

Ameddah, M. A., Das, B., & Almhana, J. (2018). Priority based Algorithm for Traffic Intersections Streaming Using VANET. In *2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)* (pp. 898–903). IEEE. DOI: 10.1109/IWCMC.2018.8450287

Bull, A., & Thomson, I. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *CEPAL*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/handle/11362/10804

Fleck, T., Daaboul, K., Weber, M., Schörner, P., Wehmer, M., Doll, J., … Zöllner, J. M. (2019). Towards Large Scale Urban Traffic Reference Data: Smart Infrastructure in the Test Area Autonomous Driving Baden-Württemberg (pp. 964–982). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-01370-7_75

Franco, L. (2014). Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este. *FPUNE Scientific*, (4). Recuperado de http://www.une.edu.py:83/fpunescientific/index.php/fpunescientific/article/view/35

German Aerospace Center (DLR) & Institute of Transportation Systems. (2015). SUMO - Simulation of Urban Mobility. *SUMO*. Recuperado de https://sumo.dlr.de/index.html

Jacome, L., Benavides, L., Jara, D., Riofrio, G., Alvarado, F., & Pesantez, M. (2018). A Survey on Intelligent Traffic Lights. In *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)* (pp. 1–6). IEEE. DOI: 10.1109/ICA-ACCA.2018.8609705

Jiménez, M., & Sarmiento, I. (2011). *Adaptive Control System And Optimization Of Road Traffic In A Signalizedcorridor Application To The City Of Medellin. Dyna* (Vol. 78). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de https://www.redalyc.org/html/496/49622390008/

Liu, Y., Liu, L., & Chen, W.-P. (2017). Intelligent traffic light control using distributed multi-agent Q learning. In *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1–8). IEEE. DOI: 10.1109/ITSC.2017.8317730

Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference on Digital Government Innovation in Challenging Times - dg.o '11* (p. 282). New York, New York, USA: ACM Press. DOI: 10.1145/2037556.2037602

Natafgi, M. B., Osman, M., Haidar, A. S., & Hamandi, L. (2018). Smart Traffic Light System Using Machine Learning. In *2018 IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)* (pp. 1–6). IEEE. DOI: 10.1109/IMCET.2018.8603041

OpenStreetMap Foundation. (2004). OpenStreetMap. *OpenStreet Map*. Recuperado de https://www.openstreetmap.org/about

Sánchez, P., y Villa Garzón, F. A. (2009). Modelado y simulación del problema de movilidad vehicular en un sistema de intersecciones semafóricas. *Lámpsakos,* (8), 15–22. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4490295

Pau, G., Campisi, T., Canale, A., Severino, A., Collotta, M., Tesoriere, G., … Tesoriere, G. (2018). Smart Pedestrian Crossing Management at Traffic Light Junctions through a Fuzzy-Based Approach. *Future Internet*, *10*(2), 15. DOI: 10.3390/fi10020015

Petritoli, E., Leccese, F., Pizzuti, S., & Pieroni, F. (2019). Smart lighting as basic building block of smart city: An energy performance comparative case study. *Measurement*, *136*, 466–477. DOI: 10.1016/J.MEASUREMENT.2018.12.095

Romero, W., Hernández, J. T., Ibarra, J. C., y Ordóñez, S. (2009). *Plataforma de simulación y visualización para el apoyo al análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana. Revista de Ingeniería*. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Recuperado de https://www.redalyc.org/html/1210/121013257007/

Shannon, R. E. (1998). INTRODUCTION TO THE ART AND SCIENCE OF SIMULATION. *Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation*, 7–14. Recuperado de https://dl.acm.org/citation.cfm?id=293175

Volkswagen. (2018). Semáforo inteligente, ¿qué es y para qué sirve? *Hacemos realidad el futuro*. Recuperado de https://hacemosrealidadelfuturo.es/post/semaforo-inteligente-que-es-y-para-que-sirve

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 10/11/2018
Aceitação/Acceptance: 11/01/2019

A progressive web application for control and reading of water meters

William Marcillo[1], Jorge-Luis Pérez-Medina[2], Carlos Muñoz[3]

william.marcillo@udla.edu.ec, jorge.perez.medina@udla.edu.ec, carlos.munoz@udla.edu.ec

[1,2,3] Universidad de Las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

Pages:415–427

Abstract: This paper synthesizes the results obtained from a summative usability study considering the effectiveness, efficiency, and subjective user satisfaction conducted with a new progressive web application for Public control and reading of water meters' information. Eleven participants tested a prototype of the mobile application. For the user experience we are used the IBM Computer System Usability Questionnaire (CSUQ). As complement we are used the Microsoft Desirability Toolkit. We report empirical results based on subjective usability perception and selft-reported feed-back. The results suggest that the evaluated application is useful, efficient, easy to use and its interface acceptable. However, the main findings of the study show that the quality of the information is a critical aspect to ensure a good usability of the mobile application. Consequently, we suggest some recommendations in order to improve the quality of the information.

***Keywords*:** usability; user interfaces; water meters; mobile application; progressive web.

1. Introduction

More than half (54%) of the world's human population lives in the cities and this number is expected to reach 66% by 2050 due to the rapid urbanization in developing countries, Nations (2015). Urbanization brings with it the implementation of different public services, such as: water distribution networks. One of the great current challenges is the efficient and effective management of such services. Efficient management involves the maximum use of all the resources that are necessary to optimize the quality of the services.

One of the services that can be improved is precisely the reading of water meters, which currently in several areas of the country is done in a simple way with annotations, which involves a lot of problems, such as loss of information, incorrect reading of data, delay in updating in database and all the consequences that the latter implies, delay in economic calculations and printing of booklets, until service interruption due to mishandling of information. For this reason, the idea of developing the GLAP application "Management of drinking water readings" that allows the automatic reading of water meter codes, with a low cost and a high efficiency, represents a viable alternative to solve all the problems mentioned above. Thus, the GLAP app takes into account the needs to improve the control

of subscribers, routes, readers, connection states, consumption reports and damages, through the use of geographic information tools to manage and analyze georeferenced meter data, which in the first instance is oriented for the Municipal Drinking Water Company (EMAP) of the GAD Municipal de Pimampiro.

The GLAP application was developed with a multi-platform vision. The data collection must be done through mobile devices and the administration of information in conventional computers. For this, the principle of the progressive web was used by Hume (2017). Progressivity allows the mobile application to run without an internet connection. Thus, the meter reader could take readings without internet connection and synchronize the data later. Also, the progressivity allows the application to access and manage the camera devices and global positioning systems (GPS) to read the QR codes and mark the position of the user on the map. Other aspects of progressivity are the security that it provides to the application since at least it requires the use of the Transport Layer Security (TLS) protocol 1 for its correct execution.

Guaranteeing the acceptance and the use of GLAP induces to incorporate a study of usability in the life cycle of any interactive system. Usability is the extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use. Usability can be formative and summative. The summative usability allows to assure the quality of the user experience (UX) for a software product in development. This method for user evaluation is widely adopted in User-Centered Design (UCD) practices. Summative usability describes the user experience. This paper presents empirical results based on subjective usability perception and selft-reported feed-back. The results suggest that GLAP is effortless, useful, efficient, easy to use and its interface are acceptable. The paper is organized as follows: next section describes some related work according to the summative usability. Section 3 describes the functionalities of the application. Then, the general architecture of GLAP is presented. Section 5 describes the usability study, including the results and discussions. Finally, conclusions and some remarks for future work are presented.

2. Related work

The ISO standard 9241-11 provides a framework for understanding the concept of usability and applying it to situations where people use interactive systems, and other types of systems (including built environments), and products (including industrial and consumer products) and services (including technical and personal services), Stewart (1998). The official ISO 9241-11 definition of usability is the ex- tent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use, Stewart (1998). Usability evaluation can be formative or summative, Theofanos & Que-senbery (2005); Kieffer et al. (2017) state that formative and summative usability tests are methods of evaluating software products widely adopted in UCD. Formative usability is an iterative method of vital testing and refinement in the early stages of the design process. This method helps to detect and solve usability problems. As a complement, the summative usability allows to assure the quality of the user experience (UX) for a software product in development.

Tullis & Stetson (2004) conducted a study to determine the effectiveness of some of the standard questionnaires to measure the formative usability. The study concludes that

the greatest effectiveness is found in the questionnaires SUS, Brooke et al. (1996) and the CSUQ Lewis (1995). The CSUQ provides a qualitative measure. Its structure focuses on studying: (1) the utility, (2) the quality of the information and (3) the quality of the interface. The utility refers to the opinion of users regarding the ease of use, learning, speed of operation, efficiency in completing tasks and subjective feeling. The quality of the information studies the subjectivity of the user regarding the management of system errors, the clarity of the information, the intelligibility. Likewise, the quality of the interface measures the affective component of the user's attitude in the use of the system.

The CSUQ allows to measure users' satisfaction with the usability of computer systems. In other words, the answers provided by participants to this questionnaire demonstrate a high correlation with the usability of the system being evaluated. Specifically, it consists of nineteen empirically-validated 7-point Likert scale questions (1=strongly disagree, 2=largely disagree, 3=disagree, 4=neutral, 5=agree, 6=largely agree, 7=strongly agree) distributed into 4 sections. The 7- point rating scales allow three levels of either positive or negative ratings. The most common way to estimate the reliability of these types of scales is with coefficient alpha Nunnally et al. (1967). Coefficient alpha can range from 0 (no reliability) to 1 (perfect reliability).

The Microsoft Desirability Toolkit (also known as the Microsoft Reaction Card Method) is a method composed of 118 emotional words, Benedek & Miner (2002). The words cover a wide variety of possible reactions to features ranging from the designs visual appeal, the functionality, to the user experience as a whole of a design or product in study. Designers use this method to obtain the emotional feedback and desirability from the participants after a user experience.

3. Functionalities of the application

In order to give the reader a good understanding of the mobile application, we describe the main features of the application. These functionalities are the following:

3.1. Metering management

The management of water readings requires that the system provide a map de- tailing each of the sectors registered in the platform as shown in Figure 1. Also, the system must indicate the exact position and in real time of the reader who will perform each of the readings through a mobile device. The reader can consult the account of a subscriber by reading a QR code. Among the relevant information that is required are the personal data of the subscribers, their contact number, the previous reading, among others (see Figure 1). Likewise, the system must allow the edition of the consumption of a subscriber. Finally, the reader may eventually enter a comment or make a report in case the reading cannot be made.

3.2. Sector management

The system must allow the edition of the sectors through geo-referenced polygons (see Figure 2). Each sector must be identified by a color.

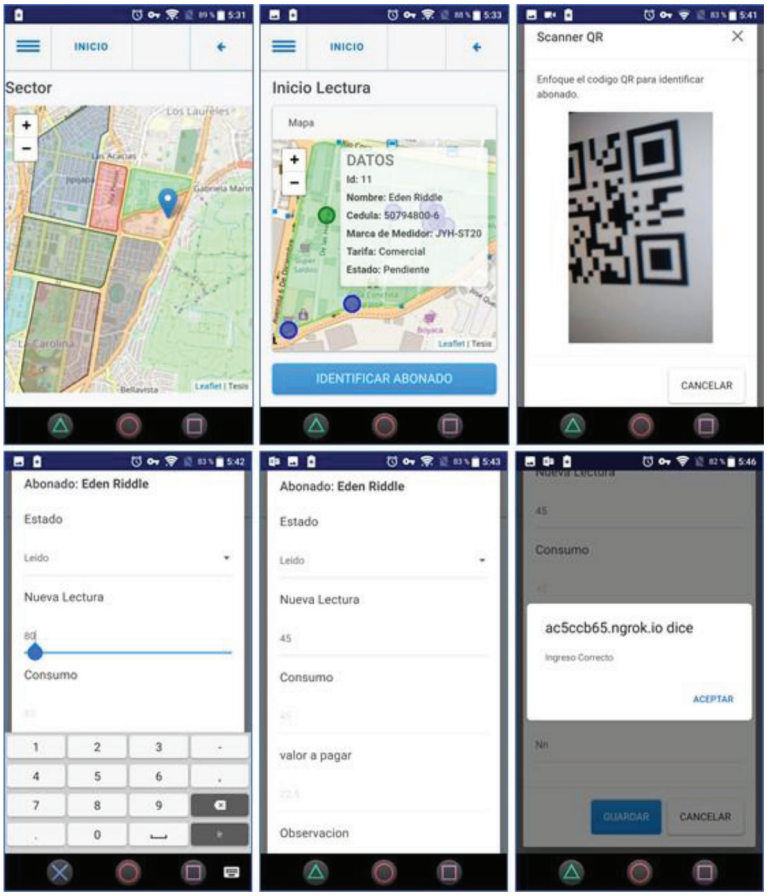


Figure 1 – The metering management user interfaces

3.3. Subscriber management

The system must show the list of subscribers registered in the system and allow the edition of a subscriber. A subscriber must be associated with a previously defined sector.

3.4. Reader management

The system must allow an administrator to edit the list of readers that will be assigned to the sectors. Through this assignment, the administrator can consult the work done by each reader.

3.5. Account management

The system must allow a subscriber to have several accounts. A geo-referenced marker will allow to indicate on a map the exact location of the subscriber's account. The account must be associated with a sector.

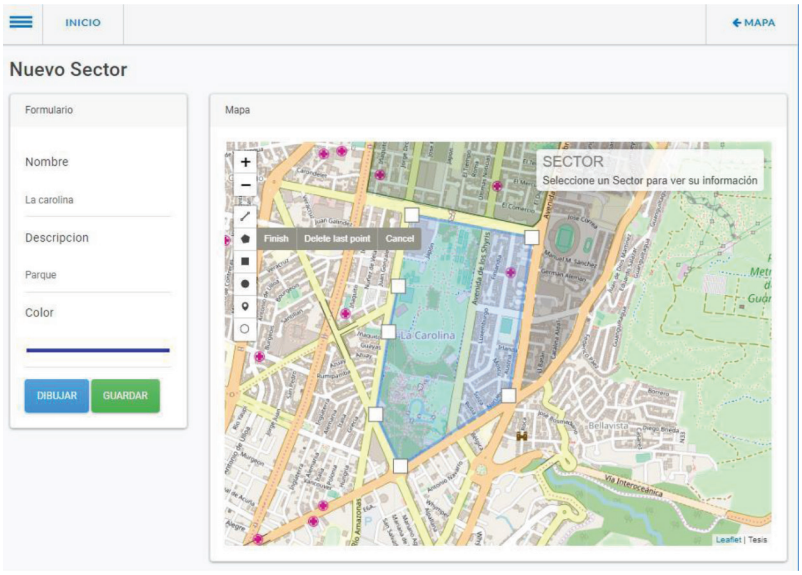


Figure 2 – Sector management user interface

4. The architecture

The architecture presented in Figure 4 is divided into two main modules: The Back-end and Front-End. The Back-end is mainly composed of Sails that provides a defined structure for the MVC development framework. Its main role is to act as a server to publish web services. Sails handles the controllers that will be responsible for receiving the user's requests. The controllers also interact with the services and are the intermediaries of the data transmission between the model and the view.

The services are a series of JavaScript files in charge of managing the connection to the PostgreSQL database through an adapter. Its contain the methods to perform CRUD operations and a service must be created for each entity (database table). Sails allows to execute DDL operations to define the model without direct intervention in the PostgreSQL database, depending on the needs of the developer, the scheme can be redefined each time, the operation will take effect when the Sails services are lifted. To carry out the task, simply modify the files that contain the structure of the model.

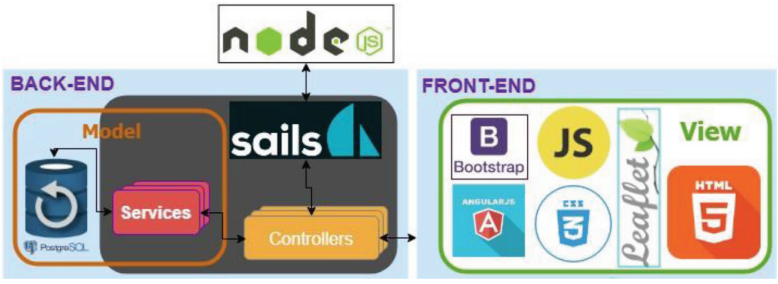


Figure 3 – Software architecture

The Front-End is mainly composed of HTML files. It is the interface where the user gets response from the requests that have been made in the controller. The Front-End is also composed of CSS files to give design and a better appearance. Bootstrap is indexed to the main page in order to display a uniform design to all pages, and is responsible for providing responsiveness. Within the Front-End have also added JavaScript libraries such as Angular and Leaflet, the first library is implemented to use their directives and generate more dynamism to the page. The second library has been linked to get the presentation layer of the maps, it offers geolocation functionalities, and geometric figures graphics. Figure 4 shows the components of the architecture. Users access the web service through a TCP connection (connection oriented) with the HTTP protocol. The web service is comprised by the Sails environment with all the components of models, services, controllers and interfaces.

Sails provides the means of access to the PostgreSQL database through a local connection. The interaction between the service worker, Shell App and the file *manifest.json*, are the basic components for the system to go from being a web page, to a progressive web application. Users can access the administration module from the web browser of a desktop device. Likewise, the user can access the readings module from the mobile device by means of the downloaded progressive application.

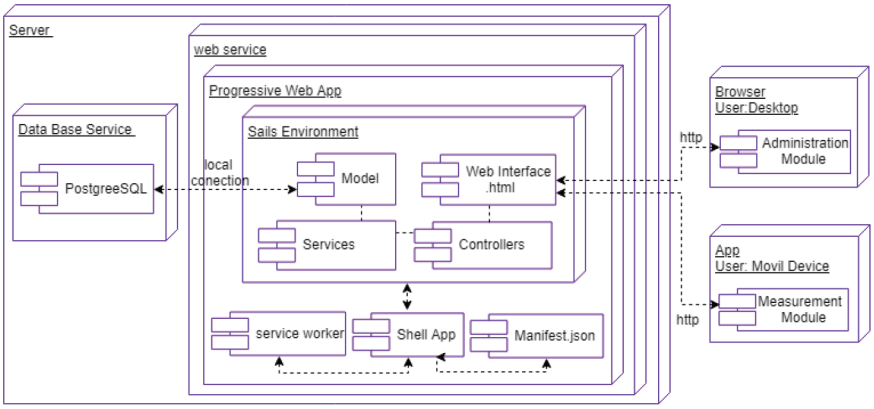


Figure 4 – Component diagram

5. Experiment

We conducted a user experiment to understand the perceived usability for the progressive mobile and Web GLAP application.

5.1. Participants

Due to the limitations of assembling all the (EMAP) Municipal Potable Water Supply Company staff, only 11 people (distributed in 8 males or 72.72% and 3 females or 27.27%) were able to participate in the tests. The average age of the participants was 32 years. Although they were knowledgeable of the study context, no specific skill was required to the participants. However, among the 11 participants 3 are water meter readers. 90%

of respondents use a computer frequently. Similarly, more than 80% of interviewees admitted use a smartphone frequently. Only 7 of the 11 participants answered having used a water readings management system.

5.2. Tasks

Since the GLAP mobile application manages an Administrator role and a Meter Reader role, 3 tasks were proposed for each profile. The administrator performed the tasks from a desktop computer, while the meter reader performed the tasks from a mobile device. Tables 1 and 2 present the 3 tasks to be performed by participants.

5.3. Materials and methods

We use 3 devices. A laptop was used as a web server. A desktop computer was used by the Administrator and a mobile device was used by the Meter Reader. Tables 3 details the technical specifications for each device.

Nro.	Style Name	Format
1	*Manage a sector*	You must make changes to the polygons that make up the sectors on the map
2	*Manage an account*	You must position the circular markers within a sec- tor on the map
3	*Manage a subscriber*	You should see the changes made in the subscriber table

Table 1 – Experimental tasks for the Administrator

Nro.	Style Name	Format
1	*Install the app on the mobile device*	You must get the installation of the application through Google Chrome at the indicated URL
2	*Realize a reading*	You must record a reading identifying a subscriber by reading a QR code
3	*Change a reading to pending status*	You must visualize the change made with an orange circular marker on the map

Table 2 – Experimental tasks for the Meter Reader

Web server	Client	Mobil device
Service: Sails Brand: Lenovo Model: G40 Hard Drive: 500 GB RAM: 8 GB. SO: Windows 10 System: 64 bits Processor: Intel Core i5 Screen: 14".	User: Administrator Brand: Dell Model: Optiplex 3060 Hard Drive: 500 GB RAM: 4 GB SO: Windows 8.1 System: 64 bits Processor: Intel Core i3 Screen: 19 inches Web browser: Google Chrome 71.0.35	User: Meter reader Brand: Sony Model: Xperia Z5 Internal storage: 32 GB External storage: 16 GB RAM: 3 GB SO: Android Nougat 7.1.1 SO: Android Nougat 7.1.1 System: 64 bits Processor: Snapdragon 810 Screen: 5.2 in. Main camera: 23 Mpx. Web browser: Google Chrome 71.0.35

Table 3 – Devices used in the experiment

The municipal network infrastructure was used to connect the devices to the Internet. The mobile device was connected via the 4G network. The user experience was composed of 2 phases. the first consisted of each participant making use of the GLAP Web application with the role of administrator from the municipal building. The second phase consisted of each participant testing the GLAP mobile application in the nearby areas of the Central Park of "Pimampiro". Each participant was asked to walk to each of the 4 stickers printed with QR codes to simulate taking a reading of a drinking water meter. The adhesives were placed before performing the experiment. The journey did not exceed 132 meters.

5.4. Procedure

The experimental protocol started with the signing of a consent form. Next, a random form number was assigned to each participant. Then, the participants were requested to fill out a questionnaire with demographic information. Subsequently, they were request to follow an accommodation phase, not exceeding 15 minutes. The participants followed a tutorial on how to use the functionalities of the system and became familiar with the GLAP web and mobile application. Once the scenarios of the experimentation were clarified and after the participants were confident with the use of both applications, they were asked to complete the 3 administrative and meter reader tasks. The experiment lasted about 7 minutes to the Administrator role and 10 minutes to the Meter reader role. Once all the tasks completed, the participants were asked to fill in the IBM CSUQ, plus the optional open questions for constructive feedback, like: "Would you like to make any comment about the water measurement GLAP application, or about your experience using it during the experiment?". Finally, participants were asked to select as many words from a list of 45 words as they wished from a Microsoft Desirability Toolkit in order to describe their experience with the user interfaces.

5.5. Results

In this section, we report the results of the IBM CSUQ on the participant's subjective perception and self-reported feedback. The analysis of the results of the GLAP web and mobile application are presented below.

The GLAP Web application results

The Figure 5 shows the 19 individual responses of the 11 participants of the IBM CSUQ questionnaire. The individual results indicate that the participants with the IDs 4, 10 and 11 were less critical. On the contrary, the participants with IDs 6 and 9 were the most critical. The questions with the highest rating average correspond to Q16 and Q17 both with an average of 6.5, which implies that for the users the interface of the system is pleasant and they like to use it. Question Q19 reaches an average of 6.4, being also one of the most valued, this indicates that users in general are satisfied with the system. The question less appreciated by the participants of the IBM CSUQ questionnaire was Q9 with an average of 4.27. This last result reveals a significant usability problem for GLAP web since the system did not provide clear and sufficient error messages to solve problems.

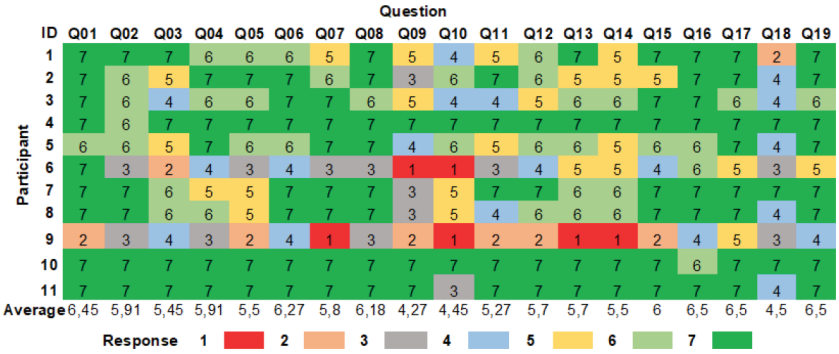


Figure 5 – Individual results of the IBM CSUQ measures for the GLAP Web application

Figure 6 presents the results from the IBM CSUQ for the GLAP Web application. Left panel show the global appreciations for the IBM CSUQ questions. Right panel resume the mean average responses for the IBM CSUQ categories. Overall, the results show positive trends because most of the participants said they were very much in agreement with their responses. This is consistent with the predominance of green color and in most cases the average per question was higher than 5.5.

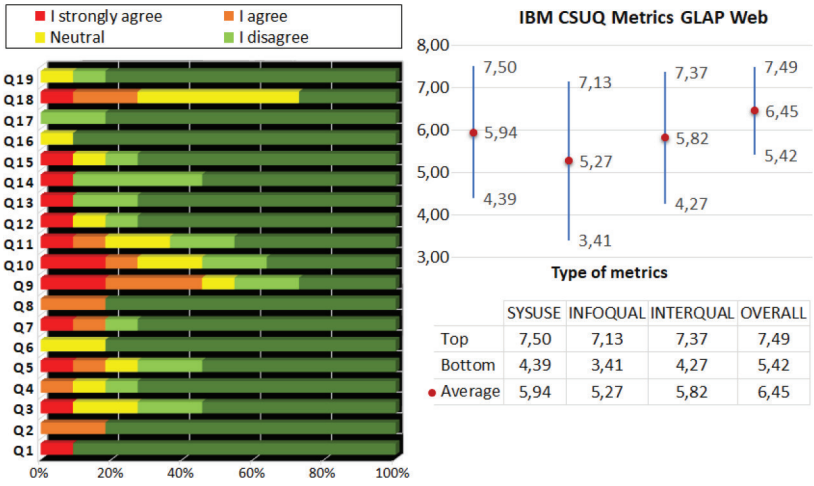


Figure 6 – GLAP web results from the IBM CSUQ

The result of Q18 question confirms that the users did not fully agree, but also disagreed that the system has all the functionalities and capabilities they expect it to have, the highest percentage was neutral and predominantly yellow. For Q16 question, 90% of the participants felt that the interface of the system was pleasant, while 10% remained in a neutral position. One of the weaknesses of the system is the difficulty of recovering easily and quickly from an error; this would be directly related to the assessment that

the system should improve the presentation of error messages indicating how to fix problems. This assertion is visible in Q09 and Q10 questions, in both cases reaching the highest disapproval of the survey by participants where it reaches 20% disagreement. One of the positive aspects of the system, according to the study is that most of the participants believe that they could be productive with GLAP Web application, specifically 80% said they agree. In the same way 9 of the 11 participants agreed that the system is easy to learn.

Figure 7 shows a word cloud and the rate results of all the words selected by the participants for the GLAP Web application. It describes the experience of participants with the application. In general terms the system has a more favorable reaction to the participants. 72.7% of participants have described their experience with the word "Effortless". The words "useful", "easy to use", "efficient" and "time saving" have been selected for the participants. The participants also indicate that the application was "fast", "simple" and "intuitive".

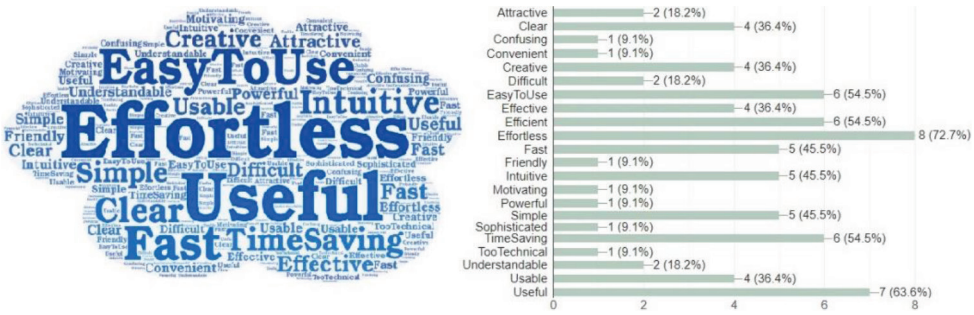


Figure 7 – Desirability results from the Microsoft reaction cards for the GLAP Web application

The GLAP Mobile application results

Figure 8 shows the individual results from IBMs CSUQ questionnaire. It indicates a much more favorable trend for the GLAP mobile application than for the GLAP Web application, as shown in Figure 5. In no case did a participant assign the lowest score for the 19 questions. The individual results obtained for the GLAP mobile application have repetitive patterns per participant. For example, participants with IDs 4, 10 and 11 are more positive with the system. Similarly, as happened on the GLAP Web application, participants with IDs 6 and 9 appear to be the most critical. Q18 question had the lowest average with 5.1, meaning that users expect additional features. Like the previous case in the GLAP mobile application, the participants have the same difficulties in recovering from an error. It requires the system to issue more appropriate and suitable error messages. This is made visible on the average of 5.45 and 5.27 of Q10 and Q11 questions. The most favorable results found in Q07 and Q16 questions, both reach an average of 6.5. Infers that participants learned the system easily and that the interface of the system was to their liking. In the results of question Q06, the participants admitted that they feel comfortable using the system and in question Q19 the average result of 6.4 indicates that the participants are satisfied with the system.

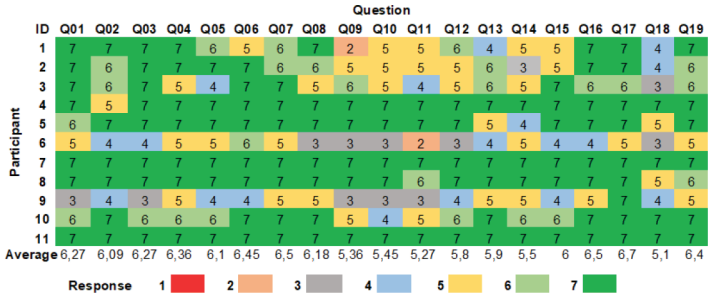


Figure 8 – Individual results of the IBM CSUQ measures for the GLAP Mobile application

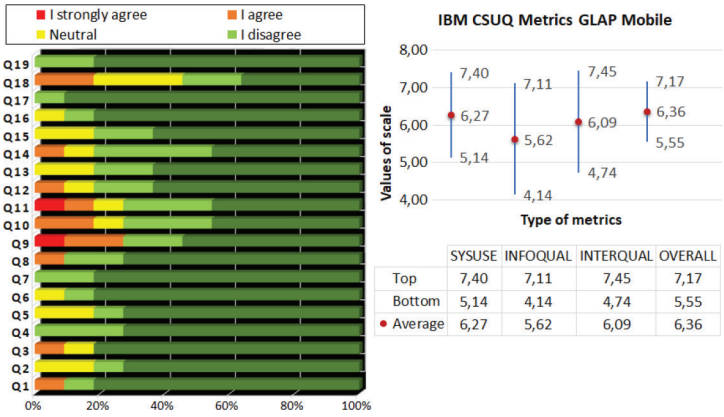


Figure 9 – GLAP Mobile results from the IBM CSUQ

Figure 9 (left panel) presents the results obtained from IBMs CSUQ questionnaire. It shows a favorable trend as participants claimed to be very much in agreement with most of the questions. Q01 question indicates that 90% of the participants were satisfied with how easy it is to learn the system.

Despite the fact that 20% of the participants remained neutral, 80% said they agreed on the simplicity of using the system. The results also suggest that the participants have appreciated the quality of the information managed by the GLAP mobile application. According to Q14 question, 9 out of 11 participants indicated that the information provided by the system was easy to understand, which helped them complete the tasks of the proposed exercises. Again one of the strengths of the system is the convenience of user interfaces according to Q06 question, this is also corroborated by the favorable results of Q16 and Q17 questions where at least 9 out of 11 participants agreed. Another aspect to note according to the Q18 question results is that at least 18% of participants want more functionality or capabilities in the system, and 27% had a neutral position. Figure 10 (right panel) shows favorable results for the GLAP mobile application. All averages show values higher than 4. According to the participants, the system was easy to learn and easy to use. This is reflected in the fact that the SYSUSE category averages

6.27. Although the INFOQUAL of GLAP mobile application is higher than 5 is the lowest average of the 4 categories. This trend was the same in GLAP web application. Therefore, it is recommended to improve the quality of the information. The most positive aspect of this analysis is that globally the user is satisfied with the system, since in the overall category has the highest average with a 6.36.

In general, the GLAP mobile application have a favorable perception for the users who tested the application. Figure 10 shows a word cloud using all the words selected by the participants. We found that the first 6 words with the highest frequency where positive. These words were: “Fast”, “Effortless”, “Efficient”, “Easy to Use”, “useful” and “intuitive”.

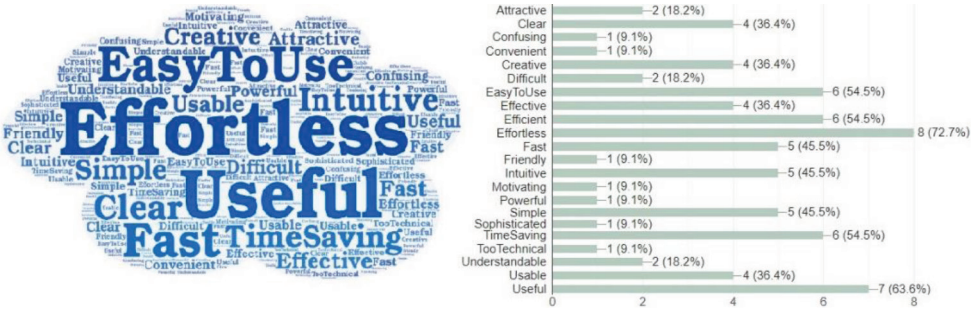


Figure 10 – Desirability results from the Microsoft reaction cards for the GLAP Mobile application

6. Conclusions

We presented the results obtained from a study of effectiveness, efficiency, and subjective user satisfaction conducted with a progressive web application for public control and reading of water meters. The work done is a contribution for the development of water metering applications, context in which the usability factor is vital for the success of understanding and interpretation of the contaminant parameters by users. The magnitude of the System Usability measure obtained for this study show a good usability of the mobile prototype. Participants reported a positive attitude of the tool. This work allows us to identify specific aspects of usability that must be implemented to ensure an efficient user experience through the interaction with the GLAP Web and Mobile application. The main finding of our study is that the error feedback should be as detailed as possible. The usability test shows that a significant part of the population of participants does not believe that the mobile application was easy to learn to use. Likewise, a lack of or an ambiguous user feedback can be a great barrier in the acceptance of the application.

Future work will consist of (i) conducting tests to measure the performance time, efficiency, error rate, etc.) of user when using the new user interfaces resulting of the re-design according to the results obtained during the experiment, and (ii) carrying out accessibility and cognitive tests (e.g. mental workload). As a final thought, we are convinced that research efforts in the combined area of control and reading of water meters and usability are fundamental to incorporate new mechanisms of information

visualization and interaction, such as natural user interfaces involving gestural and vocal interactions.

Acknowledgements: *We offer a special acknowledgement for Kristel Luyton for her time in translating a part of the document.*

References

Benedek, J., & Miner, T. (2002). Measuring desirability: New methods for evaluating desirability in a usability lab setting. *Proceedings of Usability Professionals Association 2003, 57.*

Brooke, J., et al. (1996). Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry, 189*, 4–7.

Hume, D. A. (2017). *Progressive Web Apps*. 1st ed., Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA.

Kieffer, S., Ghouti, A., Macq, B. (2017). The agile ux development lifecycle: Combining formative usability and agile methods.

Lewis, J. R. (1995). Ibm computer usability satisfaction questionnaires: Psy- chometric evaluation and instructions for use. *Int. J. Hum.-Comput. In- teract. 7*, 57–78. DOI: 10.1080/10447319509526110.

Nations, U. (2015). World population prospects: The 2015 revision. *United Nations Econ Soc Aff, 33*, 1–66.

Nunnally, J. C., Bernstein, I. H., & Berge, J. M. (1967). *Psychometric theory*. New York: McGraw-Hill.

Stewart, T., (1998). *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals* (vdts): Part 11: Guidance on usability. International Organization for Standardization ISO 9241.

Theofanos, M., & Quesenbery, W. (2005). Towards the design of effective formative test reports. *Journal of usability studies 1*, 27–45.

Tullis, T. S., & Stetson, J. N. (2004). A comparison of questionnaires for assessing website usability, in: *Usability professional association conference*.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 23/12/2018
Aceitação/Acceptance: 18/02/2019

Análisis de posibles evasiones tributarias del impuesto al valor agregado en Ecuador a través de un modelo estocástico no paramétrico

Meitner Cadena[1], Eduardo Morán[2]

mncadena2@espe.edu.ec, edmoranra@uide.edu.ec

[1]Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí, Ecuador.

[2]Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

Pages:428–438

Resumen: Este artículo establece una metodología basada en técnicas estocásticas, con el objetivo de crear un modelo que permita identificar posibles evasores tributarios del impuesto al valor agregado (IVA) en Ecuador. Se utiliza una población de contribuyentes que representa más del 90% en la recaudación del IVA durante los períodos fiscales entre el 2014 al 2017 lo que representa una base para minería de aproximadamente 86.400.000 registros de la autoridad SRI, agrupados por (CIIU) y denominándose conglomerados económicos; se analizan atipicidades en el comportamiento temporal creando un índice de ventas mensual. Los valores atípicos son identificados mediante la técnica estadística no paramétrica de Gertensgarbe y Werner, determinando umbrales que diferencian valores usuales e inusuales, resultando seleccionados 32 contribuyentes que muestran valores más elevados del índice. Se compara la facturación de sus clientes y proveedores. Los resultados determinan una alta probabilidad de sub declaraciones en el IVA y/o acumulaciones crecientes de crédito tributario, considerándose indicios de evasión tributaria.

Palabras-clave: modelo estocástico; impuesto al valor agregado; conglomerado; desviación estándar; valor inusual; Gertensgarbe y Werner.

Analysis for Possible Tax Evasions from the Value Added Tax in Ecuador Using an Stochastic Model with a Non-parametric Technique

Abstract: This article establishes a methodology based on stochastic techniques, with the objective of creating a model that allows the identification of possible tax evaders of the value added tax (VAT) in Ecuador. A population of taxpayers that represents more than 90% in VAT collection during the fiscal periods between 2014 to 2017 is used, which represents a bid data mining base of approximately 86,400,000 records of the SRI authority, grouped by activity codes then being called economic conglomerates; Atypicalities are analyzed in the temporal behavior by creating a monthly sales index. The outliers are identified by Gertensgarbe and Werner's nonparametric technique, determining thresholds that differentiate usual

and unusual values, resulting in 32 contributors that show higher values of the index. Billing your customers and suppliers is compared. The results determine a high probability of sub declarations in the VAT and / or increasing accumulations of tax credit, considering signs of tax evasion.

***Keywords**:* stochastic model; value added tax; conglomerate; standard deviation; unusual value, Gertensgarbe y Werner.

1. Introducción

1.1. Evasión tributaria en Ecuador.

La visión dominante sobre el estudio y la práctica del servicio de recaudación de impuestos, menciona que los contribuyentes siempre buscarán su propio interés, por tal motivo los impuestos se considerarán costos que se podrían evitar, a menos que la probabilidad de ser detectados sea alta y la severidad de la pena no sea una opción atractiva (Wenzel, 2005, p. 492).

Esto significa que los contribuyentes estarían motivados a desarrollar estrategias de evasión tributaria que incrementen sus beneficios económicos. Al respecto, se identifican los dos siguientes tipos de procedimientos intencionales de evasión fiscal, ver por ejemplo (Wenzel, 2002, p. 630): uno, donde se recurra a prácticas ilegales, como la no declaración de impuestos sin ningún justificativo legal para hacerlo, y, otro, donde se use procedimientos legales para evitar la declaración de impuestos. Algunos casos de estos tipos de evasión son presentados más adelante, en la sección sobre resultados y análisis de los mismos. También se considera como evasión tributaria a los casos donde se incumplen intencionalmente o no intencionalmente, las obligaciones tributarias por desconocimiento o falta de información sobre ellas. El presente estudio considera las dos primeras situaciones de evasión tributaria.

De otra parte, este estudio se enfoca en el análisis del impuesto al valor agregado (IVA, conocido en inglés como value-added tax, VAT), en donde, cada contribuyente es afectado por este impuesto solo en la proporción de valor añadido sobre el producto final, por lo tanto, el bien final será gravado con la proporción al precio final (Oakland, 1961). Este impuesto surgió a nivel mundial desde mediados del siglo 20, exceptuando principalmente Estados Unidos, y usualmente se aplica a todos los bienes adquiridos, inclusive aquellos comprados fuera de la jurisdicción de declaración de este impuesto.

El IVA que es pagado por los consumidores es colectado por los productores, quienes tienen que a su vez declararlo y pagarlo al Estado. Sin embargo, los contribuyentes podrían evadir la declaración de estos impuestos al subdeclarar o no declarar las ventas. Este tipo de procedimiento es evidentemente ilegal. Otro procedimiento de subdeclaración de IVA es la creación de crédito tributario, el cual es un procedimiento legal que sirve para indicar que el IVA a ser pagado en realidad va a ser compensado con IVA que se genere en futuras compras. Cabe indicar que, en Ecuador, la normativa de creación de crédito tributario no regula el plazo de mantenimiento de crédito tributario ni los montos límites que este podría tener, lo que deja abierta la posibilidad que un crédito tributario nunca llegue a ser compensado con IVA originado con compras futuras.

Cabe indicar que los ingresos tributarios por concepto de IVA son importantes en Ecuador, constituyendo los mayores porcentajes de recaudación frente a otros (Banco Central del Ecuador 2014). Esto significa que se torna imprescindible el desarrollo de mecanismos y estrategias para prevenir y mitigar la evasión del IVA. (Mendieta & Rodríguez 2004, p. 75) estimaron en 23.9% la evasión del IVA para el año 2002 y en 24.3% para el año 2003. Estos autores efectuaron esta estimación utilizando el método de consumo, el cual consiste en el cálculo del IVA a partir del consumo final de los hogares de bienes y servicios gravados con IVA.

Finalmente, el presente análisis de evasión del IVA por parte de los contribuyentes se restringe a la población relacionada con la economía formal, es decir, se excluyen individuos relacionados con la economía informal, ver por ejemplo (Enzo, 2009, p. 286) y (Blackburn et al., 2012, p. 249).

1.2. Identificación de contribuyentes evasores del IVA.

El Servicio de Rentas Internas (SRI) realiza continuos esfuerzos para identificar posibles evasores tributarios, así como analiza los mecanismos empleados para llevar a cabo estas defraudaciones. Entre las estrategias de defraudación detectadas más recientemente por el SRI se tiene las llamadas "empresas fantasmas", las cuales son dispositivos para producir comprobantes de venta que permiten reducir el valor de impuestos a pagar, lo que llevó a este organismo de control a la reformulación de los procedimientos tributarios en Ecuador (SRI, 2016, pp. 4-5).Para el caso específico de la detección de evasores del IVA, el SRI usualmente emplea procedimientos que toman mucho tiempo. Por ello, una necesidad para este organismo de control constituye el empleo de procedimientos rápidos automatizados.

En este estudio proponemos una metodología basada en técnicas estadísticas para identificar evasiones tributarias del IVA en Ecuador. La idea de esta metodología es asociar atipicidades en declaraciones tributarias, o evasiones, con comportamientos de valores inusuales que pueden ser identificados a través de regiones de valores extremos determinadas por la técnica estadística no paramétrica de Gertensgarbe y Werner, la cual permite determinar umbrales que diferencian valores usuales de aquellos inusuales. Para este propósito, se analiza el comportamiento de un índice asociado a varios individuos que guardan alguna comparabilidad. Entonces, primero, los contribuyentes, que pueden ser personas naturales o jurídicas, que son organizados en conglomerados económicos definidos por la Clasificación Industrial Internacional Uniforme, de forma que en cada uno de estos conglomerados se analice estas atipicidades en el comportamiento mensual de un índice de ventas de los contribuyentes. Los valores atípicos de este índice estarían relacionados con prácticas tributarias inusuales. Esta metodología es evaluada en una población de contribuyentes que representó más del 90% de las recaudaciones del IVA durante los períodos fiscales entre el 2014 al 2017. A fin de determinar los casos de evasión tributaria, se seleccionaron 32 contribuyentes, los cuales mostraron los valores más elevados del índice de ventas analizado. Para cada contribuyente de este conglomerado económico se profundiza el análisis al incluir las declaraciones de IVA, relacionadas con la facturación del contribuyente, de sus proveedores y de sus compradores. La comparación de estas facturas permite describir la mecánica de evasión del IVA, si existiere.

En la siguiente sección de describen los métodos de análisis empleados en este artículo. La sección 3 presenta los resultados de la investigación y el análisis de los mismos. La sección 4 presenta conclusiones, y finalmente las recomendaciones del estudio, conjuntamente con detalles de los próximos pasos para continuar con análisis complementarios para profundizar y mejorar la metodología.

2. Método

El propósito de la investigación realizada fue la determinación de un procedimiento que permita la identificación de potenciales contribuyentes que cometen evasión fiscal relativa al impuesto al valor agregado (IVA). El método de análisis consistió en identificar comportamientos atípicos en el tiempo de un indicador sobre las ventas realizadas por los contribuyentes. Posteriormente, las empresas portadoras de esas atipicidades fueron analizadas en cuanto a variables relacionadas con el impuesto al valor agregado (IVA), de forma que se identifique casos de incoherencias sobre información relacionada con este impuesto. Para el efecto, se analizó la información mensual del IVA desde enero del 2014 a diciembre del 2017. Debido al excesivo volumen de información disponible, conjuntamente con técnicos del SRI, se decidió escoger 10.000 contribuyentes que representaban en conjunto más del 90% de recaudación del IVA. Entre estos contribuyentes se tuvieron tanto empresas como personas naturales.

En cuanto al indicador sobre las ventas mensuales realizadas por los contribuyentes, I_{ta}, para un contribuyente dado, se calculó el índice siguiente:

$$I_{ta} = \frac{\text{Ventas totales en el mes } t}{\text{Ventas totales en el año } a}$$

Las ventas totales consideradas conciernen tanto ventas locales como exportaciones. Por ello, este indicador toma valores entre 0 y 1 cada mes. A fin de identificar atipicidades de este indicador, se consideraron todas las empresas relacionadas entre sí en términos de sus actividades económicas. Estas agrupaciones de empresas fueron realizadas tomando en cuenta los cinco primeros caracteres alfanuméricos del código del CIIU. Adicionalmente, solamente se consideraron conglomerados con al menos 100 contribuyentes de forma que se evalúen atipicidades en un número considerable de valores del indicador I_{ta}. A estas agrupaciones se las denomina conglomerados económicos.

Asumiendo que los valores del indicador asociados a los contribuyentes de un conglomerado económico presentaron comportamientos similares a través del tiempo, puesto que estos contribuyentes se encontraban relacionados entre sí a través de una actividad económica, la idea de atipicidad que se consideró fue la identificación de valores del indicador que muestran comportamientos distintos a los valores de este indicador que indican la mayoría de contribuyentes del conglomerado en análisis. La técnica para identificar estos valores atípicos se presenta más adelante. Adicionalmente, una vez que se identificaron los contribuyentes que presentan atipicidades en I_{ta}, se seleccionaron aquellos contribuyentes que presentaron estas atipicidades en forma sistemática, esto es a través de todo el período de análisis, desde enero del 2014 a diciembre del 2017.

Posteriormente, considerando los contribuyentes anteriormente seleccionados, se profundizó el análisis de información relacionada con el IVA. En este sentido, se comparó el IVA declarado por el contribuyente respecto al IVA pagado por sus proveedores y al IVA retenido por sus compradores. De acuerdo al procedimiento normal de declaración del IVA, es de esperarse que, en compras realizadas, el valor del IVA declarado por el contribuyente analizado sea igual al valor del IVA declarado por el proveedor, y, en ventas realizadas, el valor del IVA declarado por el contribuyente analizado sea igual al valor del IVA declarado por el comprador. Sin embargo, esto no ocurre necesariamente en la práctica, y por ello el análisis realizado se concentra en las declaraciones de IVA del contribuyente analizado que son inferiores a aquellas que señala el comprador. Adicionalmente se tiene que puede haber declaraciones de crédito tributario, sin que por ello este IVA sea necesariamente pagado, por lo que también se analiza el proceso de acumulación de IVA en este tipo de crédito tributario.

En cuanto a la técnica de identificación de valores atípicos empleada, se utilizó la técnica de Gertensgarbe y Werner (Gertensgarbe & Werner, 1989, pp. 224-226) quienes propusieron un procedimiento no paramétrico basado en el conocido estadístico no paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945, pp. 245-259, y Kendall, 1975, pp. 1-200), pero para identificar valores atípicos en series temporales de variables meteorológicas. Cabe indicar que esta técnica no considera la temporalidad de los datos analizados. Esta técnica ha sido aplicada en otros campos, así por ejemplo en el ámbito de seguros (ver por ejemplo Cebrián et al., 2003, p. 35) donde los datos son relativos a siniestralidades. En nuestro caso, se la ha adaptado para crear un método en donde se pueda detectar atipicidades de las empresas para saber si estas podrían tener evasión en la recaudación tributaria.

El procedimiento de esta técnica consiste en disponer los datos originales x_1, ..., x_n analizados en orden ascendente, $[x]_1 \leq \cdots \leq [x]_n$, y, posteriormente, se analiza las diferencias de estos datos ordenados. El indicador en cuestión es

$$U_i = \frac{U_i^* - \frac{i(i-1)}{4}}{\sqrt{\frac{i(i-1)(i+5)}{72}}} \quad (1)$$

donde $1 \leq i \leq n$, $U_i^* = \sum_{k=1}^{i} n_k$ y n_k es el número de valores Δ_1, ..., Δ_k que son más pequeños que Δ_k, siendo $\Delta_l = [x]_l - [x]_{l-1}$. El término $i(i-1)/4$ se interpreta como el valor esperado de U_i^* mientras que $i(i-1)(i+5)/72$ como la varianza de esta variable. Denotando la serie obtenida por U, adicionalmente, se construye una serie U^p considerando el orden descendente $[x]_n$, ..., $[x]_1$. La intersección de las curvas U y U^p produce un punto cuya significancia estadística puede evaluarse utilizando la distribución normal. Esto se debe a que el estadístico U_i, o U_i^p, convergen asintóticamente a valores siguiendo una distribución normal estándar cuando n tiende hacia infinito. A este punto de intersección le corresponde un valor x el mismo que se interpreta como el umbral a partir del cual los valores que lo superan pueden considerarse como valores extremos.

3. Resultados

La organización de conglomerados de contribuyentes por los 5 primeros dígitos del CIIU y considerando los conglomerados con al menos 100 contribuyentes en cada uno de ellos, produjo 23 conglomerados. En cada uno de estos conglomerados se construyó el índice el cual es analizado a continuación utilizando la técnica de Gertensgarbe y Werner.

Caso (grupo)	N (*)	Media	Máximo
1	5.6**	0,08086	1,00000
2	7.8**	0,08168	1,00000
3	5.6**	0,08157	1,00000
4	7.0**	0,08248	0,66667

(*) Se omiten las dos últimas cifras enteras a fin de guardar confidencialidad de los datos

Tabla 1 – Estadísticos de la muestra de contribuyentes seleccionada, considerando cuatro conglomerados económicos

La Tabla 1 presenta algunos estadísticos de cuatro de los conglomerados formados, a los cuales se les hará seguimiento más adelante como casos. Se omite el detalle de los otros conglomerados a fin de guardar confidencialidad de la información utilizada. En los resultados de esta tabla se puede observar que hay gran variabilidad en el número de observaciones, variable representada por N, que conforman estos conglomerados; de hecho, un grupo que no se encuentra representado en esa tabla tiene 18.5** observaciones. Un hecho relevante de los valores medios presentados, es que ellos varían muy poco entre sí, y en términos de los valores máximos esta variabilidad es casi inexistente. La presencia de valores inusuales en estos conglomerados económicos es analizada en la próxima subsección.

3.1. Estimación de umbrales para definir valores inusuales.

Para estimar umbrales que identifiquen regiones con valores inusuales, se aplicó la técnica de Gertensgarbe y Werner a cada uno de los 23 conglomerados económicos formados, sin embargo, a continuación, se analizan solamente los cuatro casos introducidos en la Tabla 1, a fin de guardar confidencialidad de la información utilizada.

La Figura 1 muestra las curvas creciente y decreciente de los datos ordenados de observados, y sus cruces, para el caso 3 descrito en la Tabla 1. Las curvas en este gráfico están estandarizadas respecto al número de observaciones representado en el eje de abscisas, de forma que se guarde confidencialidad de la información utilizada.

Los resultados de esta figura ponen en evidencia la presencia de valores inusuales en el conglomerado económico analizado correspondiente al caso 3. Para los otros conglomerados se obtuvieron resultados similares. En efecto, los puntos de cruce de las dos curvas graficadas dan el umbral a partir del cual se puede considerar que las observaciones son valores inusuales. Este umbral queda definido por el valor del índice I_{ta} asociado a la coordenada de abscisa de ese punto de cruce. La significancia estadística de estos umbrales es evaluada en el eje de las ordenadas, a través de un

valor de la distribución normal Z correspondiente con el punto de cruce. En este caso la hipótesis nula es que el umbral detectado no es estadísticamente significativo, por lo que la asociación del punto de cruce con ordenadas superiores a 3 o inferiores a -3, conlleva al rechazo de esta hipótesis, por lo que se concluye que el umbral correspondiente es estadísticamente significativo. La presencia de este tipo de valores resultó ser notoria en el segundo caso, pero muy marginal en el cuarto caso. De todas formas, la existencia de estos umbrales es importante puesto que muestra que, en cuanto a ventas, algunos contribuyentes realizaron comportamientos distintos a los comportamientos que la mayoría de los contribuyentes. Nótese que, si no se produjera un cruce de las curvas creciente y decreciente, ello implicaría que no se detectan valores inusuales en el grupo económico analizado.

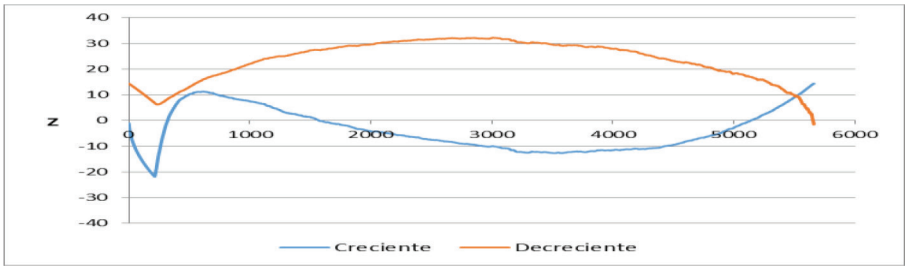


Figura 1 – Curvas de Gertensgarbe y Werner, considerando cuatro conglomerados económicos. Todas las curvas han sido estandarizadas sobre el número de observaciones

Caso (grupo)	Umbral de I_{ta}	Valor p del umbral	Porcentaje de observaciones inusuales
1	0,12067	< 0,00001	7,8%
2	0,13855	< 0,00001	12,3%
3	0,17486	< 0,00001	2,6%
4	0,14366	< 0,00001	1,7%

Tabla 2 – Estadísticos de los umbrales de I_{ta} encontrados, considerando cuatro conglomerados económicos.

La Tabla 2 muestra detalles estadísticos de los umbrales encontrados en cada uno de los cuatro conglomerados económicos analizados. Los umbrales presentados en esta tabla son superiores a los valores medios presentados en la Tabla 1, pero muy inferiores a los valores máximos también presentados en aquella tabla. De otra parte, de acuerdo a los valores p de los umbrales indicados en la Tabla 2, los cuales permiten evaluar la hipótesis nula de que un umbral no es estadísticamente significativo, se concluye que todos los umbrales encontrados son estadísticamente significativos, lo que significa que los valores superiores a estos umbrales efectivamente pueden considerase como valores inusuales. Adicionalmente, se observa que hay porcentajes de valores inusuales detectados significativamente pequeños, como en los dos últimos casos; mientras que en los dos primeros casos los valores inusuales son mucho más frecuentes.

3.2. Selección de contribuyentes para análisis de evasión del IVA.

A fin de proceder con el análisis de evasión del IVA, se seleccionaron los contribuyentes que presentaban los valores más altos en el índice I_{ta} y además registraban al menos 6 desviaciones estándares empíricas respecto a la media empírica de este índice. Esto produjo 32 contribuyentes.

Para este grupo de 32 contribuyentes se incorporó información de facturación de ellos mismos, de los proveedores y de los compradores, de forma que, a partir de la comparación de las declaraciones mensuales del IVA de estos actores, se establezcan indicios de evasión de este impuesto. Para este análisis se elimina del IVA declarado por los contribuyentes los montos registrados en las notas de crédito relacionadas con los compradores, así como se incorpora a este IVA los montos registrados en las notas de débito relacionadas con los proveedores.

El objetivo del análisis de estos 32 contribuyentes es identificar aquellos que presentan indicios de evasión de IVA. El hallazgo de un número importante de potenciales evasores entre estos 32 casos, permitiría, bajo la metodología propuesta, determinar una probabilidad elevada de encontrar este tipo de evasores en un conjunto con gran cantidad de contribuyentes. Cabe indicar que estos 32 casos no representan comportamientos normales esperados, puesto que estos casos seleccionados pertenecen a la región de valores inusuales determinada con la técnica estadística utilizada.

3.3. Análisis de evasión tributaria por no declaración del IVA.

Un tipo de evasión del IVA es la no declaración de este impuesto sin hacer referencia a ningún tipo de argumentación legal, lo que conlleva el empleo de procedimientos ilegales en la declaración del IVA. Este tipo de evasión se la puede detectar en años contables a partir de la comparación entre las facturaciones realizadas por el contribuyente y sus clientes o compradores. Más precisamente, cuando un contribuyente vende bienes o servicios a un comprador, entonces el IVA declarado tanto por el contribuyente como por el comprador debe coincidir. Para el análisis de evasión en cuestión, interesa la identificación de las situaciones donde el IVA declarado por el contribuyente es inferior al IVA declarado por el comprador.

Caso (grupo)	Monto máximo evadido (*)	Monto total evadido (*)
1	3*.***,**	9*.***,**
2	7*.***,**	24*.***,**
3	9*.***,**	16*.***,**

(*) Se omiten las últimas cuatro cifras enteras y las dos cifras decimales a fin de guardar confidencialidad de los datos y se consolidan todos los períodos.

Tabla 3 – Estadísticos de las evasiones por no declaración del IVA, montos evadidos superiores a 30.000 USD

La Tabla 3 presenta una muestra de los resultados obtenidos al analizar las 32 empresas indicadas anteriormente respecto a evasiones por no declaración del IVA, montos evadidos superiores a 30.000 USD. En esta tabla se presenta, por cada uno de

tres conglomerados económicos seleccionados, el monto máximo evadido y el monto total evadido. De ello se encuentra que el monto máximo evadido puede llegar a ser importante, pero mucho más el monto total evadido. Cabe indicar que el número total de contribuyentes detectados que practican este tipo de defraudación fiscal constituyen casi la mitad del número de empresas analizadas.

4. Conclusiones

En el presente estudio se ha formulado una metodología basada en técnicas estocásticas, para la identificación de contribuyentes que presentan indicios de evasión del impuesto al valor agregado (IVA). Esta metodología considera conglomerados de contribuyentes diferenciados por actividad económica, de acuerdo a la codificación de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIUU). La aplicación de esta metodología a una población de contribuyentes representativa del total de recaudación del IVA, evidenció la existencia de contribuyentes que presentaron comportamientos inusuales en un indicador de ventas, que se le denotó por I_{ta}. De esta última población se seleccionó una pequeña muestra a fin de examinar las declaraciones de IVA en sus facturaciones respecto a las versus declaraciones de IVA versus las facturaciones de sus proveedores y de sus compradores.

Este análisis mostró que un porcentaje importante de contribuyentes no declara el IVA reportado por sus clientes, mientras que un grupo importante de contribuyentes acumulan progresivamente crédito tributario, reduciendo por ello sus declaraciones de IVA.

Estos análisis y el proceso de estudio que se ha llevado en la investigación, sugieren la profundización en temas de generación de notas de crédito y de evaluación de límites a los procesos de acumulación de las mismas.

Adicionalmente, es importante que la metodología que empleó declaración de IVA en facturación, sea aplicada en poblaciones más amplias, así como, en poblaciones que no contendrían valores inusuales del índice .con el fin de probar el modelo y la filtración contribuyentes que no tengan propensión a la evasión del IVA, de esta manera lograr que el modelo invalide su proceso de filtración en cuanto a la determinación muy pequeña de casi no existencias en la atipicidad de los valores extremos dentro de estos conglomerados sin posible evasión, para lo cual debería trabajarse con niveles de desviación para descartar lo mismo, para esto sería conveniente trabajar con coeficientes en base a indicadores financieros que estandarice más los datos de modelo.

También, es importante hacer notar que en el presente estudio no se analizó la información de los proveedores o relaciones entre contribuyentes. Este en un próximo paso que será formulado y realizado en investigaciones posteriores.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio de Rentas Internas, autoridad de control tributario en Ecuador, por las reuniones mantenidas para promover el análisis presentado en este artículo, así como, por facilitar la información utilizada en este estudio. Los autores también agradecen a la Universidad Internacional del Ecuador por el auspicio académico

y financiamiento brindado a través del Proyecto 138. Se agradece finalmente a los revisores por sus valiosos comentarios al artículo los cuales han contribuido a mejorar la presentación del mismo.

Referencias

Adams, C. & Webley, P. (2001). Small business owners' attitudes on VAT compliance in the UK. *Journal of Economic Psychology*, *22*, 195–216. doi: 10.1016/s0167-4870(01)00029-0

Andino, M. & Parra J. C. (2016). Estimación de la brecha de la recaudación del IVA e Impuesto a la Renta de las sociedades por industria. Centro de Estudios Fiscales, Servicio de Rentas Internas, Ecuador. 39p.

Borrego, A. C.; Lopes, C. M. & Ferreira, C. M. (2018). The perception of tax complexity within local authorities' VAT framework: Evidence from Portugal. In *Handbook of research on modernization and accountability in public sector management*. doi: 10.4018/978-1-5225-3731-1

Blackburn, K., Bose, N. & Capasso S. (2009). Tax evasion, the underground economy and financial development. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *83*(2), 243–253. doi: 10.1016/j.jebo.2012.05.019

Cebrián, A. C., Denuit, M. & Lambert, P. (2003). Generalized Pareto Fit to the Society of Actuaries' Large Claims Database. *North American Actuarial Journal*, *7*(3), 18-36. doi: 10.1080/10920277.2003.10596098

Enzo, V. (2009). Underground Economy, Evasion and Inequality. *International Economic Journal*, *23*(2), 281–290. doi: 10.1080/10168730902903433

Gertensgarbe, F. W. & Werner P. C. (1989). A method for the statistical definition of extreme-value regions and their application to meteorological time series. *Zeitschrift fur Meteorologie*, *39*, p. 224–226

Holtz-Eakin, D. (1995). SHOULD SMALL BUSINESSES BE TAX-FAVORED?. *National Tax Journal*, *48*(3), 387–395. doi: 10.2307/41789156

Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London, 260p. doi : 10.1111/j.2044-8317.1956.tb00172.x

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, *13*(3), 245–259. doi: 10.2307/1907187

Mendieta, A. & Rodríguez, R. (2004). *Estimación de la evasión tributaria para el impuesto al valor agregado (IVA) por consumo interno en el Ecuador*. Tesis de graduación. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 96p.

Oakland, W. H. (1961). *THEORY OF THE VALUE-ADDED TAX*. Tesis doctoral, University of Massachusetts, 168p.

Servicio de Rentas Internas (2016). *Resolución NAC-DGERCGC16-00000356 del 16 de Agosto del 2016*, 5p.

Wenzel, M. (2002). The Impact of Outcome Orientation and Justice Concerns on Tax Compliance. *Journal of Applied Psychology*, 87(4), 629–645. doi: 10.1037/0021-9010.87.4.629

Wenzel, M. (2005). Motivation or rationalisation? causal relations between ethics, norms and tax compliance. *Journal of Economic Psychology*, 26(4), 491–508. doi: 10.1016/j.joep.2004.03.003

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 26/11/2018
Aceitação/Acceptance: 28/01/2019

Análisis de texturas para medición de forraje verde utilizando imágenes de pastos

Víctor Caranqui-Sánchez[1], Carpio Pineda[2], Miguel Aragón[3], Alexandra Jácome[4]

vmcaranqui@utn.edu.ec, capineda@utn.edu.ec, pdgranda@utn.edu.ec, mvaragon@utn.edu.ec, ajacome@utn.edu.ec

[1,2,3,4] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

Pages:439–449

Resumen: Esta memoria describe una aplicación que clasifica texturas extraídas de imágenes en diferentes etapas del manejo de pastoreo mediante técnicas de visión por computador. Dicha investigación se divide en tres pilares fundamentales: interfaz gráfica de usuario, algoritmos de extracción de características de texturas, y aprendizaje supervisado. Sus resultados contribuyen a mejorar la toma de decisiones mediante la identificación de la mejor parcela, para que el ganado se alimente y mejore la producción de leche. Para el análisis de texturas se usó estadísticos de primer y segundo orden, la validación del algoritmo se realizó mediante la comparación de un patrón de forraje con un porcentaje bajo en materia seca y con muestras de imágenes de parcelas denominadas óptimas y no óptimas, para formar datos de entrenamiento y obtener resultados deseados. Con las matrices resultantes se pudo determinar que la característica de la energía es mejor que el histograma y co-ocurrencia.

Palabras-clave: Texturas; análisis de imágenes; forraje verde; Matlab.

Texture analysis for green forage measurement using pasture images

Abstract: This memoir consists of implementing a program capable of classifying textures extracted from image captures of different stages, using computer vision techniques. The investigation is divided into three fundamental parts: the GUI (Graphical User Interface), the texture characteristic extraction algorithms, and lastly computer-supervised learning. Its results will contribute to improving decision-making by identifying the best plot of land, so that the cattle can be well fed and have an improved milk production. To analyze the results, first and second order statistics were used, and the validation of the algorithm was done by comparing a pattern of fodder with a low percent of dry material and with image samples of plots of land marked as optimal and not optimal to form training data and obtain the desired results. With the resulting matrices it could be determined that the energy characteristic is better than the histogram and co-occurrence.

Keywords*:* Textures; image analysis; green forage; Matlab.

1. Introducción

El procesamiento digital de imágenes tiene un potencial alto para soportar la identificación de plantas (Gebhardt, Schellberg, Lock & Kühbauch, 2006). La textura es una de las características importantes utilizadas en sistemas de recuperación de imágenes basados en contenido (Selvarajah & Kodituwakku, 2011). El impulso principal es determinar qué elemento de textura o combinación de características es más efectiva en la representación de la distribución espacial de las imágenes. Para el cumplimiento de este objetivo existen tres procesos para extraer información de una imagen, que son los descriptores de frecuencia, estructurales y probabilísticos. En esta relación, se analiza y evalúa estadísticas de textura para poder discriminar y etiquetar áreas de una imagen, por ejemplo, identificación de cultivos en una fotografía aérea.

Las características de texturas y color del forraje verde de las parcelas de pasto determinan el éxito del pastoreo. Teniendo como patrón una imagen y su conjunto vector de características de textura, a la que le corresponde un 15% de materia seca, mediante el método más utilizado para determinar la materia seca que es la eliminación del agua libre por medio del calor (Gutiérrez, 2002) se puede reconocer a qué tipo de forraje representan las imágenes ingresadas al algoritmo mediante el análisis de sus características.

Investigaciones anteriores sobre la descripción de textura de una imagen han examinado la matriz de co-ocurrencia, *wavelets*, características, transformada de Gabor, transformada de Fourier y gradiente campo. Basándose en las propiedades estadísticas de un pixel adquirido de una imagen original y a su vez esta transformada a escala de grises, tradicionalmente, se ha utilizado un enfoque estadístico para detectar imágenes fijas (López Hernández, Giménez de Ory, Ríos Aguilar, & González Crespo, 2018). En este caso se utiliza estadísticos de primer orden como energía e histograma, de la misma manera podemos utilizar estadísticos de segundo orden como la matriz de co-ocurrencia.

Muchas otras técnicas incluida la fusión de imágenes basada en pirámide y la fusión de imágenes basada en transformada *wavelet* han sido introducidas para resolver problemas (Tang, 2004). Siendo una *wavelet* diseñada intencionalmente para tener propiedades o características específicas útiles en el procesamiento de señales. Matemáticamente, la *wavelet* se correlacionará con la señal, si una señal desconocida contiene información de frecuencia similar. Esta significación de correlación es el núcleo de una variedad de aplicaciones prácticas de la teoría de *wavelets*, tomando estas características y estadísticas es posible clasificar de mejor manera la textura del forraje verde.

Una interfaz gráfica aportará a la toma de decisiones mediante la elección de la mejor opción de parcela para que el ganado se alimente de acuerdo con el análisis de datos de texturas utilizando el procesamiento de imágenes y disponer del forraje verde de manera óptima en la nutrición de vacas y mejorar la producción de leche.

Este proyecto procede de la investigación de un Trabajo de Fin de Máster de la UNIR, realizado en el Máster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación denominado “Medición de forraje verde mediante análisis de textura”, en colaboración con el Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte (UTN), desarrollado durante el 2018. Dicho proyecto favorece al empleo de nuevas tecnologías, en nuevos procesos de producción del sector

agroalimentario de la Zona de planificación 1, ubicada al norte del Ecuador, compuesta por las provincias de Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos, y cuya economía gira en torno de actividades agropecuarias, mayoritariamente.

De esta forma, la investigación resulta ser acertada y de gran relevancia para el país y, principalmente, para la Zona 1. La pertinencia se evidencia en el marco jurídico de la Constitución de la República, específicamente en el artículo 385, literal 3 que muestra que se debe "desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir" (Asamblea Constituyente, 2008, p. 171). El Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [Senplades], 2017) dentro del objetivo 5 de "Impulsar la Productividad y Competitividad para el Crecimiento Económico Sustentable de Manera Redistributiva y Solidaria" consigna, dentro de sus políticas de aplicación, lo siguiente:

> *5.3. Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, en articulación con las necesidades sociales, para impulsar el cambio de la matriz productiva.*
>
> *5.5 Promover la productividad, competitividad y calidad de los productos primarios y la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para desarrollar la industria agrícola, pecuaria, acuícola y pesquera sostenible con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación (p. 83).*

En resumen, el asunto del proyecto de investigación se adapta en el área de tratamiento de imágenes, concretamente en la disciplina de procesamiento de imágenes, la cual sirve para el análisis de textura en la medición del forraje verde.

2. Materiales y Métodos

Para el muestreo de la selección de imágenes se tomó de forma sinuosa, en consideración las muestras empleadas en pastoreo de diferentes tipos de parcelas y en diferentes épocas, utilizando aprendizaje supervisado para determinar que parcela es óptima y no óptima.

Para evaluar la efectividad y eficiencia del análisis de textura se utilizaron los siguientes materiales y métodos.

2.1. Muestreo de imágenes

Los grupos de imágenes utilizadas pertenecen a parcelas de pasto de la finca Santa Mónica de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en San Roque (Antonio Ante, Ecuador), capturadas en los años 2017 y 2018, con una cámara fotográfica a color Nikon D5200. Las imágenes fueron tomadas de dos formas, una arreglada bajo la proyección de perspectiva utilizando un trípode, y la otra en plano cenital (Gebhardt et al., 2006), usando un brazo de aluminio simple, construido especialmente para tal fin. Las imágenes fueron tomadas sobre diferentes tipos de parcelas denominadas a, b, c, d1 y d2, como se muestra en la Figura 1. Las tres primeras fueron adquiridas en perspectiva y las dos últimas en cenital. El tipo *a* pertenece al forraje ya consumido por el ganado, el *b* corresponde al forraje que están consumiendo, el *c*, al forraje que van a consumir; y los dos últimos tipos de parcelas, tomados en plano cenital, se denominan óptima

(*d1*) y no óptima (*d2*). También se tomó en cuenta la región de interés (ROI) previa configuración de la longitud focal de la cámara. En este caso, la ROI representa un área de terreno de 1×0,67 m, adquirida a una altura de 1,70 m. La configuración de la cámara fue manual, con una velocidad de 1/160 segundos, longitud focal de 16 mm e ISO de 800, un tamaño de imagen de 6000×4000 píxeles; además, se utilizó un lente versátil con rango de longitud focal de 18–55 mm, con alta resolución y nitidez. Cabe indicar que las condiciones de iluminación en el momento de tomarlas fueron adecuadas debido a que se realizaron en días soleados. La altura del forraje en la parcela *d1* fue de 27 cm, y de la parcela *d2* de 22 cm, aproximadamente.



(a) (b) (c) (d1) (d2)

Figura 1 – Imágenes de los diferentes tipos de parcelas

Las imágenes fueron procesadas utilizando el programa Matlab (R2016a), con un procesador Intel Core i7 (8550U) de octava generación con 16 GB de RAM y Windows 10 Home (64 bits).

2.2. Análisis de textura

La textura es una característica importante utilizada para segmentar, identificar un objeto o región de interés en una imagen y obtener una forma. A través de la visión y el tacto, los humanos pueden distinguir visualmente entre diferentes tipos de texturas. (Haralick, 1979).

El análisis de textura juega un papel importante en muchas tareas de procesamiento de imágenes, desde la detección remota hasta la obtención de imágenes médicas, la visión robótica o la búsqueda de información o contenido en un repositorio de imágenes de gran tamaño. Como resultado, en las últimas décadas, se han propuesto varios métodos para extraer las características de la textura, pero el problema radica en la dificultad de encontrar un método óptimo. La clase de entidad principal extraída depende de la suposición de que la textura puede definirse por las propiedades estadísticas locales de un píxel en graduación de grises. Desde el histograma de imágenes, las estadísticas de primer orden se pueden derivar y utilizar como características de textura. Se argumentó rápidamente que no eran bastantes para una representación adecuada de la textura y que era necesario introducir estadísticas de segundo orden. Estos se reflejan efectivamente en las características computadas a partir de la matriz de co-ocurrencia.

Transformada de Fourier vs. Transformada de Wavelet

En los actuales años se ha desarrollado el interés por nuevas técnicas de transformadas como por ejemplo algoritmos piramidales, análisis tiempo frecuencia, y análisis multi

resolución: A partir de esto, la transformada *wavelet* es la herramienta matemática para la disgregación jerárquica de funciones. Esta transformada es una excelente manera de representar los niveles de detalle actuales y tiene como resultado una representación piramidal de la función, que hace posible el cambio de niveles de detalles.

La base de *wavelets* es el análisis de que una función logra ser representada como una composición lineal de funciones *wavelet* escaladas y trasladadas. Esta función se mapea a partir del dominio tiempo-escala o tiempo-frecuencia. Las *wavelets* tienen ventajosas características con respecto a otras transformadas y, en especial, a la transformada de Fourier, que, en este primer caso, realiza:

- Obtención de la información de las frecuencias únicamente.
- Las funciones bases son extensas en ambas direcciones.
- Descompone una función en ondas sinusoidales.

Debido a que las señales en cuestión están definidas en un intervalo de tiempo específicamente y la localización de características importantes Fourier no es óptimo como representación de estas, en este segundo caso las *wavelets* realizan:

- Refinamiento continuo.
- Representación jerárquica.
- Localización.
- Análisis tiempo frecuencia.

Las ventajas de la transformada de Fourier pueden estar en la solución de ciertos problemas del procesamiento digital de imágenes, el análisis de texturas, la compresión, etc.

La trasformada de Wavelets es una herramienta importante para resolver problemas de visión por computador como por ejemplo:

- Análisis de textura.
- Segmentación de imágenes.
- Manejo de niveles de detalle y triangulación adaptativa.
- Obtención de características especificas.
- Compresión de datos.

Contraste

El contraste se entiende como el rango de valores de intensidad utilizados efectivamente dentro de una imagen, dado que es la diferencia entre los valores máximo y mínimo de píxeles de las imágenes (Burger, W. & Burger M. J., 2010). Este contraste es un asunto fisiológico, donde la sección de la vista lo que hace es buscar el equilibrio según un color dado y hace que se produzca su contradictorio en tono, valor, saturación o temperatura, lo que hace que se modifique la percepción de dicho color. Podríamos decir que es el contraste más sutil y complicado de identificar (Acero, 2018). A continuación, la fórmula de aplicación:

$$\sum_{i,j=0}^{N=1} P_{ij}(i-j)^2$$

Donde P es la probabilidad en la celda i, j, i el número de filas, j el número de columnas, N es el número de filas o columnas

Energía
Otra característica interesante para el análisis estadístico es la energía de una imagen, la cual nos indica la dispersión de grises de esta. Al existir una sola escala de gris, sería una energía máxima y de valor uno. Si aumenta el número de escala de grises existentes en la imagen digital, la energía disminuirá. El rango del valor esta dado entre [0,1] siendo uno el mejor valor. Su fórmula es la siguiente:

$$Energía = \sum_{i=0}^{l-1} p(i)^2$$

La característica de la energía regulada en una sub-imagen perfeccionada por N factores que se presenta con la siguiente fórmula:

$$E_{ni} = \frac{1}{n} * \sum_{j*k} \left[D_{ni}(b_j, b_k)\right]^2$$

En ella se manifiesta la distribución de energía en el eje de frecuencia en la escala y orientación determinada.

Entropía
La entropía es la inversa de la energía, la cual nos ayuda a medir la aleatoriedad de la imagen, y su fórmula es la siguiente:

$$Entropia = -\sum_{i=0}^{l-1} p(i) * \log(p(i))$$

Histograma
El histograma registra la cantidad de salidas de cada nivel de gris presentada en una imagen digital, en el eje de las abscisas son los niveles de grises, mientras que el eje de las ordenadas pertenece a la frecuencia de cada número de gris correspondiente a la imagen digital, con esta premisa mostramos la siguiente formula:

h(i) = número o cantidad de ocurrencias de la escala de gris *i* en la imagen digital.

$$p(i) = \frac{h(i)}{M * N}$$

En el cual *M* y *N* es la cantidad de filas y columnas, respectivamente; *h(i)* corresponde a la relación histograma y *p(i)* corresponde a la posibilidad de ocurrencia.

Correlación
Con respecto a la correlación, esta es muy importante en el reconocimiento de patrones debido a que es una medida de linealidad en la dirección analizada, para esta dependencia lineal en la escala de gris de la imagen se puede usar la siguiente formula:

$$\sum_{i,j=0}^{N=1} P_{ij} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sqrt{\sigma_i \sigma_j}}$$

Todas las características indicadas fueron calculadas para todas las imágenes disponibles utilizando las funciones incorporadas en Matlab.

2.3. Forraje verde

Para la medición de forraje verde es necesario comprender el concepto de materia seca.

El porcentaje de materia seca (MS) del forraje verde es la consecuencia de la extracción del agua que las plantas contienen en la fase fresca o verde. Este trabajo generalmente se efectúa en laboratorios técnicos, donde los hornos de soplo forzado se utilizan a temperaturas entre 60 y 105° C durante 24 a 48 horas o durante el tiempo requerido para que el espécimen tenga un peso firme. "Este asunto es lento, pero asegura que la contextura nutricional del forraje no se vea afectada. La expresión de este parámetro es proporcional. es decir, como porcentaje del total de forraje fresco cosechado" (Stolzenbach, 2007).

A continuación, se presentan gráficas importantes para el entendimiento del forraje verde y del forraje seco, que es el alimento principal del ganado.

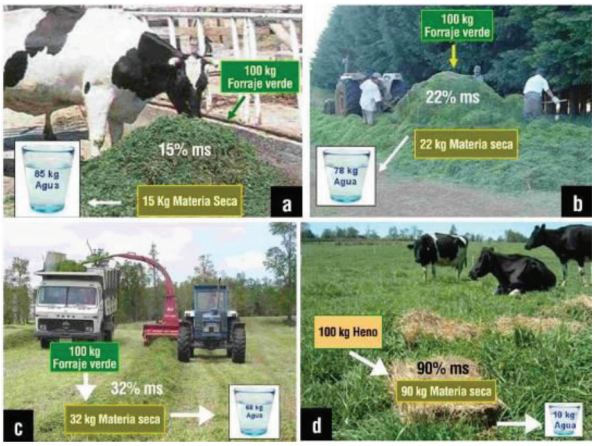


Figura 2 – Cuadro de forrajes con diferentes contenidos de materia seca (Stolzenbach, 2007)

2.4. Clasificación

En este etapa se hace uso de un tipo de algoritmo de aprendizaje supervisado (Iv, Michie, Spiegelhalter & Taylor, 1996), que utiliza un conjunto de datos previamente conocidos que vienen a representar el conjunto de datos de entrenamiento. A partir de esto, el algoritmo busca crear una función capaz de predecir valores de respuesta para un nuevo ingreso de datos. En este caso, a partir de las características de textura de las imágenes de pasto.

Clasificador KNN

Antes de llevar a cabo la clasificación de KNN (vecino más cercano), el conjunto de datos era segregado en datos de entrenamiento e identificaciones de muestra. Fuera de eso, 50% (20 conjuntos de datos) se utilizaron como datos de entrenamiento y el 50% (20 conjuntos de datos) como datos de muestra. Ambos consistían en forraje verde con diferentes contenidos de materia seca, por su precisión en las actuaciones de obras anteriores (Jiménez Guerrero, s.f.), a saber, la distancia euclidiana, usando el método leave-one-out. El rango de valores k de 1 se probó con 3 tipos de reglas de clasificación, es decir, aleatorias y cercanas. Sobre la base de lo anterior, la precisión para cada muestra de datos fue determinada y desde aquí, el ajuste óptimo para KNN (Zainuddin, Lee, Mansor & Mahmoodin, 2016).

3. Resultados y discusión

Una vez clasificadas de acuerdo con su tipo se procedió a utilizar el algoritmo de muestreo para la subdivisión de las imágenes en 18 subimágenes, por ende 18 vectores con información de las características.

De esta tabla se puede decir que en lo referente a la característica del contraste notamos que las muestras tomadas de forma perspectiva tienen un coeficiente de variación alto y que las muestras tomadas en plano cenital tienen homogeneidad debido a sus resultados obtenidos y que son menores al 25%, como podemos comprobar en la Figura 3.

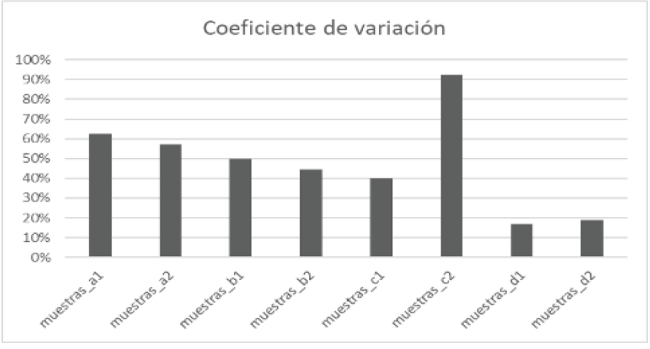


Figura 3 – Análisis de coeficiente de variación para los diferentes tipos de imágenes

3.1. Matriz energía

Los registros están compuestos por 12 subimágenes obtenidas por la transformada de wavelet. Luego del proceso de normalización de las sub-imágenes el primer nivel de descomposición realizado por *wavelet*, que corresponde a H1, V1 y D1 (horizontal, vertical y diagonal) es inferior debido a que corresponden a altas frecuencias donde el espectro de la imagen se acerca a cero. En último nivel de descomposición la característica de la

energía es mayor H4, V4 y D4 adecuado a las bajas frecuencias, lugar donde se acopia la energía de las imágenes.

3.2. Matriz histograma

La matriz de histograma contiene los parámetros que caracterizan el histograma tales como: alfas horizontales, betas horizontales, el vector alfa definido de la siguiente manera: Alfa= [alfas verticales] y el vector Beta de manera similar Beta= [betas verticales]. Además, se encuentran las alfas diagonales y betas diagonales.

3.3. Matriz de Co-ocurrencia

Esta matriz de co-ocurrencia está contenida por registros o vectores de co-ocurrencia con 8 descriptores de la matriz co-ocurrencia de las 12 sub-imágenes de los detalles obtenidos en *wavelet*

Las matrices de Energía, Histograma y Co-ocurrencia son creadas en la función Texturas con los registros de observación obtenidos por las 20 imágenes del grupo óptimo y 20 imágenes del grupo no óptimo de acuerdo con el aprendizaje supervisado, dando un total de 40 imágenes muestra, mismas que son ingresadas al algoritmo de clasificación de patrones.

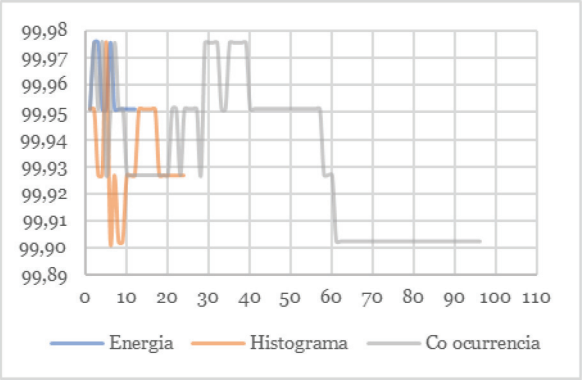


Figura 4 – Resultado de la clasificación frente a las características

Finalmente podemos concluir de acuerdo con la figura 4 que la tasa de aciertos de las tres características tiene un porcentaje alto y la característica que define de mejor manera la textura es la energía del forraje verde que las características de histograma y co-ocurrencia. También se observa que las tres características se mantienen similares en un nivel mayor al 99.3%.

Debido a su sencillez, la característica de la energía en este estudio nos muestra muy buenos resultados evaluados a 40 sub-imágenes de dos tipos de forraje y un patrón de forraje verde que contiene 15% de materia seca.

4. Conclusiones y trabajo futuro

En la actualidad el análisis de textura utilizando procesamiento de imágenes se ha realizado en diferentes líneas de investigación y en campos tanto de la ciencia como de la industria. En este trabajo se ha indagado la literatura y se realiza un marco teórico sobre el análisis de texturas en el forraje verde y materia seca en pastoreo.

Con base en el ciclo de pastoreo que se realiza en la Finca Santa Mónica se puede clasificar las parcelas de acuerdo con su estado para luego poder catalogar a las subimágenes por tipos.

La toma de imágenes en perspectiva para el forraje verde no es adecuada debido a que se pierde información importante de la zona mas lejana a la cámara digital en el momento de la toma de imágenes como se muestra en la Figura 1 (a), (b) y (c), por lo que luego de varias pruebas la forma cenital nos dio como resultado muestras homogéneas, debido a su coeficiente de variación menor al 25% según la figura 3.

Las características de las texturas de imágenes digitales obtenidas, no todas fueron las correctas en este tipo de análisis del forraje verde debido a su estructura. El algoritmo fue entrenado con diferentes tipos de subimágenes correspondientes a diferentes parcelas, con diferente forma de adquirir imágenes y en tiempos distintos.

Podemos decir que la altura del forraje puede ser contrastada con el coeficiente de variación para poder tomar decisiones en cuanto a que parcela ingresar el ganado y que este pueda obtener mayor materia seca para su alimentación.

4.1. Trabajos futuros

Son muchas las mejoras que se pueden realizar a todo lo desarrollado a lo largo de esta investigación:

Utilizar diferentes tipos de clasificación de patrones como, por ejemplo: Maquinas de soporte vectorial (SVM), Redes neuronales artificiales (RNA), árboles de decisión, repositorio de aprendizaje de maquina (MLR), entre otros.

Profundizar en el uso de características de texturas para el forraje verde con diferentes contenidos de materia seca.

En el presente trabajo se ha manejado imágenes digitales que contienen dos tipos de textura análogas por lo que la transformada de wavelet se ejecuta con un mismo nivel de descomposición teniendo buenos resultados en el contraste de las imágenes.

Análisis de textura de forraje de parcelas con la producción de forraje verde hidropónico.

Estos son sólo algunos de los posibles adelantos a esta investigación, aunque podrían contener muchas más, ya que es lógico que cualquier algoritmo, sea susceptible de nuevas mejoras que optimicen el funcionamiento global de la aplicación.

Referencias

Acero, J. C. (2018). ¿Qué es el contraste de color? *OK Diario*. Recuperado de https://okdiario.com/curiosidades/2018/08/18/que-contraste-color-3006299

Asamblea Constituyente. (2008). Constitución del Ecuador. *Organización de Estados Americanos*. Recuperado de https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf

Burger, W., & Burge M. J. (2010). Principles of Digital Image Processing. *Google Libros*. Recuperado de https://books.google.com/books/about/Principles_of_Digital_Image_Processing.html?hl=es&id=2LIMMD9FVXkC

Gebhardt, S., Schellberg, J., Lock, R., & Kühbauch, W. (2006). Identification of broad-leaved dock (Rumex obtusifolius L.) on grassland by means of digital image processing. *Precision Agriculture, 7*(3), 165-178. DOI: 10.1007/s11119-006-9006-9

Gutiérrez, A. A. (2002). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis, *Pastos, 22*(1), 91-104.

Haralick, R., M. (1979). Statistical and structural approaches to texture. IEEE Proceedings Of, 67(5)., 67. Recuperado de http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.450.5220&rep=rep1&type=pdf

Iv, J. F. E., Michie, D., Spiegelhalter, D. J., & Taylor, C. C. (1996). Machine Learning, Neural, and Statistical Classification. *Journal of the American Statistical Association, 91*(433), 436. DOI: 10.2307/2291432

Jiménez Guerrero, M. D. P. (s.f.). Extracción de características de textura basada en la transformada wavelet discreta. *Universidad de Sevilla*. Recuperado de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11494

López Hernández, F., Giménez de Ory, E., Ríos Aguilar, S., & González Crespo, R. (2018). Residue properties for the arithmetical estimation of the image quantization table. *Applied Soft Computing, 67*, 309-321. DOI: 10.1016/j.asoc.2018.03.017

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). Plan Nacional para el Buen-Vivir 2017-2021. Recuperado de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

Selvarajah, S., & Kodituwakku, S. R. (2011). Analysis and Comparison of Texture Features for Content Based Image Retrieval. *International Journal of Latest Trends in Computing, 2*(1), 6.

Stolzenbach, M. G. (2007). Manejo del Pastoreo. *Fundación para la Innovación Agraria*. Recuperado de http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/2080/Manejo%2526%2523095%253BPastoreo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tang, J. (2004). A contrast based image fusion technique in the DCT domain. *Digital Signal Processing, 14*(3), 218-226. DOI: 10.1016/j.dsp.2003.06.001

Zainuddin, A. Z. A., Lee, K. Y., Mansor, W., & Mahmoodin, Z. (2016). Optimized KNN classify rule for EEG based differentiation between capable dyslexic and normal children. En *2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)* (pp. 685-688). Malaysia: IEEE. DOI: 10.1109/IECBES.2016.7843537

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 15/12/2018
Aceitação/Acceptance: 27/02/2019

Integral-Optimal Sliding Mode Controller Tuning with Particle Swarm Optimization applied to a Rotary Inverted Pendulum

Andrés Cuaycal[1], Israel Paredes[2], Marco Herrera[3], David Pozo[4]

andres.cuaycal@epn.edu.ec, israel.paredes@epn.edu.ec, marco.herrera@epn.edu.ec, david.pozo@udla.edu.ec

[1,2,3] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador

[4] Universidad de las Américas, 170523, Quito, Ecuador

Pages:450–464

Abstract: This paper presents the implementation of an Integral Sliding Mode Control (ISMC) applied to a nonlinear and unstable system based on a rotary inverted pendulum (ROTPEN). The ISMC uses an optimal controller based on a linear quadratic with integral action tuned by the use of Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The ISMC is used to ensure robustness against parametric uncertainties, modeling errors and external disturbances. Experimental tests are performed to verify the reference tracking and robustness of the controller tuned with PSO. Finally, the performance of the designed controlled is measured using Integral of the Square Error index (ISE).

Keywords: Rotary Inverted Pendulum; Integral Sliding Mode; LQI; PSO; ISE.

1. Introduction

The Rotary Inverted Pendulum (ROTPEN) is a system with two degrees of freedom and only one control input. This feature makes it a challenging problem for its stabilization control due to its nonlinear and unstable behavior. In this way, many control system laboratories usually use the ROTPEN as a testbench to analyze and design different nonlinear and multivariable controllers (Azar & Serrano, 2015). Moreover, in a practical approach, the perturbations and uncertain parameters affect the system. In order to deal with this type of systems, many design approaches have been used, such as: feedback linearization, backstepping and sliding mode controllers. Among them, sliding mode control (SMC) is robust and can handle in a good way the uncertainties and disturbances (Utkin, 1977; Young, Utkin & Ozguner, 1999). SMC has been applied to a wide range of applications including motor control, process control and power control (Utkin, 1993; Utkin et al., 2009). In sliding mode control once the system states reach the switching plane (sliding mode) these remain insensitive to variations of system parameters and external disturbances. However, before sliding phase occurs (reaching phase), the system can be affected by external disturbances. In order to avoid this behavior in the reaching phase, the Integral Sliding Mode Control (ISMC) was developed. ISMC ensures

robustness through the entire system response starting from the initial time instance (Utkin & Shi, 1996; Rubagotti et al., 2011).

Many control strategies have been used to stabilize the ROTPEN in its unstable equilibrium point. A Linear Quadratic Regulator (LQR) is used in Nath & Dewan (2017b) to achieve this purpose, where Q and R matrices are chosen by means of intelligent optimization techniques. In Nath & Dewan (2017a), the full feedback gain matrix is iteratively calculated towards minimization of the error signal by the use of adaptive techniques. In Wen, Shi & Lu (2017), a logarithmic function is constructed as the Lyapunov candidate function in order to stablish a controller to stabilize the system. Other authors have developed an Optimal Variable Structure Controller (VSC), where the optimality is added by using an LQR as the sliding surface in the VSC design (Paredes et al., 2017). In Dwivedi, Pandey & Junghare (2017), two fractional controllers are used to stabilize the pendulum in its upright position minimizing the deviation in the rotational arm. Additionally, Fuzzy techniques have been also applied for the swing up and stabilization control of the rotary inverted pendulum as shown in Khanesar, Teshnehlab & Shoorehdeli (2007); Li (2013).

In this article, an Integral Sliding Mode Control is designed to control a Rotary Inverted Pendulum using LQI as the nominal controller and with optimality added in the ISMC design. The choice of Q and R matrices is usually done by trial and error and it is a tedious procedure (Kumar, Jerome & Srikanth, 2014). In this work, PSO algorithm is used to choose the Q and R matrices that gives the optimum state feedback controller gains. PSO is an optimization algorithm based on collective behavior such as bird flocking and fish schooling. It is also related to evolutionary computation (Kennedy & Eberhart, 1995). PSO requires an objective function. In this case, a minimizing function based on the ISE index of error of the pendulum arm angle is used. Finally, in order to design the controller, a linearized system at the unstable equilibrium point is used.

This paper is organized as follows. In Section 2, the description of the system is presented. In Section 3, the nonlinear dynamic model of the Rotary Inverted Pendulum is showed. Moreover, the model of the actuator is also considered as a part of DC Motor dynamics. In Section 4, the Integral Sliding Mode Control with reduction of chattering is designed and the nominal controller is tuned using PSO algorithm. In Section 5, the performance of the designed controllers is verified through experimental tests. Finally, the conclusions are presented in Section 6.

2. Description of the system

A three-dimensional representation of the Rotary Inverted Pendulum is shown in Figure 1, which consist of two connected inertial bodies: a central pillar with moment of inertia J rigidly connected to a horizontal arm of length l_p and mass m_p homogeneously distributed in line.

The angle of the pendulum, theta (θ), has been defined as zero in the inverted vertical position, and positive when the pendulum moves clockwise, the angle of the arm, phi (ϕ), has been defined as positive when the arm moves counterclockwise. The variable τ_ϕ represents the torque in the direction of the position of the arm.

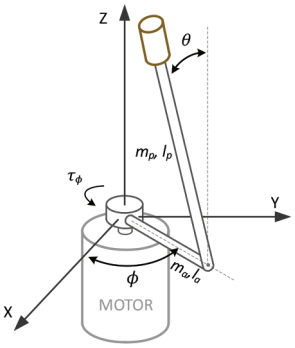


Figure 1 – Three-dimensional representation of the rotary inverted pendulum

3. System Model

In this section the nonlinear dynamic model of the system is presented.

3.1. Rotary Inverted Pendulum Model

The nonlinear dynamic model is described as (Escobar-Dávila, Montoya-Giraldo, & Giraldo-Buitrago, 2013):

$$(\alpha + \beta \sin^2\theta)\ddot{\phi} + 2\beta\dot{\phi}\dot{\theta}\sin\theta\cos\theta + \gamma\ddot{\theta}\cos\theta - \gamma\dot{\theta}^2\sin\theta = \tau_\phi$$

$$\gamma\ddot{\phi}\cos\theta + \beta\ddot{\theta} - \beta\dot{\phi}^2\sin\theta\cos\theta - \delta\sin\theta = 0$$

where:

$$\alpha = J + \left(\frac{1}{3}m_a + m_p\right){l_a}^2, \quad \beta = \frac{1}{3}m_p{l_p}^2, \quad \gamma = \frac{1}{2}m_p l_a l_p, \quad \delta = \frac{1}{2}m_p g l_p$$

$$v = Ri + L\frac{di}{dt} + k_e\dot{\phi}, \quad i = \frac{1}{R} - \frac{k_e}{R}\dot{\phi}, \quad \tau_\phi = k_t i, \quad \tau_\phi = \frac{k_t}{R}v - \frac{{k_t}^2}{R}\dot{\phi}$$

3.2. State-Space Model of Rotary Inverted Pendulum

Based on the mathematical model presented in equations (1) and (2) it is possible to construct a non-linear state-space with first order differential equations. Considering the state-space variables $x_1 = \phi$, $x_2 = \dot{\phi}$, $x_3 = \theta$, $x_4 = \dot{\theta}$, the non-linear state-space equation is defined by (3). It represents the behavior of the physical system at any point of operation and can be linearized around a particular point of interest.

$$\dot{x_1} = x_2$$

$$\dot{x_2} = \frac{\beta\tau_\phi - \beta\gamma {x_2}^2 \cos^2 x_3 \sin x_3 - 2\beta^2 x_2 x_4 \cos x_3 \sin x_3}{\alpha\beta - \gamma^2 + (\beta^2 + \gamma^2)\sin^2 x_3}$$

$$+ \frac{\beta\gamma {x_4}^2 \sin x_3 - \gamma\delta \cos x_3 \sin x_3}{\alpha\beta - \gamma^2 + (\beta^2 + \gamma^2)\sin^2 x_3}$$

$$\dot{x_3} = x_4$$

$$\dot{x_4} = \frac{2\beta\gamma x_2 x_4 \cos^2 x_3 \sin x_3 - \gamma^2 {x_4}^2 \cos x_3 \sin x_3 + \delta(\alpha + \beta \sin^2 x_3)\sin x_3}{\alpha\beta - \gamma^2 + (\beta^2 + \gamma^2)\sin^2 x_3}$$

$$+ \frac{-\gamma\tau_\phi \cos x_3 + \beta {x_2}^2 (\alpha + \beta \sin^2 x_3)\cos x_3 \sin x_3}{\alpha\beta - \gamma^2 + (\beta^2 + \gamma^2)\sin^2 x_3}$$

3.3. Linear state-model of the Rotary Inverted Pendulum

Considering equation (3), the expression of τ_ϕ and the equilibrium point $x_0 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$, the linearization of the system can be done by Taylor expansion series. The final linear model of the system is expressed in matrix form and is presented in equation (4), where the input to the system is the voltage applied to the DC motor.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

where:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\beta {k_t}^2}{R(\gamma^2 - \beta\alpha)} & \frac{\delta\gamma}{\gamma^2 - \beta\alpha} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{-\gamma {k_t}^2}{R(\gamma^2 - \beta\alpha)} & \frac{-\delta\alpha}{\gamma^2 - \beta\alpha} & 0 \end{bmatrix} \qquad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\beta k_t}{R(\gamma^2 - \beta\alpha)} \\ 0 \\ \frac{-\gamma k_t}{R(\gamma^2 - \beta\alpha)} \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

The nominal parameters of the Rotary Inverted Pendulum system are presented in Table 1 (Quanser Inc., 2011).

Description	Parameter	Unit
Horizontal arm mass	$m_a = 0.08$	Kg
Mass of the pendulum	$m_p = 0.027$	Kg
Length of the horizontal arm	$l_a = 0.0826$	m
Pendulum length	$l_p = 0.191$	m
Gravity	$g = 9.81$	m/s^2
DC Motor Resistance	$R = 8.7$	Ω
DC Motor Inertia	$J = 1.8 \times 10^{-6}$	$Kg\ m^2$
DC Motor Torque constant	$k_t = 0.03334$	Nm/A
DC Motor EMF constant	$k_e = 0.03334$	$V/(rad/s)$

Table 1 – Nominal Parameters of the Rotary Inverted Pendulum system

Substituting nominal parameters of Table 1 into the linear state-space model of the pendulum represented by equation (5), the matrices shown in equation (6) are obtained.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5560 & -71.3334 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.3607 & 123.2367 & 0 \end{bmatrix} \qquad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 16.6766 \\ 0 \\ -10.8180 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

Analyzing the system described in equation (6), the pair (A, B) is controllable.

4. Controller Design

In this section the development of LQI controller is presented and the selection of the Q and R matrices is explained. Finally, the complete ISMC controller is presented.

4.1. LQI Controller

To achieve a zero steady-state error under a desired reference, the integral of the error $\varepsilon(t)$ is added to the state feedback control law as shown in Figure 2.

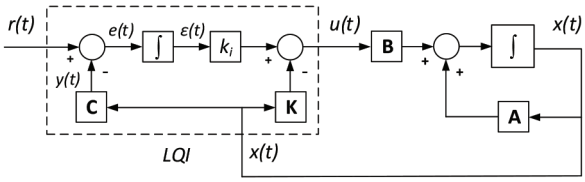


Figure 2 – LQI controller scheme

Where $K = [k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad k_4]$ is the matrix used for the full feedback control law and k_i is the integral error constant.

The error is defined by:

$$e(t) = r(t) - Cx(t)$$

Moreover, the error can be replaced by:

$$e(t) = \dot{\varepsilon}(t)$$

Then $\varepsilon(t)$ can be introduced as a new state to the system and the augmented state equation is found.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{\varepsilon}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ \varepsilon(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r(t)$$

The extended system matrices are named as follows:

$$x_a(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ \varepsilon(t) \end{bmatrix}, \quad A_a = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix}, \quad B_a = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}$$

The LQR method can be used to find the optimal controller that minimizes a given cost function. The cost function is parametrized by two matrices Q and R that weight the state vector and the system input, respectively. Q is a non-negative definite matrix that penalizes the system states and R is a positive definite matrix that penalizes the control input.

$$J = \int_0^\infty [{x_a}^T(t) Q x_a(t) + u^T(t) R u(t)] dt$$

The optimal control input is found by solving the algebraic Riccatti equation given by:

$$P A_a + {A_a}^T P - P B_a R^{-1} {B_a}^T P + Q = 0$$

where P is the solution of (10). Then the optimal gain matrix is given by:

$$K_{lqi} = R^{-1} {B_a}^T P$$

Thus, the full feedback control law is described as:

$$u_{lqi} = -K_{lqi} x_a(t)$$

Where $K = [K \quad ki]$ is the full state feedback matrix. In the cost function (9), the matrices Q and R for this purpose are chosen as follows:

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_5 \end{bmatrix} \quad R = [r_1]$$

4.2. PSO algorithm applied to the tuning of Q and R Matrices

The selection of the Q and R matrices is usually done heuristically and tuned iteratively until the desired system response is achieved (Kumar et al., 2014). In this case, the PSO algorithm is used. The summary of the basic PSO algorithm is as follows (Venter & Sobieszczanski-Sobieski, 2003):

Initialize a random set of particles, with random velocities, each particle represents a solution in the search space.

Update the velocity vector of each particle in the swarm with a new velocity vector.

Update the position of each particle in the swarm, using previous information of position and the updated velocity vector.

Go to step two, until the optimal solution is found, or the number of iterations is exceeded.

In order to find the optimal solution, let us define the ISE index of the pendulum arm angle as:

$$ISE = \int_0^t \left(\phi_{ref}(\tau) - \phi(\tau)\right)^2 d\tau$$

The previous index will be the optimizing function in the PSO algorithm. Minimizing this parameter causes the system to follow the pendulum angle changes more rapidly and with robust response despite of disturbances.

In order to find the optimal Q and R matrices the PSO algorithm uses the ISMC controller in every iteration and finds the set of values required by the matrices Q and R (13). In this work, the PSO algorithm uses a population size of 50 and the maximum number of iterations is set to 100. The algorithm was run offline using the non-linear state space

model of the ROTPEN. Then, the weighting matrices Q and R found were tested in the real system.

4.3. Integral Sliding Mode Controller Design

Consider the system in equation (4) where the matrices $A \in \mathbb{R}^{n\times n}$, $B \in \mathbb{R}^{n\times m}$, then the augmented state space system (8) have the matrices $A_a \in \mathbb{R}^{(n+1)\times(n+1)}$, $B_a \in \mathbb{R}^{(n+1)\times m}$ and assuming the pair (A_a, B_a) is controllable let us define a control law of the form:

$$u_{ISMC} = u_{eq}(t) + u_{sw}(t)$$

Where $u_{sw}(t)$ is the controller that drives the system to the sliding surface and $u_{eq}(t)$ is the control that maintains the systems in the desired sliding surface.

The first step in the design is to choose a sliding surface (Camacho & Smith, 2000), in this case the surface is selected as:

$$\sigma(t) = Gx_a(t) - Gx_a(t) - G\int_0^t \left(A_a x_a(\tau) + B_a u_0(\tau)\right) d\tau$$

Where $u_0(t)$ is the nominal controller designed to meet performance specifications and G is a design matrix, where $G \in \mathbb{R}^{(n+1)\times m}$ and it is full rank.

$u_0(t)$ can be designed using any feedback design approach. In this work $u_0(t)$ is selected as (12) then $u_0(t) = u_{lqi}(t)$.

Furthermore, by design it is assumed that the square matrix GB_a is nonsingular. In this work, G is selected as follows (Hamayun, Edwards, & Alwi, 2016):

$$G = \left(B_a{}^T B_a\right)^{-1} B_a{}^T$$

In order to find $u_{eq}(t)$, it is assumed that the system states are forced to reach the sliding surface at a finite time t_s, then the sliding mode is considered to be taking place for all $t \geq t_s$. This can be expressed as:

$$\sigma(t) = \dot{\sigma}(t) = 0 \text{ for all } t \geq t_s$$

The control signal $u(t)$ such that $\dot{\sigma}(t) = 0$ is called equivalent control (Young et al., 1999). Thus, substituting (8) into (17):

$$\dot{\sigma}(t) = G[A_a x_a(t) + B_a u(t)] - G[A_a x_a(t) + B_a u_0(t)] = 0$$

Considering $u(t) = u_{eq}(t)$ and solving (18), the continuous part of the controller (14) is found:

$$u_{eq}(t) = u_0(t)$$

The selected surface gives an equivalent control equals to the nominal controller.

Next, $u_{sw}(t)$ which is a discontinuous controller is selected as:

$$u_{sw}(t) = -\rho(GB_a)^{-1}\text{sign}(\sigma(t))$$

Finally, the complete control law is given by replacing (19) and (20) into (14).

$$u_{ISMC}(t) = -K_{lqi}x_a(t) - \rho(GB_a)^{-1}\text{sign}(\sigma(t))$$

To justify the controller designed in (21) the reachability condition must be satisfied:

$$\sigma(t)\dot{\sigma}(t) < 0$$

Substituting (18) and (21) into (22), it can be found:

$$-\rho\,\text{sign}(\sigma(t))\sigma(t) < 0$$

Therefore, by analyzing:

If $\sigma(t) > 0 \rightarrow \text{sign}(\sigma(t)) > 0$

If $\sigma(t) < 0 \rightarrow \text{sign}(\sigma(t)) < 0$

In order to satisfy (23) $\rho\rho$ should be:

$$\rho > 0$$

A drawback of the last proposed controller in equation (21) is the chattering resulting from the discontinuous control. For the purpose of reducing the chattering effect one possibility is to use a sigmoidal function in $u_{sw}(t)$ (Herrera, Leica, Chávez, & Camacho, 2017), that is:

$$u_{sw}(t) = -\rho(GB_a)^{-1}\frac{\sigma(t)}{|\sigma(t)| + \mu}$$

where μ is a tuning parameter to reduce the chattering problem.

Finally, the complete control law of ISMC with reduction of chattering effect is given by:

$$u = -K_{lqi}x_a(t) - \rho(GB_a)^{-1}\frac{\sigma(t)}{|\sigma(t)| + \mu}$$

The proposed control scheme of the system is illustrated in Figure 3.

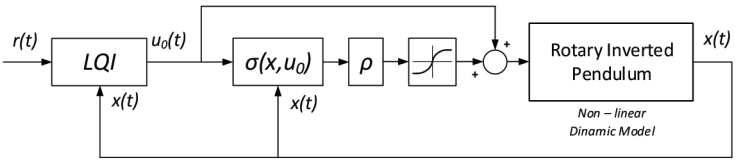


Figure 3 – ISMC controller scheme

5. Experimental Results

In this section experimental results are presented. The designed controllers are implemented in the QNET ROTPEN trainer, which is compatible with LabView software. For the present work, an Intel Core i7-4900MQ CPU @ 2.8GHZ running the LabVIEW 2013 software was used with the ODE solver method Runge - Kutta1 (Euler).

In order to test the LQI controller, the following matrices Q and R have been selected by means of the Particle Swarm Optimization algorithm, the minimizing cost function is the ISE index of the pendulum arm.

$$Q = \begin{bmatrix} 1.4280 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0228 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.6689 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.7753 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20.5177 \end{bmatrix} \quad R = [1]$$

By solving (10) with the LQR Matlab function, the feedback gain (25) is obtained:

$$K_{lqi} = [-4.1620 \quad -1.6023 \quad -52.8854 \quad -5.7047 \quad 4.9719]$$

In order to test the ISMC, the following values of ρ and μ have been selected by trial and error until the ISE index reaches the lowest value.

$$\rho = 10, \quad \mu = 0.055$$

The matrix G is selected according to (16) and its value is:

$$G = [0 \quad 0.0422 \quad 0 \quad -0.0274 \quad 0]$$

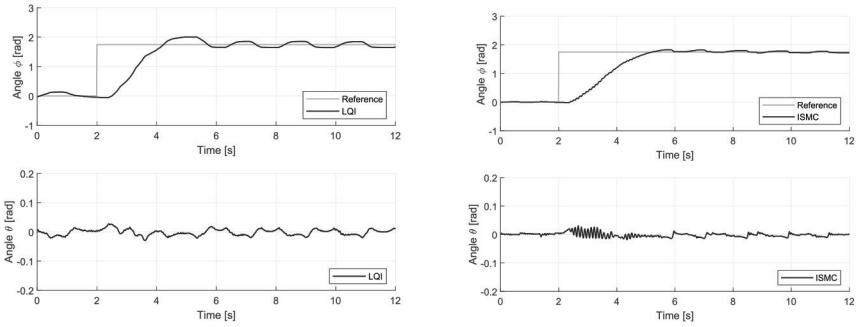
The performance of the designed controller to uncertainties in the physical parameters is tested using the ISE performance index, which is calculated with:

$$ISE = \int_0^t e^2(\tau)d\tau$$

Where, $e(t)$ represents the error between ϕ_{ref} and ϕ.

5.1. Step changes in the reference

The time response of the arm angle ϕ of the pendulum and the pendulum angle θ for a desired step change reference $\phi_{ref} = 1.745\ [rad]$ using the LQI controller and PSO-ISMC controller respectively are shown in Figure 4.



a) b)

Figure 4 – Experimental results for a change in the reference test

a) LQI Controller b) PSO-ISMC controller

The pendulum movement when the PSO-ISMC controller is used for a step change in the reference is shown in Figure 5.

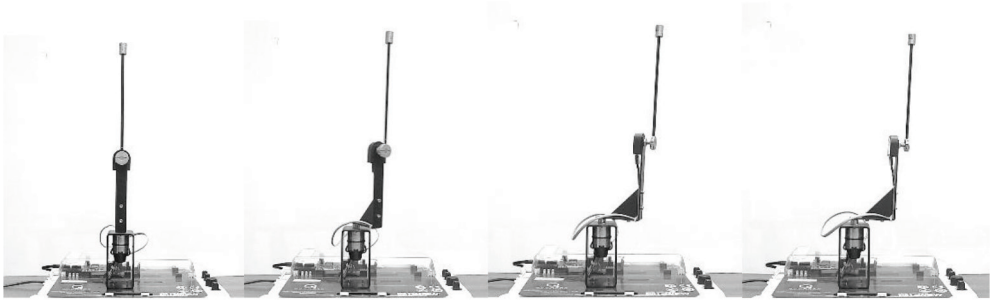


Figure 5 – Pendulum movement when the PSO-ISMC controller is used for the step change in the reference

In Table 2, the ISE comparison for both controllers is shown. The PSO-ISMC presents lower ISE than LQI in the experimental results.

Variable	ISE LQI	ISE ISMC	% ΔΔ
ϕ	8.6979	8.1144	7.19
θ	0.0014	0.000630	122.22

Table 2 – ISE for Step changes in the reference

5.2. Uncertainty in parameters

For this test, a small iron mass of 139.6 grams was added to the top of the pendulum. This change modifies the moment of inertia along the ϕ axis of the rotary inverted pendulum.

The time response of the arm angle ϕ of the pendulum and the pendulum angle θ for a desired step change reference $\phi_{ref} = 1.745\ [rad]$ using the LQI controller and PSO-ISMC controller respectively are shown in Figure 6.

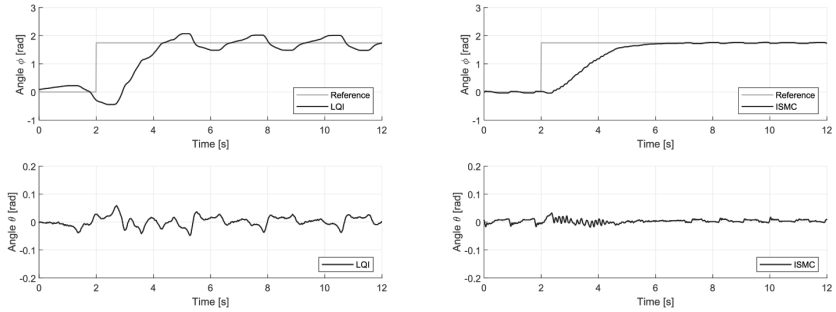


Figure 6 – Experimental results for the uncertainty in parameter test

a) LQI Controller, b) PSO-ISMC controller

The pendulum movement when the PSO-ISMC controller is used for the uncertainty in the parameter test is shown in Figure 7.

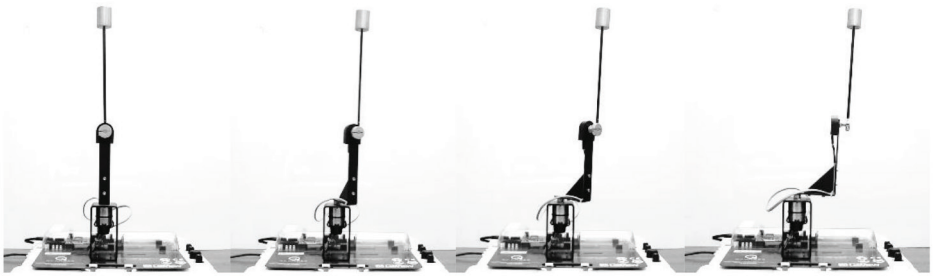


Figure 7 – Pendulum movement when the PSO-ISMC controller is used for the uncertainty in parameter test (mass of 139.6 grams was added)

In Table 3, the ISE comparison for both controllers is shown. The ISMC controller presents lower ISE than LQI controller in experimental results.

Variable	ISE LQI	ISE ISMC	% Δ
ϕ	9.0601	7.7329	17.16
θ	0.0037	0.000630	480.84

Table 3 – ISE for the uncertainty in parameter test

6. Conclusions

In this article, a PSO-ISMC with an LQI as a nominal controller was successfully designed and implemented on the ROTPEN system. The resulting tuned controller using PSO algorithm is optimal and robust to uncertainties and perturbations. Experimental results for a step change in the reference and uncertainty in parameter test show that the designed controller presented a lower ISE index than the solely use of the LQI controller.

References

Azar, A. T. & Serrano, F. E. (2015). Adaptive Sliding Mode Control of the Furuta Pendulum. In A. T. Azar & Q. Zhu (Eds.), *Advances and Applications in Sliding Mode Control systems* (pp. 1–42). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-11173-5_1

Camacho, O., & Smith, C. A. (2000). Sliding mode control: an approach to regulate nonlinear chemical processes. *ISA Transactions*, *39*(2), 205–218. DOI: 10.1016/S0019-0578(99)00043-9

Dwivedi, P., Pandey, S., & Junghare, A. S. (2017). Stabilization of unstable equilibrium point of rotary inverted pendulum using fractional controller. *Journal of the Franklin Institute*, *354*(17), 7732–7766. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2017.09.013

Escobar-Dávila, L. F., Montoya-Giraldo, O. D., & Giraldo-Buitrago, D. (2013). Control Global del Péndulo de Furuta Empleando Redes Neuronales Artificiales y Realimentación de Variables de Estado. *TecnoLógicas*, (30), 71–94.

Hamayun, M. T., Edwards, C., & Alwi, H. (2016). *Fault Tolerant Control Schemes Using Integral Sliding Modes*. Springer International Publishing. Retrieved from //www.springer.com/gp/book/9783319322360

Herrera, M., Leica, P., Chávez, D., & Camacho, O. (2017). A Blended Sliding Mode Control with Linear Quadratic Integral Control based on Reduced Order Model for a VTOL System: In *Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics* (pp. 606–612). Madrid, Spain: SCITEPRESS - Science and Technology Publications. DOI: 10.5220/0006429606060612

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942–1948 vol.4). DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968

Khanesar, M. A., Teshnehlab, M., & Shoorehdeli, M. A. (2007). Fuzzy Sliding Mode Control of Rotary Inverted Pendulum. In *2007 IEEE International Conference on Computational Cybernetics* (pp. 57–62). DOI: 10.1109/ICCCYB.2007.4402019

Kumar, E. V., Jerome, J., & Srikanth, K. (2014). Algebraic approach for selecting the weighting matrices of linear quadratic regulator. In *2014 International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE)* (pp. 1–6). DOI: 10.1109/ICGCCEE.2014.6922382

Li, J. (2013). Composite fuzzy control of a rotary inverted pendulum. In *2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (pp. 1–5). DOI: 10.1109/ISIE.2013.6563769

Nath, K., & Dewan, L. (2017a). Control of a rotary inverted pendulum via adaptive techniques. In *2017 International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT)* (pp. 1–6). DOI: 10.1109/ICETCCT.2017.8280315

Nath, K., & Dewan, L. (2017b). Optimization of LQR weighting matrices for a rotary inverted pendulum using intelligent optimization techniques. In *2017 Conference on Information and Communication Technology (CICT)* (pp. 1–6). DOI: 10.1109/INFOCOMTECH.2017.8340599

Paredes, I., Sarzosa, M., Herrera, M., Leica, P., & Camacho, O. (2017). Optimal-robust controller for furuta pendulum based on linear model. In *2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)* (pp. 1–6). DOI: 10.1109/ETCM.2017.8247510

Quanser Inc. (2011). User Manual - Qnet Rotary Inverted Pendulum trainer for NI Elvis. Ontario: Quanser Inc.

Rubagotti, M., Estrada, A., Castanos, F., Ferrara, A., & Fridman, L. (2011). Integral Sliding Mode Control for Nonlinear Systems With Matched and Unmatched Perturbations. *IEEE Transactions on Automatic Control*, *56*(11), 2699–2704. DOI: 10.1109/TAC.2011.2159420

Utkin, V. (1977). Variable structure systems with sliding modes. *IEEE Transactions on Automatic Control*, *22*(2), 212–222. DOI: 10.1109/TAC.1977.1101446

Utkin, V. I. (1993). Sliding mode control design principles and applications to electric drives. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *40*(1), 23–36. DOI: 10.1109/41.184818

Utkin, V., & Shi, J. (1996). Integral sliding mode in systems operating under uncertainty conditions. In *Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control* (Vol. 4, pp. 4591–4596 vol.4). DOI: 10.1109/CDC.1996.577594

Utkin, V., Guldner, J., Shi, J., Guldner, J., & Shi, J. (2009). *Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems*. CRC Press. DOI: 10.1201/9781420065619

Venter, G., & Sobieszczanski-Sobieski, J. (2003). Particle Swarm Optimization. *AIAA Journal*, *41*(8), 1583–1589. DOI: 10.2514/2.2111

Wen, J., Shi, Y., & Lu, X. (2017). Stabilizing a rotary inverted pendulum based on Lyapunov stability theorem. In *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)* (pp. 5652–5657). DOI: 10.1109/CCDC.2017.7978173

Young, K. D., Utkin, V. I., & Ozguner, U. (1999). A control engineer's guide to sliding mode control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, *7*(3), 328–342. DOI: 10.1109/87.761053

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 30/11/2018
Aceitação/Acceptance: 31/01/2019

Ranking Online Services by the Core Areas of Trustworthiness

Danny S. Guamán[1a,1b], José M. del Alamo[2], Hristina Veljanova[3], Anna Haselbacher[4], Julio C. Caiza[5a,5b]

ds.guaman@dit.upm.es, jm.delalamo@upm.es, hristina.veljanova@uni-graz.at, anna.haselbacher@uni-graz.at, jc.caiza@dit.upm.es

[1a,2,5a] Universidad Politécnica de Madrid, 28040, Madrid, España.

[1b,5b] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[3,4] University of Graz, 8010, Graz, Austria.

Pages:465–478

Abstract: Citizens' trust in online services remains very low as they come across certain difficulties in appraising their trustworthiness. Existing trustworthiness-related labels and seals struggle to be acknowledged by users. However, they have overshadowed by concerns related to the quality of service, without paying much attention to other core areas of trustworthiness derived from ethics, law, and sociology. In addition, usability issues have limited their adoption so that users can make an informed decision about a particular online service based on their specific needs. To fill these gaps, this paper builds on earlier work that defines a set of criteria for trustworthiness that emerged from an interdisciplinary discussion involving ethical, sociocultural, legal, business, and technological perspectives, and proposes a framework for ranking online services according to their quantitative level of trustworthiness and the user preferences. By using an excerpt from the criteria, we demonstrate the feasibility of the proposed framework.

***Keywords*:** Trust; Trustworthiness; Social Science and Humanities; Assessment; Online services

1. Introduction

Trustworthiness-related labels struggle to be acknowledged by users, foster their trust and ultimately have an online service accepted. To achieve that, the results of some studies of the current labelling schemes suggest that third-party certifications and quantitative ratings based on user reviews are mainly used (Gibello, 2018; Rodrigues, Barnard-Wills, Wright, Hert, & Papakonstantinou, 2013). Although, third party certifications greatly enhance the verifiability and credibility of the schemes due to the independence of involved third-party entities, they are much difficult and costly to obtain, as they tend to involve several third-party entities throughout the process. On the other hand, rating-based schemes appear to be more successful (in terms of the number of entities labelled under these schemes), as they are less complex, more affordable and convey user-friendly ratings. They, however, rest purely on subjective appreciations by users and

focus primarily on the quality of service, but rarely mention the fulfilment of criteria that include other core areas of the trustworthiness, such as ethical aspects (Osterwalder, 2011).

According the last Eurobarometer survey 63% of respondents do not trust online business (Keighley, 2015). The extensive literature on trust offers multiple perspectives. Mayer et al. defines interpersonal trust as the willingness of a trustor to accept a risk based on the positive expectations that the trustee will perform a particular action important to the trustor, regardless of the ability to monitor or control the trustee (Mayer, Davis, & Schoorman, 1995). Moving to the digital realm, wherein often there is no personal trustee, trust requires an objective assessment of the system trustworthiness in order to assure that it will perform as expected (Taddeo, 2010).

Trustworthiness, by definition, is conceived as a multidimensional construct, as users can expect an online service to perform a diverse set of actions (Avižienis et al., 2004; Hoffman, Lawson-Jenkins, & Blum, 2006; Mohammadi, 2012). This is not only related to well-known technical features, like security aspects that protect online services from (malicious) users, but also those aspects that protect users from online services (Osterwalder, 2011). For example, in recent years, some reports have suggested that trustworthy services need to safeguard fundamental rights such as privacy and personal data protection to engender trust, as, for example, only 22% of Europeans have full trust in companies and 72% of Internet users are worried about being asked for a lot of many personal data online (Keighley, 2015). Thus, users can be expected to place their trust on those services if they have a reason to believe that their rights will be protected, and their shared values will be respected. A sufficient understanding of the concepts of trust and trustworthiness then needs to be interdisciplinary and include inputs from ethics, law, and sociology. To fill this gap, in an earlier work (Stelzer et al., 2018), a criteria catalogue of trustworthiness that emerged from an interdisciplinary discussion involving ethical, sociocultural, legal, business and technological perspectives was presented. An overview of this criteria catalogue is presented in Section 2.

While we envision a lightweight labelling scheme backed by a quantitative assessment of the criteria of trustworthiness, usability issues have been identified to convey the level of trustworthiness. Users barely understand the results of a checklist-based assessment, thus limiting its adoption so that users can make informed decision about an online service by comparing it with others based on their specific needs. This paper therefore proposes a framework for quantifying and ranking online services on the basis of the core areas of trustworthiness. The framework represents the abstract criteria of online services' trustworthiness into quantitative and accurate results, enabling to compare and rank online services according to users' preferences.

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 introduces the core of trustworthiness that have been approached from the perspective of three Social Sciences and Humanities (SSH) disciplines, namely, sociology, law and ethics. Subsequently, Section 3 presents a framework for quantifying and ranking trustworthy online services according to user preferences, while section 4 presents a demonstration of the framework. Section 5 outline the related work. Finally, Section 6 provides the conclusion of this paper and the future work.

2. Core Areas and a Criteria Catalogue of Trustworthiness

This section presents the most important aspects of the Criteria Catalogue for trustworthy online services that takes into account sociocultural, legal, ethical, technological, and business aspects. This work was originally presented in (Stelzer et al., 2018) that, based on the European values and fundamental rights and an interdisciplinary work, defines six common core areas of trustworthiness, namely transparency, privacy, anti-discrimination, autonomy, respect, and protection. Owing to the limited space, Table 1 summarizes our findings.

The six core areas were translated into the technical requirements that trustworthy online services should meet to contribute them. We acknowledge that the core areas of trustworthiness, stemmed from SSH realm, cannot be simplified and fully achieved only by technical systems, as they themselves are only subsystems of more complex socio-technical systems. They, however, can still contribute to satisfy the core areas to different extents. In this context, a top-down approach was followed to develop a hierarchical structure comprising three key elements:

- **Core Areas of trustworthiness:** These Core Areas reflect the values that should be considered when developing and evaluating online services. They represent the six abstract concepts described in Table 1 (CA1-CA6).
- **Criteria:** The core areas are broken down into twelve criteria that, compared to the core areas, are more concrete in the sense that they relate to more specific properties of online services. Nevertheless, these criteria are still not concrete enough to be measured. See Table 2 (C1-C12)
- **Indicators:** They act as checkpoints for the fulfilment of a criterion. Indicators are defined in such a manner that they can be easily understood by technology engineers and hence accordingly operationalised, measurable (i.e., measurable elements should be clearly stated), and observable (i.e., through evidence). At the time of writing this paper a set of 81 indicators have been elicited. Table 3 depicts an excerpt of the indicators. A complete list of indicators can be found in Annex B of Medina et al. (2018).

Sociological perspective (*)	Legal perspective	Ethical perspective	Corea areas of trustworthiness
- *Only a minority reads privacy statements (less than a fifth) in general while about 4 out of 10 internet users read the terms and conditions of the online platform.* - *Over 90% want to be informed if their data ever was lost or stolen,* - *Users who feel well-informed are more likely to adapt their security behaviour (e.g. changing passwords).*	Transparency as in information duties laid down in the GDPR, the Directive on consumer rights or the e-commerce Directive.	Transparency relates to two aspects: i) providing clear and sufficient information about the products and services, and ii) providing information to users regarding activities with their personal data.	**CA1. Transparency:** The ICT product or service is provided in line with information duties regarding personal data processing and the product/ service itself.

Sociological perspective (*)	Legal perspective	Ethical perspective	Corea areas of trustworthiness
- *72% are concerned about the data collected about them on the Internet.* - *More than half of internet users are uncomfortable with the use of their personal data for targeted advertising.* - *General concern about misuse of personal data by corporate entities and public authorities (CMPD).*	Privacy as preserving Respect for private life (Art 7 CFR) and the Protection of personal data (Art 8 CFR) in the context of ICT. This includes the GDPR and Directive 2002/58/EC.	Privacy stands for the individual's claim to control the access to and the use of one's personal information. The idea behind it is that people have the claim to determine who knows what about them thus preventing unjustified interferences by others.	**CA2. Privacy:** The ICT product or service allows the user to control access to and use of their personal information and it respects the protection of personal data.
- *Concern about targeted advertising and search engine results, which some users expect to be adapted to their needs. However, this is not a majority.*	Justice as the remedies against the unjustified use of force by the state, such as the Right to a fair trial (Art 47 CFR) and the Presumption of innocence (Art 48 CFR). This meaning further entails Equality before the law (Art 20 CFR) and Anti-discrimination (Art 21 CFR).	Justice relates to aspects such as: i) anti-bias, ii) fairness, and iii) distributive justice.	**CA3. Anti-discrimination:** The ICT product or service does not include any discriminative practices and biases.

Table 1 – Core areas of trustworthiness (*) The statistical data presented in the table stem from the Eurobarometer Reports and Summaries and were collected in the period between 2011 and 2017

Sociological perspective (*)	Legal perspective	Ethical perspective	Corea areas of trustworthiness
- 20% have changed the default settings of their browser, social network account and so on. - A majority of respondents who use online social networks have tried to change their privacy settings from the default mode. - Two-thirds are concerned about not having complete control over the information they provide online.	Autonomy as preserving freedoms, such as Freedom of thought, conscience and religion (Art 10 CFR), Freedom of expression and information (Art 11 CFR), Freedom to conduct a business (Art 16 CFR) and the Right to (intellectual) property (Art 17 CFR).	Autonomy can be seen as relating to i) capacity for self-determination, i.e. capacity/ability to lead one's life and make decisions based on one's beliefs, values and motives, and ii) possibility (freedom) to act upon one's judgment regarding aspects that affect one's life.	**CA4. Autonomy:** The ICT product or service gives users the opportunity to make decisions and respects those decisions. The ICT product or service also respects other parties'/ persons' rights and freedoms.
- *7 out of 10 are concerned about their personal information being used for other purposes that it was collected for.* - *Citizens state a negative impact of state surveillance activities on their general trust in ICT.*	Lawfulness as in lawful conduct and taking preventative care in accordance with the law, especially when dealing with consumers (Art 38 CFR).	Under the concepts of responsibility and accountability fall the following aspects: i) Attribution of responsibility, ii) Accepting responsibility, and iii) Prevention	**CA5. Respect:** ICT products or services are to be provided in accordance with the legitimate expectations related to them.

Sociological perspective (*)	Legal perspective	Ethical perspective	Corea areas of trustworthiness
- *Two thirds to a quarter of EU citizens are concerned about being a victim of cybercrime or that their online personal information is not kept secure by websites or public authorities.* - *In general, European citizens dislike public authorities having access to their Internet usage data (fear of surveillance).*	Security as the protection from harm, such as the Right to liberty and security (Art 6 CFR) as well as the Right to the integrity of the person (Art 3 CFR) and the Right to life (Art 2 CFR).	Security is understood as freedom from (physical, psychological, economic etc.) harm and protection of one's rights, liberties.	**CA6. Protection:** ICT products and services are provided in accordance with safety and cybersecurity standards.

Table 2 – Core areas of trustworthiness, continued

Criterion	Criterion
C1. Information	C7. Anti-discrimination
C2. User-friendly consent	C8. Cyber security
C3. Enhanced control mechanisms	C9. Product safety
C4. Privacy commitment	C10. Law enforcement declaration
C5. Unlinkability	C11. Appropriate dispute resolution
C6. Transparent processing of personal data	C12. Protection of minors

Table 3 – Criteria of trustworthiness

The criterion C6: '*Transparent processing of personal data'* bears special significance, as transparency serves as one of the cornerstones for building trustworthy online services. The first subset of indicators (I6.1-I6.6) for this criterion relates to the information pertaining to data processing activities provided to the user, such as who collects what data, for how long do they do so, for what purpose, and so on. The trustworthiness enhancer denotes the extent to which this criterion contributes to satisfying each core area of trustworthiness. In this case, criterion C6 contributes to a high extent to CA1 (transparency) and CA2 (privacy), to a low extent to CA4 (autonomy) and CA5 (respect), and does not cover neither CA3 (anti-discrimination) nor CA6 (protection).

3. Framework for quantification and ranking

This section presents a framework for quantifying the level of online services' trustworthiness and ranking them according to the user preferences. Users can use it to compare multiple online services and then make an informed decision by choosing the one that best meets their preferences. The framework abstracts the Criteria Catalogue as a hierarchical structure that can be quantified through an algorithm inspired by the *Analytic Hierarchical Process - AHP* (Mu & Making, 2015). AHP allows both (i)

comparison of values with different measurement scales and (ii) aggregation of values through the multicriteria hierarchical structure. This process essentially comprises four main steps: hierarchical structure representation (section 3.1), weights assignment (section 3.2), pairwise comparison (section 3.3), and aggregation (section 3.4). In order to avoid ambiguities in terminology, the terms presented in Table 4 have been used throughout this section:

Core areas (trustworthiness enhancers)						Criterion	Indicators
CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6		
						C6. Transparent processing of personal data	I6.1. Is information provided on the data that is collected?
							I6.2. Is information provided on the individual who collects and processes personal data?
							I6.3. Is information provided on the duration for which the collected data will be stored?
							I6.4. Is information provided on the purpose for which the data is collected?
●	●	○	◔	◔	○		I6.5. Is information provided on the location wherein the data is stored?
							I6.6. Is the information provided on users' rights (i.e., access, rectification, erasure, restriction/objection to data processing, data portability, and the right not to be subject to a decision solely based on automated processing)?
							I6.7. Is information provided on whether personal data is shared with third parties and processed further?
							I6.8. Is the information for indicators I6.1–I6.7 provided in an easy and understandable manner?

Table 4 – Criterion: Transparency processing of personal data. (●: covers the Core Area to a high extent, ◐: covers the Core Area to a medium extent, ◔: covers the Core Area to a low extent, ○: does not cover the Core Area)

3.1. Hierarchical structure representation

The top-down approach followed to obtain the Criteria Catalogue results in a hierarchical structure consisting of four layers, as depicted in Figure 1. The topmost layer quantifies the overall trustworthiness level of an online service. Subsequently, the second layer comprises the six Core Areas of trustworthiness, while the third layer defines the twelve criteria that contribute in satisfying the Core Areas. Lastly, the bottom layer of the structure consists of indicators.

Term	Description
m	Indicator
S_i	Online service i, where $i \in \{1, \ldots, n\}$ and n denotes the number of online services to be compared by a user
$V_{i,m}$	Value (yes/no) of the indicator m declared by the S_i
$S_{i,m}$	S_i provides the indicator m with the value $V_{i,m}$
U	User
$V_{u,m}$	Value (yes/no) of the indicator u required by the user U
$S_{1,m}/S_{2,m}$	Relative ratio of $S_{1,m}$ over $S_{2,m}$, regarding the indicator m
$S_{i,m}/U$	Relative ratio of S_i over U, which specifies whether the online service S satisfies U requirements, with respect to the indicator u.
w	Weight of an element of the hierarchical structure.

Table 5 – Terminology used by the quantification framework

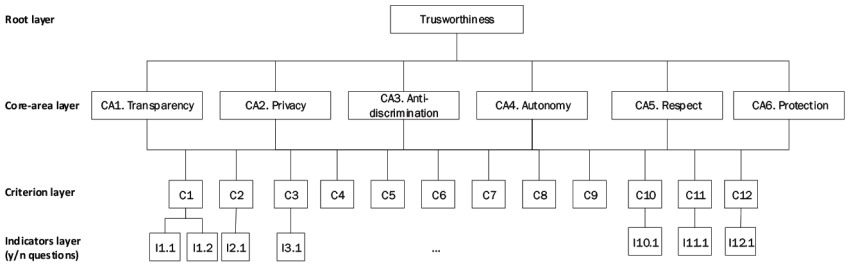


Figure 1 – Layers of the Criteria Catalogue

This hierarchical structure provides an abstract model whereby users can define their preferences at different levels of detail (i.e. at any layer of the hierarchical structure), and the results can also be shown for the different layers of the hierarchy.

3.2. Weights assignment

Weights permit representation of both (i) the user preferences at indicators and core areas layers and (ii) the 'trustworthiness enhancer' at the criterion level (as illustrated in Table 3). Thus, the different elements of the aforementioned hierarchical structure may be assigned different weights (w) to represent the relative importance among the sibling elements. Through a labelling portal (a component of the overall labelling scheme), users can set their preferences in two ways: setting 'yes' to the desired indicators and weighting them according to their preferences. Weights can either be qualitative values (e.g., high, medium, low, or nothing) or standard AHP's numeric values ranging from 9 to 1. In any case, they should be normalised by expressing a weight that ranges between 0 and 1.

3.3. Pairwise comparison

Pairwise comparison is performed on all SS values declared by online services, and the values set by a user U. As defined in equation (1), for each indicator m, the value declared for each $S\,S$ is compared to the other S values and to those set by S. Consequently, the result is a pairwise comparison matrix (CM) for each indicator m of size $n + 1$ (for nn online services and the user preferences):

$$\boldsymbol{CM_m} = \begin{bmatrix} S_1/S_1 & S_1/S_2 & \dots & S_1/S_n & S_1/\mathrm{U} \\ S_2/S_1 & S_2/S_2 & \cdots & S_2/S_n & S_2/\mathrm{U} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ S_n/S_1 & S_n/S_2 & \cdots & S_n/S_n & S_n/U \\ \mathrm{U}/S_1 & \mathrm{U}/S_2 & \dots & \mathrm{U}/S_n & \mathrm{U}/\mathrm{U} \end{bmatrix} \quad (1)$$

The relationship between S_i and U with respect to their corresponding values for the indicator m is defined by the following ratio:

$$\frac{S_{i,m}}{U} = \frac{V_{s,m}}{Vu,m} \quad (2)$$

Garg et al. defined a set of comparison metrics for different data types (Garg, Versteeg, & Buyya, 2012). While our current efforts are focused on eliciting numeric data type indicators, at the moment the user questionnaire requires only 'yes' (required/fulfilled) or 'no' (not required/not fulfilled) answers, so only the comparison metrics for the Boolean data type have been used. The responses 'yes' and 'no' are defined as 1 and 0, respectively.

$$\frac{S_{i,m}}{U} = \begin{cases} 1\ if\ \left(V_{s,m} = 1\ \wedge\ V_{u,m} = 1\right) \vee \left(V_{s,m} = 1\ \wedge V_{u,m} = 0\right) \\ 0\ if\ \left(V_{s,m} = 0\ \wedge\ V_{u,m} = 0\right) \vee \left(V_{u,m} = 0\ \wedge V_{u,m} = 1\right) \end{cases}$$

Therefore, if the ratio $S_{i,m}/U = 1$, it means that S_i satisfies the U requirement with respect to the indicator m; otherwise if $S_{i,m}/U = 0$, it means that S_i does not satisfy the U requirement with respect to the indicator m. The same applies for $S_{1,m}/P_{2,m}$, which represents the relative rank of $S_{1,m}$ over $P_{2,m}$ with regard to the indicator m.

A relative ranking of all S values and U for each indicator can be obtained from the CM_m through the normalised eigenvector of the CM_m. It represents a priority vector $PV_m = \left(V_{1,m}, V_{2,m}, \dots, V_{n,m}, V_u\right)$, which indicates, by means of normalised numerical values, a relative ranking among all S and P with respect to indicator m.

3.4. Aggregation

A bottom-up aggregation process (from the indicator to the root layer) is iteratively performed by assigning an aggregated value to the corresponding parent node. As shown in equation 3, the PV of each sibling element is aggregated with their relative weight (w):

$$PV_{aggregated} = (PV_1, \dots, PV_z)(w_i) \quad (3)$$

Where z denotes the number of sibling elements, PV represents the priority vector of each sibling element, and w_i denotes the weight of the sibling element i ($i \in \{1 \dots z\}$) assigned by the user U.

4. Applying the proposed quantification framework

Owing to the limited space, we were unable to show all the indicators of the Criteria Catalogue. Table 5 depicts an excerpt of them to illustrate the framework.

Trustworthiness enhancer						Criterion	Indicator	S_1	S_2	S_3	U
CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6						
●	●	◔	◐	◔	◔	C1	I1.1	Yes	Yes	Yes	Yes
							I1.2	Yes	Yes	No	No
							I1.3	No	No	Yes	No
◐	●	○	●	◔	○	C2	I2.1	Yes	Yes	No	Yes
							I2.2	No	Yes	No	No
●	●	◔	●	◐	◔	C3	I3.1	No	No	No	Yes
							I3.2	Yes	Yes	Yes	No
◐	◐	◔	◔	◐	◔	C4	I4.1	No	No	No	No
							I4.2	Yes	No	Yes	No
⁘	●	◔	◔	○	◔	C5	I5.1	No	Yes	Yes	No
●	●	○	◔	◔	○	C6	I6.1	Yes	Yes	No	No
							I6.2.	No	No	No	Yes
							I6.3.	No	Yes	Yes	No
◔	○	●	◔	◔	○	C7	I7.1	Yes	Yes	Yes	Yes
							I7.2	No	No	Yes	No
◔	◐	○	○	◔	●	C8	I8.1	Yes	Yes	Yes	Yes
							I8.2	No	Yes	No	No
◐	○	○	○	◔	●	C9	I9.1	Yes	Yes	Yes	Yes
							I9.2	Yes	Yes	No	No
◔	◔	◔	◔	●	◔	C10	I10.1	No	No	Yes	Yes
							I10.2	No	Yes	No	Yes
◐	◔	◔	◔	◐	◔	C11	I11.1	Yes	Yes	Yes	No
							I11.2	Yes	No	No	No
◐	○	○	○	○	◔	C12	I12.1	Yes	Yes	Yes	Yes

Table 6 – Excerpt of criteria's weights (trustworthiness enhancer), and online service's (S_1, S_2, and S_3) and U user's preferences (●: covers the Core Area (CA) to a high extent, ◐: covers the CA to a medium extent, ◔: covers the CA to a low extent, ⁘: does not cover the CA)

4.1. Quantitative results

Once defined the online services' declaration (*Si*) and the user's preferences (*U*), the values of each element of the hierarchical structure are calculated following the procedure described in section 4.2. That is, after conducting pairwise comparison for each indicator, the priority vectors (*PV*) for all the indicators of the three *S* values are obtained. Subsequently, they are aggregated until they attain the root layer.

The pairwise comparison matrix (*CM*) for each indicator is built and then equations (1) and (2) are used to obtain the *CM* as follows:

$$CM_{I2.1} = \begin{array}{c} \\ S1 \\ S2 \\ S3 \\ U \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & U \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1/1 & 1/1 & 1/0 & 1/1 \\ 1/1 & 1/1 & 1/0 & 1/1 \\ 0/1 & 0/1 & 0/0 & 0/1 \\ 1/1 & 1/1 & 1/0 & 1/1 \end{bmatrix} \end{array} \qquad CM_{I2.1} = \begin{array}{c} \\ S1 \\ S2 \\ S3 \\ U \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & U \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

S' relative ranking with regard to indicator *I6.3* is provided by its priority vector $PV_{I2.1}$ (see Table 6). It reflects that indicator *I6.3* is required by user *U*, and it is satisfied by S_1 and S_2. Owing to the limited space, only the priority vectors of criterion *C2* have been shown in Table 6.

PV_m	S_1	S_2	S_3	U
$PV_{I2,1}$	0,3333	0,3333	0,0000	0,3333
$PV_{I2,2}$	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000

Table 7 – Excerpts of the priority vectors at the indicator layer

Subsequently, the priority vectors of sibling indicators (i.e., those belonging to the same criterion) are aggregated using equation (3) in order to obtain the aggregated priority vectors at the criterion layer. For example, the aggregated priority vector of criterion C2 is PV_{C2} = (0.1667, 0.6667, 0, 0.1667) for $S_1, S_2, S_3,$ and U, respectively. This would mean that S_1 and S_2 satisfies user U preferences regarding criterion C2 (User-friendly consent), but it is not satisfied by S_3. Moreover, this relative ranking suggests that S_2 is better than $S_1$with regard criterion C2.

Figure 2 also shows the relative rankings of online services for each of the twelve criteria of trustworthiness. These results convey the ranking of online services in relation to user preferences. Thus, for example, the three online services are similar in terms of criterion *C12* and, as it is required by user *U*, all of them are eligible. Furthermore, although some user preferences cannot be fully satisfied (e.g. criterion *C4*), the quantification results enable the user to select the best option (e.g., S_1 or $S_3$for criterion *C4*).

Afterwards, the twelve PVs at the criterion layer are also aggregated using the equation (3) and the normalised weights calculated from the column *'criteria weights'* defined Table 5. It results in the priority vectors at the core area layer, which are depicted in Table 7.

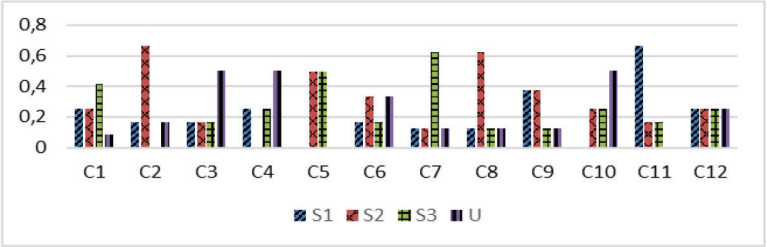


Figure 2 – Results of the quantification at the criterion layer

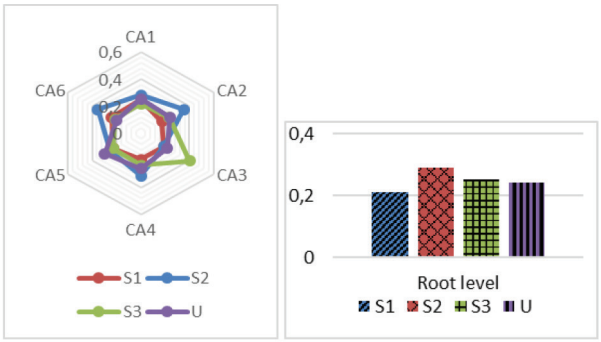
	CA_1	CA_2	CA_3	CA_4	CA_5	CA_6
S_1	0,2462	0,1746	0,1898	0,1935	0,2250	0,2372
S_2	0,2803	0,3532	0,1898	0,3125	0,2528	0,3526
S_3	0,2197	0,2341	0,4028	0,2351	0,225	0,2115
U	0,2538	0,2381	0,2176	0,2589	0,2972	0,199

Table 8 – Priority vectors at the core area layer

Figure 3(a) depicts the results at the core area layer in a more easy-to-digest way. The interpretation of these results should take into account that the aggregated values for this layer are calculated actually considering the *'trustworthiness enhancer'* that have been set by the labelling portal rather than by users according to their preferences. Therefore, while the framework supports the addition of user weights, it uses the trustworthiness enhancers derived from multidisciplinary supporting studies reported in previous work (Stelzer et al., 2018). In this respect, the results convey, besides the ranking of online services, a measure of the degree to which the user U perceives that the criteria actually represent the trustworthiness of an online service. This perception could then feed back into the labelling portal to adjust the '*trustworthiness enhancer*'.

Finally, the priority vectors of the six Core Areas of trustworthiness are aggregated to calculate the root trustworthiness priority vector $PV_{root}PV_{root}$= (0.2110, 0.2902, 0.2547, 0.2441) for S_1, S_2, S_3, and US_1, S_2, S_3, and U, respectively, as also shown in Figure 3(b). In general terms, these results suggest that, although some indicators required by user U are not met, the best option seems to be S_2S_2, followed by S_3S_3; whereas S_1S_1 does not reach the required minimum overall level.

The framework represents the abstract criteria of online services' trustworthiness into quantitative and accurate results. These enable comparing and ranking online services according to the trustworthiness preferences of users. At the same time, the framework provide the means to represent the level of trustworthiness into easier-to-digest results as shown in previous figures.



(a) (b)

Figure 3 – Results of the quantification at the core area and root layer

5. Related work

Several works have been developed to address different aspects of online services' trustworthiness. Most of them, however, are only approached from a technical perspective addressing technical features of the ICT products and services, missing a multidisciplinary perspective of trust and trustworthiness (Mohammadi et al., 2015). Others, also in the technical field, focus on a particular ICT system property, mainly on security or safety (Avižienis et al., 2004) and recently also on privacy (Meis & Heisel, 2016), without consider other relevant system properties to satisfy further Core Areas of trustworthiness. This paper does not criticise individual contributions on system properties, but we built on these works to build a bridge between the leading SSH requirements for trustworthy online services and their corresponding technical requirements. Thus, the quantification framework that has been drawn on a set of a novelty criteria of trustworthiness that the result of a comprehensive interdisciplinary work.

On the other hand, in the literature certain research works have proposed quantitative multicriteria assessment methods that primarily focus on comparing and ranking cloud service providers (CSPs) mainly based on their quality of service (QoS) and security features. In their study, Garg et al. (2012) propose an analytic hierarchical process (AHP)-based framework to compare and rank CSPs based on the QoS they offer. Moreover, in Taha et al.'s study (Taha, Trapero, Luna, & Suri, 2015), a framework to rank CSPs based on their security levels is proposed. In Alhanahnah et al. (2017), the authors present a framework to evaluate trust factors in CSPs. However, less effort has been put to quantify the level of trustworthiness and provide the means to convey it through a user-friendly way. Hence, we have been inspired by these works to propose the framework presented in this paper.

6. Conclusions and future work

In this paper, we have proposed a framework for quantifying, comparing, and ranking online services according to users' trustworthiness preferences. We built on a previous work that defined a set of six core areas of trustworthiness (i.e. transparency, privacy,

anti-discrimination, autonomy, respect, and protection) derived from a comprehensive interdisciplinary research (i.e. societal, legal, ethical, business and technical disciplines). This contribution complements and extends the state of the art for building and assessing trustworthy online services.

Our work is aligned with current efforts that aims at exploring, understanding, and analysing the barriers and incentives of trustworthiness labels, from an interdisciplinary perspective. In particular, we are moving towards a lightweight and automated labelling solution for trustworthy online services. In this context, our future work points in two directions (i) a scalable architecture for the automated assessment of technical indicators included in the Criteria Catalogue applied to the mobile ecosystem, and (ii) identifying the interdependencies among different criteria of trustworthiness within specific case studies (in particular in the mobile ecosystem and Internet of Things/Ambient Assisted Living domains).

Acknowledgement: *This research has received funding from the EU H2020 research programme under grant agreement No 731711. The first and last authors would like to extend thanks to their sponsor Escuela Politécnica Nacional.*

References

Alhanahnah, M., Bertok, P., Tari, Z., & Alouneh, S. (2017). Context-Aware Multifaceted Trust Framework For evaluating trustworthiness of cloud providers. *Future Generation Computer Systems*. DOI: 10.1016/j.future.2017.09.071

Avižienis, A., Laprie, J. C., Randell, B., & Landwehr, C. (2004). Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, *1*(1), 11–33. DOI: 10.1109/TDSC.2004.2

Garg, S. K., Versteeg, S., & Buyya, R. (2012). A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, *29*(4), 1012–1023. DOI: 10.1016/j.future.2012.06.006

Gibello, V. (2018). Evaluation of existing trustworthiness seals and labels. Retrieved from https://bit.ly/2HVoDMW

Hoffman, L. J., Lawson-Jenkins, K., & Blum, J. (2006). Trust beyond security. *Communications of the ACM*, *49*(7), 94–101. DOI: 10.1145/1139922.1139924

Keighley, T. C. (2015). *Special Eurobarometer 431: Data Protection Report*. *Special Eurobarometer 431* (Vol. 3). https://doi.org/10.2838/552336

Mayer, R. C., Davis, J. H., & Schoorman, F. D. (1995). an Integrative Model of Organizational Trust. *Academy of Management Review*, *20*(3), 709–734. DOI: 10.5465/AMR.1995.9508080335

Medina, M., et al. (2018). Trust- Enhancing Label roadmap. Retrieved from https://bit.ly/2CPS2Uq

Meis, R., & Heisel, M. (2016). Computer-aided identification and validation of privacy requirements. *Information (Switzerland)*, *7*(2). DOI: 10.3390/info7020028

Mohammadi, N. G. (2012). Trustworthiness Attributes and Metrics for Engineering Trusted Internet-Based Software Systems. *Cloud Computing and Services Science*, *1*, 165–184. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2326-3

Mohammadi, N. G., Paulus, S., Bishr, M., Metzger, A., & Koennecke, H. (2015). An Analysis of Software Quality Attributes and Their Contribution to Trustworthiness, 542–552. DOI: 10.5220/0004502705420552

Mu, E., & Making, P. D. (2015). Understanding the Analytic Hierarchy Process, (2012). DOI: 10.1007/978-3-319-33861-3

Osterwalder, D. (2011). Trust Through Evaluation and Certification? *Social Science Computer Review*, *19*(1), 32–46. DOI: 10.1177/089443930101900104

Rodrigues, R., Barnard-Wills, D., Wright, D., Hert, P. De, & Papakonstantinou, V. (2013). *EU Privacy seals project*. DOI: 10.2788/29861

Stelzer, H., et al. (2018). TRUESSEC D7.2: Cybersecurity and privacy Criteria Catalogue for assurance and certification. Retrieved from https://bit.ly/2WHf9rE

Taddeo, M. (2010). Modelling trust in artificial agents, a first step toward the analysis of e-trust. *Minds and Machines*, *20*(2), 243–257. DOI: 10.1007/s11023-010-9201-3

Taha, A., Trapero, R., Luna, J., & Suri, N. (2015). AHP-based quantitative approach for assessing and comparing cloud security. *Proceedings - 2014 IEEE 13th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, TrustCom 2014*, 284–291. DOI: /10.1109/TrustCom.2014.39

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: xx/12/2018
Aceitação/Acceptance: xx/02/2019

Analítica de Twitter para el estudio de las emociones primarias durante el terremoto de México 2017

Julio García García[1], Patricia Henríquez-Coronel[2], Jorge Pincay Ponce[3], Jorge Herrera-Tapia[4]

julio.garcia@uleam.edu.ec, patricia.henriquez@uleam.edu.ec, jorge.pincay@uleam.edu.ec, jorge.herrera@uleam.edu.ec

[1,2,3,4] Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 130802, Manta, Ecuador.

Pages:479–492

Resumen: La gestión de emergencias usa Twitter como herramienta valiosa porque proporciona datos sobre ubicación, tiempo, contenidos y propagación del mensaje. Este trabajo analizó 59 416 tuits del terremoto de México, organizados en dos *datasets*: DSMI, tuits emitidos por usuarios particulares mediante la etiqueta #terremoto; y DCMI, tuits que mencionan a organismos de emergencia durante el terremoto. El propósito es identificar las emociones primarias expresadas, su evolución en el tiempo, y los patrones de propagación comparando los dos *datasets*. El análisis se hizo con técnicas de minería de datos. Se concluye que las emociones se expresan con mayor profusión en DSMI que en DCMI. El sentimiento que predomina es la ira y se transforma con el tiempo, en DSMI tiene un curso decreciente, mientras en DCMI evidencia picos de mensajes. Los mensajes más propagados independientemente del *dataset* son los que expresan ira y alegría, emociones polarizadas.

Palabras-clave: analítica; Twitter; emociones; terremoto; minería de datos.

Twitter analytics for the study of primary emotions during the earthquake in Mexico in 2017

Abstract: Emergency management uses Twitter as a valuable tool because it provides data on location, time, content and message propagation. This work analyzed 59416 tweets from the Mexican earthquake organized in two datasets: DSMI, tweets issued by private users through the label #terremoto and DCMI, tweets that mention emergency agencies during the earthquake. The purpose is to identify the expressed primary emotions, their evolution over time, and the propagation patterns by comparing the two datasets. The analysis was done with data mining techniques. It is concluded that emotions are expressed more widely in DSMI than in DCMI. The emotion that predominates is the anger and it is transformed with time, in DSMI it has a decreasing course while in DCMI it shows peaks of messages. The most propagated messages independently of the dataset are those that express anger and joy, polarized emotions.

Keywords*:* Analytics; twitter; emotions; earthquake; data mining.

1. Introducción

Las plataformas de redes sociales se han convertido en espacios digitales donde los usuarios publican y diseminan información de manera espontánea y voluntaria. Twitter por su característica versatilidad, rapidez y sistema de difusión de mensajes está siendo muy utilizado por instituciones gubernamentales y no gubernamentales para gestionar eventos que involucren directamente a la ciudadanía (Henríquez-Coronel, García García & Herrera-Tapia, 2019), como es el caso de desastres naturales, y otros tipos de crisis como lo explican los autores Acar & Muraki (2011); Chatfield, Scholl & Brajawidagda (2013); Porto de Albuquerque et al. (2015). De acuerdo con Liu, Fraustino & Jin (2015); Starbird & Palen (2010), durante una emergencia la cantidad de mensajes (tuits) enviados por los usuarios se incrementa de manera exponencial, causando confusión y desorientación a la ciudadanía. En este escenario, las instituciones desempeñan un rol protagónico, a través de la difusión de información oficial, incluyendo indicaciones útiles para gestionar la crisis, tal como lo argumentan los autores Qu et al (2011); Starbird & Palen (2010).

El volumen de información generada en las redes sociales está basada en el modelo Volunteered Geographic Information (VGI) que, aparte del contenido de los mensajes, ofrece datos de referenciación geográfica, pudiendo ser utilizados en un sinnúmero de aplicaciones (Klonner et al., 2016; Stojanovski et al., 2016). Esta *metadata* es creada por las aplicaciones en los teléfonos inteligentes que cuentan, entre su principal electrónica, con sensores de posicionamiento geográfico, comúnmente conocidos como GPS, y obtenida en tiempo real. El procesamiento de estos datos en un futuro cercano ofrecerá muchos beneficios en la gestión de desastres, especialmente, si se utiliza de manera proactiva en la toma de decisiones (Wang & Ye, 2017; Huang & Xiao, 2015; Veil, Buehner & Palenchar, 2011).

Según Wang & Ye (2017) se analizan cuatro dimensiones, de los tuits que brindan información sensible para la gestión de desastres: espacio, tiempo, contenido y red de difusión. El estudio de los contenidos de los mensajes (tuits) durante la crisis permite conocer la actitud, el estado de ánimo, reacción, y percepción de la ciudadanía afectada por este tipo de eventos. El análisis de sentimientos, como se denomina, es un área de estudio novedosa que ya reporta numerosas investigaciones, sumándose Hussein (2018); Shook & Turner (2016); Wolny (2016); Caragea et al. (2014).

De acuerdo con Ekman (1992), las emociones primarias o básicas son: ira, miedo, tristeza, alegría, asco y sorpresa. En cambio, los autores Jin, Pang & Cameron (2012) consideran que las emociones: ira, miedo, ansiedad y tristeza serían las dominantes en una crisis. En esta investigación, se usará de la clasificación de Ekman, debido a la variedad de tipos que este expone.

Este trabajo estuvo orientado al análisis de las emociones de las personas en las diferentes fases de crisis durante el terremoto de México 2017, tomando como referencia inicial los trabajos de Ekman (1992); Henríquez-Coronel et al. (2018). Se consideró la información que circuló en Twitter en dos conjuntos de datos: Data Con Menciones Institucionales (DCMI), conformado por los tuits que mencionan organismos gubernamentales y no gubernamentales que actuaron en la gestión del terremoto de México; y Data Sin Menciones Institucionales (DSMI), emitidos por usuarios individuales. Se intentó responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué emociones primarias predominan en los tuits analizados?
- ¿Influye el tipo de *dataset* analizado (con o sin menciones a organismos oficiales) en las emociones predominantes?
- ¿Hay patrones que caractericen la transformación de las emociones en función del tiempo transcurrido?
- ¿Existe algún patrón respecto a la propagación de tuits y el tipo de emoción?

En tiempo de crisis, especialmente las causadas por desastres naturales, la información fresca y de primera mano ya no proviene de medios de comunicación tradicionales como la radio y/o televisión; con la masificación de internet, las redes sociales se han convertido en esa fuente primaria de noticias. También se utilizan modelos de transmisión de datos no convencionales, basados en redes oportunísticas. Los autores Hernández-Orallo et al. (2015); Herrera-Tapia et al. (2016) explican cómo se realiza la diseminación de mensajes entre dispositivos móviles que no requieren infraestructura fija de telecomunicaciones y con diferente densidad de usuarios (Chancay-Garcia et al., 2018). Como argumentan los autores Yin et al. (2012), la utilización de los canales de comunicación digital como las plataformas de Facebook, Instagram, WhatsApp y, especialmente, Twitter, ofrecen datos oportunos de diferentes individuos u organizaciones que están siendo o no afectados por el evento (desastre natural), y que cumplen el rol de emisores. A través del envío o reenvío de mensajes, se incrementa significativamente la cantidad de información en tiempo real, permitiendo contrastar y verificar lo que está sucediendo, con el objetivo evitar los rumores, dando lugar a que las organizaciones gubernamentales y no-gubernamentales gestionen la crisis con un mayor criterio (Graham, Avery & Park, 2015; Oh, Agrawal & Rao, 2013).

Respecto al estudio de la propagación de tuits y sus variables influyentes, Lin, Lachlan & Spence (2016) analizaron las conductas de propagación de tuits de forma comparada entre ciudadanos chinos y estadounidenses, encontrando similitudes y diferencias en los grupos comparados. Así, según el estudio desplegado en China se retuiteó más contenido informativo (70%), que aquel, que tienen que ver con las emociones.

En base a la estructura de los mensajes en Twitter, y con la utilización de la herramienta Twitter Analytics (Twitter, 2011), se encontraron distintos trabajos de investigación. Los autores Qu et al. (2011) presentaron un estudio acerca del popular Weibo, para investigar cómo los usuarios de internet en China utilizaron esta red social en respuesta a un desastre natural, como fue el terremoto de Yushu, de 2010. Estos investigadores combinaron múltiples métodos de análisis, especialmente de contenido en los mensajes en Weibo, observación de tendencias de diferentes temas, y de la información del proceso de difusión. Este trabajo complementó a los existentes con una exploración de un sistema sociocultural no occidental, como es el uso de servicios de *microblogging* por usuarios chinos en respuesta a un terremoto. En este mismo contexto, investigadores como Morales et al. (2018), examinaron los contenidos de Twitter durante el terremoto de Iquique, en Chile, para "describir las funciones que cumplían los mensajes emitidos por los usuarios del servicio de Twitter, durante el mes, inmediatamente posterior de acontecido el fenómeno natural" (pág. 343). El método fue de análisis cualitativo de datos en torno a cinco categorías que ellos establecieron. Los autores argumentan que los usuarios emplearon Twitter como plataforma para expresar opinión, convocar a la acción social y manifestar sus emociones.

La diversidad lingüística encontrada en los mensajes, que es una expresión de las emociones, estado de ánimo, acciones y reacciones espontáneas de la ciudadanía atravesando una crisis, permite investigaciones más focalizadas sobre el contenido; que utilizando técnicas de minería de datos dan lugar al concepto de análisis de sentimientos. En los trabajos de Mäntylä, Graziotin & Kuutila (2018); Medhat, Hassan & Korashy (2014) se presentan un amplio estado del arte acerca de las técnicas para el análisis de sentimientos y las metodologías utilizadas para tal efecto.

Bifet et al. (2011) proponen MOA-TweetReader, un sistema en tiempo real para leer los tuits y determinar el cambio de sentimiento en base a las alteraciones más frecuentes en el contenido de los mensajes. De acuerdo con los autores, MOA-TweetReader es una extensión de la plataforma Massive Online Analysis (MOA), que sirve para la implementación de algoritmos de aprendizaje en línea, basado en cadenas de texto. Aparte del uso de aplicaciones para sondear los sentimientos en Twitter, en el artículo de Pandey, Rajpoot & Saraswat (2017), los autores plantean un nuevo método metaheurístico, denominado (CSK), que se fundamenta en el uso de técnicas de clusterización, fundadas en el método K-medias (k-means), y en el algoritmo de búsqueda y optimización Cukoo. Los resultados prueban la eficacia y el rendimiento de este método para analizar la información en redes sociales.

Debido a la importancia del comportamiento de las personas, el análisis de sentimientos es también aplicado a escenarios laborales, como es el caso de Toyota. Los investigadores Stieglitz & Krüger (2011) argumentan que las herramientas de análisis de sentimientos no consideran la dinámica de las discusiones en un determinado entorno. Su estudio se basa en un conjunto de 730 000 tuits publicados en un tiempo de 19 semanas; empleando métodos lingüísticos, clasificaron sentimientos en diferentes fases de la crisis que atravesó esta importante corporación. Otro tipo de crisis que está muy presente en las sociedades actuales es la de los refugiados. En sendos estudios, Öztürk & Ayvaz (2018); Pope & Griffith (2016) expusieron una indagación de las reacciones; fundamentado en la crisis de refugiados de Siria, se recolectaron un total de 2'381 297 tuits, tanto en el idioma turco como en el inglés y, en la segunda investigación, más de 1'600 000 tuits en alemán e inglés. En estas investigaciones se evidenciaron las reacciones de los países cercanos a la crisis migratoria y, por otro lado, las reacciones de países alejados geográficamente, pero que tienen relación con este proceso migratorio.

En esta investigación se efectuó el análisis de sentimientos de las personas que han sido afectadas por un desastre natural, específicamente por el terremoto de Puebla-México, en el 2017, considerando: a) la variación de las emociones y reacciones durante y después de los días de *clímax* de la crisis; b) patrones en relación con el tipo de tuits (si proviene de organismos o de particulares); y c) patrones de propagación de tuits (retuits) dependiendo del tipo de emoción.

Este documento está organizado de la siguiente forma: luego de esta introducción, que contiene trabajos relacionados a la temática; sigue la sección dos, con la metodología empleada para el análisis de datos; la sección tres con los resultados; y, finalmente, la sección cuatro de la discusión.

2. Metodología

Este trabajo analiza el uso de Twitter para la gestión de las emergencias en el terremoto de México, basado en la evolución de los sentimientos durante un desastre natural, específicamente en la fase de impacto, donde se dispone de la más alta concentración de mensajes, como lo argumentan Méndez et al. (2010). El terremoto del Estado de Puebla, en México, fue de magnitud de 7.1 Mw, y se registró el 19 de septiembre de 2017, a las 13:14, hora local (Diario Excelsior, 2017).

Para el estudio se utilizaron dos *dataset*. El primero fue adquirido por el equipo de investigación a la empresa Twitter, conteniendo menciones a instituciones mexicanas de atención de emergencias. El segundo fue descargado, utilizando el complemento Twitter Archiver con el hasgtag #terremoto, y cuya localización fue cercana a Puebla, México. En este artículo se denomina Data Con Menciones Institucionales (DCMI) al primer *dataset*, y Data Sin Menciones Institucionales (DSMI) al segundo.

DCMI es un *dataset* con un total de 158 706 tuits y retuits, enviados entre el 19/09/2017, a las 13:00 y el 22/09/2017, a las 19:00. Por su parte, DSMI es un *dataset* de 40 051 tuits y retuits entre el 20/09/2017, a la 01:00 y el 25/09/2017, a las 12:00. El análisis combinado de *datasets* es una forma de procesamiento sugerida en muchas investigaciones por su carácter comprehensivo (Acar & Muraki, 2011; Gurman & Ellenberger, 2015; Henríquez-Coronel et al., 2019; Mendoza, Poblete & Castillo, 2010).

El procesamiento de la información responde a los esquemas generales de la minería de datos. En primer lugar, se clasificó la *data* en la que tanto DCMI y DSMI coincidían, es decir, entre el 20/09/2017, a las 01:00 y el 22/09/2017, a las 19h00. Desde DSMI se extrajeron los tuits sin duplicados. Un equipo de codificadores, previamente capacitados, se encargó de categorizar manualmente las emociones primarias de cada tuit. En el caso de DCMI, debido a su gran tamaño, se usó un mecanismo de muestreo aleatorio para seleccionar una cantidad similar de tuits sin duplicados, los cuales fueron categorizados de igual manera que en el primer caso.

A continuación, las emociones categorizadas en los tuits sin duplicados fueron replicadas en sus respectivos duplicados para conservar el volumen original de tuits y retuits. Finalmente, DCMI quedó con un total de 31 581 tuits y retuits, mientras que DSMI quedó con 27 835 tuits y retuits.

El análisis de contenidos se lo hizo con el método clásico de libro de códigos, fundamentado en la teoría de Glaser. Específicamente, se partió de la lista de emociones recomendadas por Ekman (1992); Jin et al. (2012); cuarenta codificadores realizaron la codificación manual y se realizó una verificación doble. Previo al análisis masivo de los datos, se seleccionaron 100 tuits al azar que fueron codificados por cada persona, se compararon los códigos asignados y se depuraron los criterios de los codificadores.

3. Resultados

En esta sección se presenta la evolución de las emociones que se expresaron por Twitter durante los tres días siguientes al terremoto de México. Siguiendo la línea de análisis

establecida en las preguntas de la investigación, es interesante encontrar las emociones que predominan, los posibles patrones en la evolución temporal de las emociones expresadas en los tuits y los patrones de propagación. Además, surge el cuestionamiento de, si el hecho de que los tuits tuviesen menciones de organismos oficiales, podría influir o no en la emoción que predomina. Los tuits cuyo contenido fue clasificado como de emociones primarias representaron un 29% del total de tuits del DCMI, y 69% del DSMI. Otras investigaciones han encontrado porcentajes menores, como en Morales et al. (2018), con un 7,2%; Acar & Muraki, (2011), con 16%; y Lin et al. (2016), con 39%.

En el conglomerado de los días, el sentimiento que más se repite en los tuits es la ira, para los dos conjuntos de tuits. En el caso de tuits con mención a organismos oficiales (DCMI), la ira está presente en el 42% de los mensajes, mientras en los tuits emitidos por particulares, usando la etiqueta terremoto y que no mencionan organismos oficiales (DSMI), la ira aparece en un 62%. Estas diferencias se aprecian en la Tabla 1.

Sentimiento	**DCMI Emociones primarias CON mención institucional tuits**	**%**	**DSMI Emociones primarias SIN mención institucional tuits**	**%**
Alegría	972	24	2 090	19
Ira	1 675	42	7 013	62
Miedo	378	10	374	3
Tristeza	223	6	1 500	13
Sorpresa	408	10	230	2
Asco	319	8	36	0

Tabla 1 – Distribución de emociones primarias en los dos *dataset* analizados

Se observa la tendencia a un mayor contenido emocional en los tuits de DSMI, que en los de DCMI. La Figura 1 permite apreciar que en DSMI se encuentra una mayor proporción de contenido relativo a la ira y tristeza.

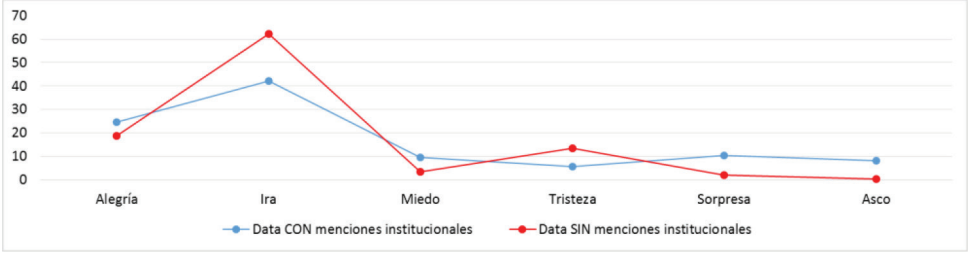


Figura 1 – Comparación de emociones presentes en DCMI y DSMI (%)

Para facilitar el análisis relacionado a la evolución de sentimientos en el tiempo, se ha dividido cada uno de los tres días estudiados en cuatro bloques horarios (seis horas, cada uno), señalados como P1, P2, P3 y P4.

La Figura 2 muestra la evolución de las emociones en los tres días analizados para el grupo de tuits que no tenían mención a organismos oficiales (DSMI). Se aprecia con claridad que, mientras la reacción de ira experimenta un descenso sostenido en la medida que avanza el tiempo, otras emociones como alegría o tristeza tienen picos que probablemente coinciden con acontecimientos puntuales en el mundo real.

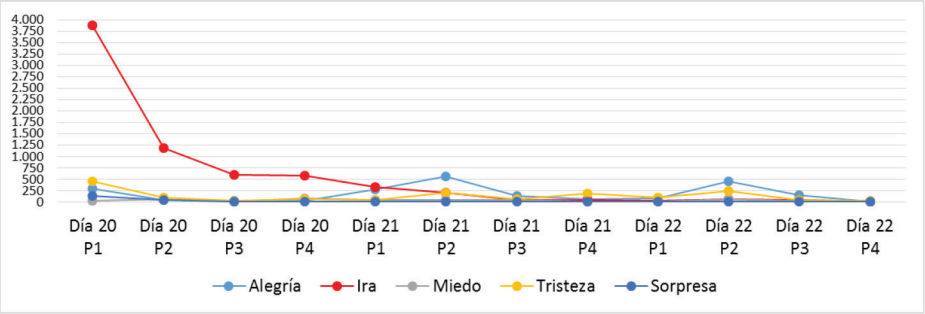


Figura 2 – Evolución de emociones primarias – DSMI (tuits)

En cambio, para los tuits que contenían mención institucional (DCMI), se observan picos en todas las emociones como se puede apreciar en la Figura 3.

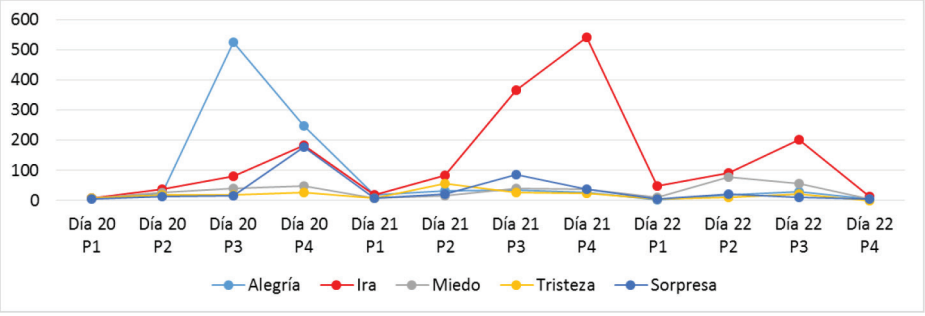


Figura 3 – Evolución de emociones primarias – DCMI (tuits)

Tal como argumentan los autores Pope & Griffith (2016), los picos asociados a las emociones suelen estar relacionados con eventos del mundo real. En este caso, se observa que DCMI tiene un pico de alegría en el día 20, hecho que podría ser explicado debido a que, a través de la cuenta @gobmx, se compartió la lista de personas que se encontraban en los hospitales, ver Figura 4.

> *@gobmx En Puedes consultar lista por nombre apellido para localizar personas en Hosp de @Tu_IMSS*

Figura 4 – Tuits de la cuenta @gobmx

En un segundo análisis se intentó localizar patrones de variación de las emociones en el tiempo. Analizando en detalle la reacción que predomina, es la ira. En la Figura 5 se observa cierta inversión en las curvas. Mientras en DCMI (tuits de organismos), la ira parece ir en aumento conforme pasan las horas y días. En DSMI hay una tendencia a la disminución de la ira presente en los tuits.

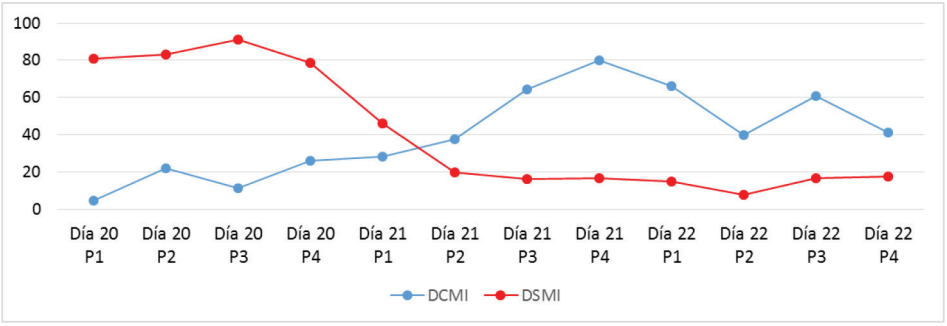


Figura 5 – Comparativa de ira en DCMI y DSMI (%)

El miedo, segunda emoción negativa dominante, evidencia curvas más homogéneas. Ver Figura 6.

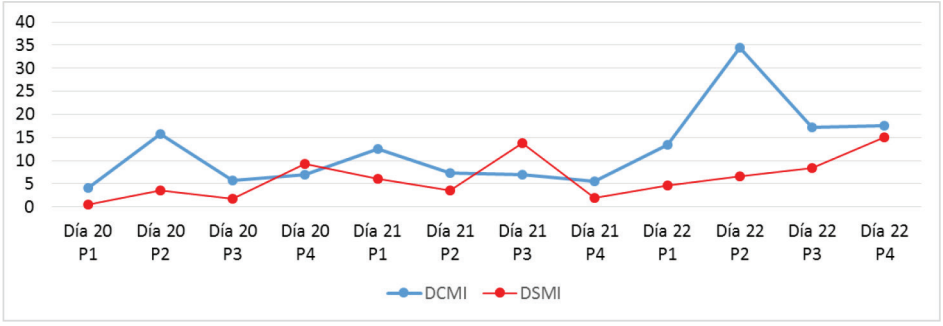


Figura 6 – Comparativa de *miedo* en los dos *dataset* (%)

Respecto a la tristeza, de acuerdo a la Figura 7, se repite la tendencia con la aparición de picos en fechas y horas específicas. DSMI tiene un pico de tristeza en el día 21, probablemente a que se hizo viral una noticia sobre un niño que nunca fue rescatado en el terremoto de México, de 1985.

Finalmente, es interesante averiguar los patrones de propagación de los tuits, para esto se procedió a comparar el número de retuits obtenidos para cada emoción. Se observa en la Figura 8, que para DCMI la emoción negativa que más se retuitea es la ira, seguida del miedo. En cambio, en el DSMI, se retuitea la ira, seguida de tristeza y con porcentaje mucho más alto que los de DCMI.

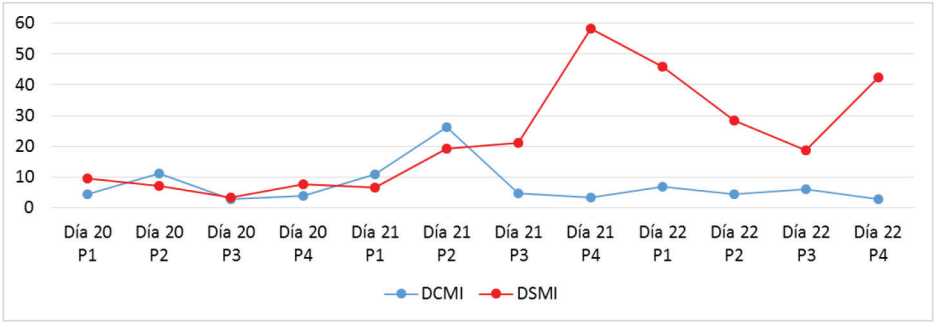


Figura 7 – Comparativa de tristeza en los dos *dataset* (%)

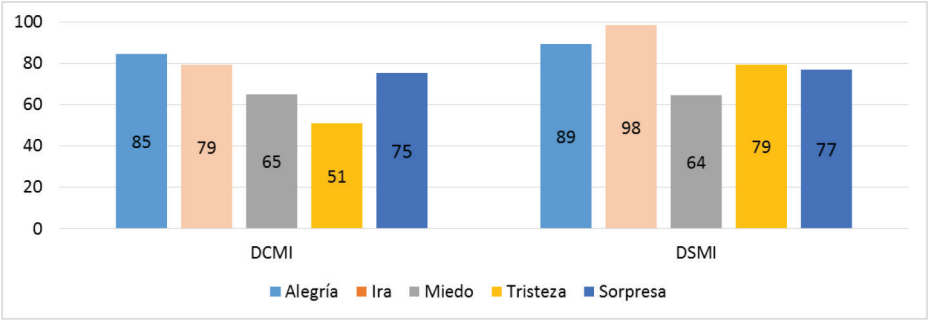


Figura 8 – Tasa de retuits por *emoción* DCMI versus DSMI (%)

Otro patrón que analizar es el temporal, para determinar si hay diferencias en los retuits en la medida que avanza el tiempo. Las Figuras 9 y 10 muestran la evolución temporal para DCMI y DSMI. Tal como se observa en los gráficos, mientras en el *dataset* DCMI se observan picos irregulares, en DSMI hay mayor homogeneidad en cuanto al porcentaje de retuits, que fluctúa entre 60% y 100% para todas las emociones.

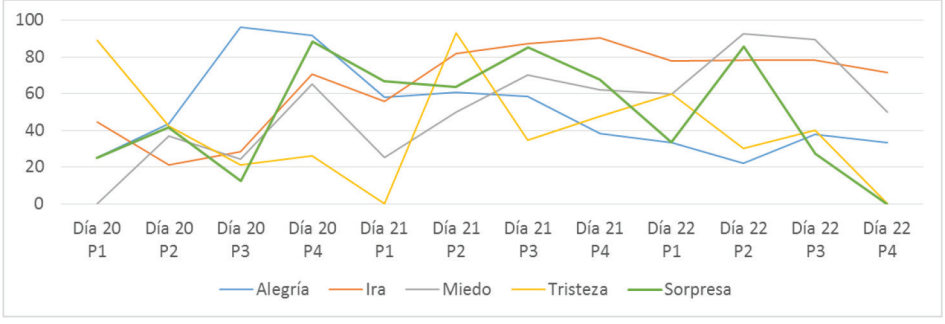


Figura 9 – Distribución temporal de retuits en DCMI (%)

Finalmente, se indaga si la franja horaria influye en el número de tuits emitidos. Se calcularon los promedios de tuits por cada franja, P1, P2, P3 y P4, con independencia de las emociones. Se obtuvo que, para el *dataset* DCMI, los promedios de tuits de las cuatro franjas horarias eran bastante similares, con una desviación estándar de 0,02; y, siendo P2, la franja de mayor tuiteo, con 52%. Respecto al *dataset* DSMI, P2 es la franja de más retuits con 68%.

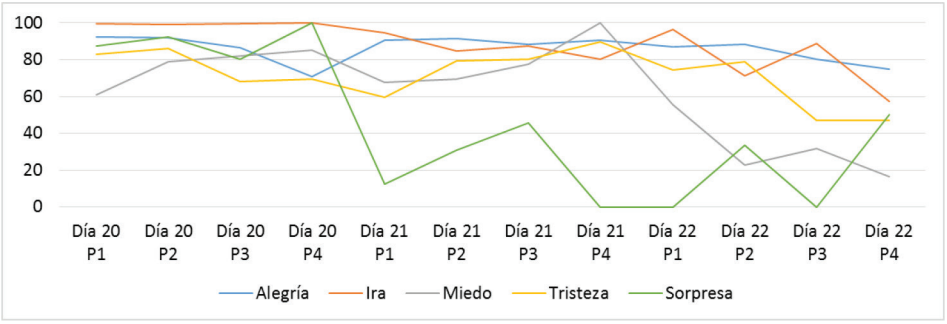


Figura 10 – Distribución temporal de retuits en DSMI (%)

4. Discusión

Este estudio ha permitido responder las preguntas base y comprobar hallazgos de otros investigadores, a la vez que ha abierto nuevas interrogantes y líneas para un trabajo futuro. Los tuits que mencionan organismos, DCMI, tienen menos contenido emocional que aquellos tuits del DSMI. Probablemente, lo expuesto por algunos autores, respecto a que algunas personas entrevistadas por ellos opinaron que las etiquetas de Twitter –en caso de terremoto– deberían ser usadas solo para acciones concretas de ayuda y no para expresión de emociones, podría explicar estas opiniones del público. Sin embargo, otros autores confirman la importancia de las emociones como mediadores de las respuestas del público hacia las crisis.

En el caso de desastres naturales como los terremotos, las emociones que se hacen presentes en las primeras horas del terremoto son ira, miedo y tristeza, como ya evidenciaron distintos autores. Sin embargo, en los *dataset* analizados su distribucion en el tiempo no está normalizada, sino que parece responder a acontecimientos externos que actúan como activadores de la emoción. En el caso de la principal emoción, la ira, lleva un curso decreciente conforme pasa el tiempo para el DSMI, mientras presenta picos para el *dataset* DCMI.

En los conjuntos de datos de este trabajo se observa una tendencia a retuitear preferentemente las emociones de ira y alegría, y se retituea más en DSMI que en DCMI. En cuanto a temporalidad, en los tuits emitidos por particulares (DSMI) hay mayor regularidad y fluctúa entre el 60% y 100%. En DCMI parece que las fluctuaciones no siguen un patrón. La franja horaria donde más se tuitea es en P2, de 06:00 a 12:00, en ambos *datasets*. En síntesis, los patrones de redistribución de tuits están más asociados a la emoción que al tiempo.

Todas las emociones generan una actitud. Es importante medir y precisar cómo evolucionan esas emociones para enviar mensajes apropiados y lograr una gestión

más adecuada de las crisis. Debido a que, en los primeros momentos de la crisis, la gente necesita ganar tiempo para entender la situación antes de estar disponible para organizarse y participar. Así que las emociones de estos primeros momentos pueden ser mediadores importantes en la disposición posterior a la acción.

Aunque en este trabajo se analizó un grupo amplio de tuits y fueron escogidos aleatoriamente; futuras investigaciones deberán plantear modelos de regresión que permita identificar las variables que condicionan los patrones de propagación de los tuits en las crisis por desastres naturales. Otro reto para futuros trabajos es analizar la relación entre las emociones primarias y secundarias, y su papel mediador en la comunicación de crisis, utilizando técnicas de minería de texto.

Referencias

Acar, A., & Muraki, Y. (2011). Twitter for crisis communication: lessons learned from Japan's tsunami disaster. *International Journal of Web Based Communities*, *7*(3), 392. doi.org/10.1504/IJWBC.2011.041206

Bifet, A., Holmes, G., Pfahringer, B., Gavalda, R., & Figuerol. (2011). Detecting sentiment change in Twitter streaming data. *Journal of Machine, 17*, 5–11. doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.059

Chancay-Garcia, L., Herrera-Tapia, J., Manzoni, P., Hernandez-Orallo, E., Calafate, C. T., & Cano, J.-C. (2018). Evaluation of Routing Protocols for Opportunistic Networks in Scenarios with High Degree of People Renewal. In *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 228–235). IEEE. DOI: 10.1109/AINA.2018.00044

Chatfield, A. T., Scholl, H. J. J., & Brajawidagda, U. (2013). Tsunami early warnings via Twitter in government: Net-savvy citizens' co-production of time-critical public information services. *Government Information Quarterly*, *30*(4), 377–386. DOI: 10.1016/j.giq.2013.05.021

Ekman, P. (1992). An Argument for Basic Emotions. *Cognition and Emotion*, *6*(May 2013), 169–200.

Graham, M. W., Avery, E. J., & Park, S. (2015). The role of social media in local government crisis communications. *Public Relations Review*, *41*(3). DOI: 10.1016/j.pubrev.2015.02.001

Gurman, T. A., & Ellenberger, N. (2015). Reaching the global community during disasters: Findings from a content analysis of the organizational use of twitter after the 2010 haiti earthquake. *Journal of Health Communication*, *20*(6), 687–696. DOI: 10.1080/10810730.2015.1018566

Henríquez-Coronel, P., Barredo-Ibáñez, D., & Trámpuz, J. P. (2018). El papel del medio y las emociones en la comunicación en crisis. Estudio experimental de Twitter, Facebook y ELCOMERCIO.com en Ecuador / The role of media and emotions in crisis communication: Experimental study about Twitter, Facebook and ELCOMERCIO.com. *Revista Internacional de Relaciones Públicas*, *8*(16), 187–206. DOI: 10.5783/REVRRPP.V8I16.537

Henríquez-Coronel, P., García García, J., & Herrera-Tapia, J. (2019). Management of Natural Disasters Based on Twitter Analytics. 2017 Mexico Earthquake (pp. 3–12). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-11890-7_1

Hernandez-Orallo, E., Herrera-Tapia, J., Cano, J. C., Calafate, C. T., & Manzoni, P. (2015). Evaluating the Impact of Data Transfer Time in Contact-Based Messaging Applications. *IEEE Communications Letters*, *19*(10), 1814–1817. DOI: 10.1109/LCOMM.2015.2472407

Herrera-Tapia, J., Hernández-Orallo, E., Tomás, A., Manzoni, P., Calafate, C. T., & Cano, J. C. (2016). Friendly-sharing: Improving the performance of city sensoring through contact-based messaging applications. *Sensors (Switzerland)*, *16*(9). DOI: 10.3390/s16091523

Huang, Q., & Xiao, Y. (2015). Geographic Situational Awareness: Mining Tweets for Disaster Preparedness, Emergency Response, Impact, and Recovery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *4*(3), 1549–1568. DOI: 10.3390/ijgi4031549

Hussein, D. M. E. D. M. (2018). A survey on sentiment analysis challenges. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, *30*(4), 330–338. DOI: 10.1016/j.jksues.2016.04.002

Jin, Y., Pang, A., & Cameron, G. T. (2012). Toward a Publics-Driven, Emotion-Based Conceptualization in Crisis Communication: Unearthing Dominant Emotions in Multi-Staged Testing of the Integrated Crisis Mapping (ICM) Model. *Journal of Public Relations Research*, *24*(3), 266–298. DOI: 10.1080/1062726X.2012.676747

Klonner, C., Marx, S., Usón, T., Porto de Albuquerque, J., & Höfle, B. (2016). Volunteered Geographic Information in Natural Hazard Analysis: A Systematic Literature Review of Current Approaches with a Focus on Preparedness and Mitigation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *5*(7), 103. DOI: 10.3390/ijgi5070103

Lin, X., Lachlan, K. A., & Spence, P. R. (2016). Exploring extreme events on social media: A comparison of user reposting/retweeting behaviors on Twitter and Weibo. *Computers in Human Behavior*, *65*(July), 576–581. DOI: 10.1016/j.chb.2016.04.032

Liu, B. F., Fraustino, J. D., & Jin, Y. (2015). How Disaster Information Form, Source, Type, and Prior Disaster Exposure Affect Public Outcomes: Jumping on the Social Media Bandwagon? *Journal of Applied Communication Research*, *43*(1), 44–65. doi.org/10.1080/00909882.2014.982685

Mäntylä, M. V., Graziotin, D., & Kuutila, M. (2018). The evolution of sentiment analysis—A review of research topics, venues, and top cited papers. *Computer Science Review*, *27*, 16–32. DOI: 10.1016/j.cosrev.2017.10.002

Medhat, W., Hassan, A., & Korashy, H. (2014). Sentiment analysis algorithms and applications: A survey. *Ain Shams Engineering Journal*, *5*(4), 1093–1113. DOI: 10.1016/j.asej.2014.04.011

Méndez, M. D., Leiva, M. C., Bustos, C. B., Ramos, N. A., & Moyano-Díaz, E. (2010). Mapa exploratorio de intervenciones psicosociales frente al terremoto del 27 de Febrero de 2010 en la Zona Centro-Sur de Chile. *Terapia Psicologica*, *28*(2), 193–202. DOI: 10.4067/S0718-48082010000200008

Mendoza, M., Poblete, B., & Castillo, C. (2010). Twitter Under Crisis: Can we trust what we RT?

Morales, M. C., Cabezas, N. G., Jaime, K., & Rendić, F. (2018). Uso De Twitter En Desastres: El Terremoto De Iquique. *Interciencia*, *43*(May), 343–350.

Oh, O., Agrawal, M., & Rao, H. R. (2013). Community Intelligence and Social Media Services: A Rumor Theoretic Analysis of Tweets During Social Crises. *MIS Quarterly*, *37*(2), 407–426. DOI: 10.25300/MISQ/2013/37.2.05

Öztürk, N., & Ayvaz, S. (2018). Sentiment analysis on Twitter: A text mining approach to the Syrian refugee crisis. *Telematics and Informatics*. DOI: 10.1016/j.tele.2017.10.006

Pandey, A. C., Rajpoot, D. S., & Saraswat, M. (2017). Twitter sentiment analysis using hybrid cuckoo search method. *Information Processing and Management*, *53*(4), 764–779. DOI: 10.1016/j.ipm.2017.02.004

Pope, D., & Griffith, J. (2016). An Analysis of Online Twitter Sentiment Surrounding the European Refugee Crisis. *Proceedings of the 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, *1*(Ic3k), 299–306. DOI: 10.5220/0006051902990306

Porto de Albuquerque, J., Herfort, B., Brenning, A., & Zipf, A. (2015). A geographic approach for combining social media and authoritative data towards identifying useful information for disaster management. *International Journal of Geographical Information Science*, *29*(4), 667–689. DOI: 10.1080/13658816.2014.996567

Qu, Y., Huang, C., Zhang, P., & Zhang, J. (2011). Microblogging after a major disaster in China. *Proceedings of the ACM 2011 Conference on Computer Supported Cooperative Work - CSCW '11*, (July 2016), 25. DOI: 10.1145/1958824.1958830

Starbird, K., & Palen, L. (2010). Pass it on?: Retweeting in mass emergency. *Proceedings of the 7th International ISCRAM Conference*, (December 2004), 1–10. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2009.01231.x

Stieglitz, S., & Krüger, N. (2011). Analysis of sentiments in corporate Twitter communication–A case study on an issue of Toyota. *Analysis*, *1*, 1–2011.

Stojanovski, D., Chorbev, I., Dimitrovski, I., & Madjarov, G. (2016). Social Networks VGI : Twitter Sentiment Analysis of Social Hotspots. *European Handbook of Crowdsourced Geographic Information*, 223–235.

Twitter, I. (2011). Twitter Analytics. DOI: 10.1360/zd-2013-43-6-1064

Wang, Z., & Ye, X. (2017). Social media analytics for natural disaster management. *International Journal of Geographical Information Science*, *32*(1), 49–72. DOI: 10.1080/13658816.2017.1367003

Wolny, W. (2016). Emotion analysis of twitter data that use emoticons and emoji ideograms. In *25th International Conference on Information Systems Development, ISD 2016*.

Yin, J., Lampert, A., Cameron, M., Robinson, B., & Power, R. (2012). Using social media to enhance emergency situation awareness. *IEEE Intelligent Systems*, *27*(6), 52–59. DOI: 10.1109/MIS.2012.6

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 18/11/2018
Aceitação/Acceptance: 25/01/2019

Indicadores para la detección de ataques *ransomware*

Freddy Daniel Bazante Veloz[1], Lorena Isabel Barona López[2], Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay[3], Myriam Beatriz Hernández Álvarez[4]

freddy.bazante@epn.edu.ec, lorena.barona@epn.edu.ec, angel.valdivieso@epn.edu.ec, myriam.hernandez@epn.edu.ec

[1,2,3,4] Escuela Politécnica Nacional, 170525 Quito, Ecuador.

Pages:493–506

Resumen: El creciente número de dispositivos que comparten información personal a través de las redes, y la privacidad que ofrecen las criptomonedas han incentivado nuevas formas de ataques cibernéticos. En este sentido, *ransomware* es una de las principales amenazas que obliga al usuario a realizar un pago electrónico con el fin de recuperar su información personal. La principal desventaja de este tipo de *malware* es la dificultad para recuperar la información, una vez que el ataque ha sido efectuado. Por tal motivo, es fundamental el desarrollo de soluciones para la detección y la creación de estrategias reactivas en caso de ataque. El presente artículo se centra en el análisis automático de dos tipos de muestras de *ransomware*: CryptoLocker y WannaCry. La propuesta describe la configuración e implementación de un ambiente controlado a través de la herramienta Cuckoo Sandbox. Se realiza el análisis de los parámetros que podrían ser considerados en el proceso de detección y predicción de ataques de este tipo, siendo éste el principal aporte del artículo. Se presenta una prueba de concepto del análisis de la información filtrada a través de la creación de un modelo de aprendizaje automático.

Palabras-clave: análisis *malware*; CryptoLocker; Cuckoo Sandbox; *ransomware*; WannaCry.

Key indicators in ransomware detection

Abstract: The growing number of devices sharing personal information and the privacy provided by cryptocurrencies have motivated the development of new attack vectors. In this way, ransomware is one of the most relevant threat due it requests users a bitcoin payment in order to recover their personal data. The main disadvantage of ransomware is the difficulty to recover the information once the attack has been executed. For this reason, it is fundamental the development of new proactive detection solutions and reactive strategies. The present work focuses on the analysis of Cryptolocker and WannaCry as the most relevant ransomware attacks. In this context, the configuration and implementation of a controlled environment through Sandbox is outlined. Similarly, the main parameters used in detection and prediction strategies for analysis are described. Finally, a proof-

of-concept of an automatic learning model based on the filtered information is presented.

Keywords: malware analysis; CryptoLocker; Cuckoo Sandbox; ransomware; WannaCry.

1. Introducción

El almacenamiento e intercambio seguro de información, por medio de las redes de comunicaciones, es fundamental para el desarrollo de diferentes áreas, tales como producción, entretenimiento, educación, etc. Sin embargo, el número de usuarios particulares y empresas afectadas por ataques de *ransomware* se ha incrementado considerablemente en los últimos años (Azmoodeh, 2017). La creación de nuevos modelos de negocio basados en el Internet de las Cosas (IoT), servicios en la nube, *e-banking*, junto con el anonimato de las transacciones en criptomonedas ha motivado el diseño de nuevos ataques (Conti, 2018). Los atacantes han creado nuevas variantes de *malware*, causando un daño alarmante, tanto financieramente como en la imagen institucional de las empresas. En este contexto, *ransomware* se ha convertido en uno de los ataques más peligrosos provocando cuantiosas pérdidas alrededor del mundo (ESET, 2017).

De acuerdo con un reporte de la empresa Symantec, el número de ataques *ransomware* aumentó en un 113%, siendo también considerado una amenaza del núcleo de internet. Los ataques no se limitan solamente a personas particulares, ahora se dirigen también a grandes organizaciones, tales como hospitales, entidades educativas, bancarias, entre otras (Zahra, 2017). Algunas propuestas se enfocan en recomendaciones para prevenir este tipo de ataques, tales como la realización de *backups*, actualización del sistema operativo, etc. (Richardson, 2017). Por otra parte, existen trabajos que proponen diferentes mecanismos para la prevención de pérdida de información, tales como la creación de un repositorio seguro donde se guardan las claves de encriptación (Kolodenker, 2017) o el despliegue de *honeypots* (Moore, 2016).

En Chen, Kang, Yin & Kim (2017), se analiza las llamadas a APIs a través de algoritmos de minería de datos, como Random Forest (RF) o Máquina de Vector Soporte (SVM). Este trabajo incluye cuatro fases: i) la extracción de características; ii) el preprocesamiento de la información; iii) la selección de características; y iv) el análisis de resultados a través de algoritmos de aprendizaje. Por su parte, EldeRan propone un método de clasificación dinámico para detectar el tipo de *ransomware* al que pertenece el ataque (Sgandurra, Muñoz-González, Mohsen & Lupu, 2016). Para ello considera las siguientes características: llamadas a APIs, monitorización de las operaciones del sistema de archivos, directorios y registros, entre otras. Para la clasificación utiliza el algoritmo *Logistic Regression Classifier*. La detección oportuna de un ataque *ransomware* es uno de los principales objetivos de la comunidad científica debido principalmente a la dificultad de recuperar la información, una vez que el ataque ha sido efectuado. En este sentido, se intenta encontrar parámetros que permitan detectar un ataque en sus primeras fases (antes de la encriptación de datos). Una de las opciones más destacadas es analizar métricas y estadísticas del sistema o de la red que permitan detectar patrones conocidos y, de ser posible, predecir un futuro ataque. Algunas soluciones han sido propuestas (Alhawi, 2018; Homayoun, 2019; Lu, 2017); sin embargo, su análisis experimental revela

que la tasa de falsos positivos es de alrededor del 20% (Takeuchi, 2018). Las soluciones propuestas por Sgandurra et al. (2016) y Chen et al. (2017) muestran resultados de la aplicación de algoritmos de *machine learning* para la detección de *ransomware*. Sin embargo, no profundizan en el proceso de extracción de características, lo cual dificulta la replicación de los experimentos y el análisis y comparación de resultados.

De igual manera, es fundamental determinar y correlacionar los parámetros adecuados con el objetivo de diferenciar un *software* legítimo de encriptación, de un ataque *ransomware*. En este contexto, el presente artículo se centra en la descripción de las características que se obtienen del despliegue de la herramienta Cuckoo Sandbox[1]. Dicha herramienta permite la recolección automática de diferentes parámetros, tales como comunicaciones Comando y Control (C&C), actividad del sistema de archivos, cambio en los registros, escala de privilegios, entre otros. Además, se realiza una serie de experimentos y se recolecta información del ataque, tanto con Cryptolocker, como WannaCry. Asimismo, se presenta una prueba de concepto para la clasificación de patrones que ayuden a contrarrestar los posibles ataques y a desarrollar un plan de recuperación.

El presente trabajo consta de cinco secciones, siendo la primera de ellas la presente introducción. En el apartado dos, se detallan las fases de un ataque *ransomware*, así como las características principales de dos de sus muestras: CryptoLocker y WannaCry. En la tercera sección, se especifica la configuración e implementación del ambiente controlado, a través de la herramienta de análisis de *malware* conocida como Cuckoo Sandbox. Luego, se describe el escenario de prueba propuesto y las diferentes maneras de obtención de información relacionadas al ataque. En la sección cuatro, se realiza el filtrado y el análisis de los parámetros obtenidos durante el ataque a dos sistemas operativos diferentes: Windows XP y Windows 7. Con dicha información, se plantea un modelo de predicción del tipo de ataque *ransomware* (CryptoLocker y WannaCry). Finalmente, en la quinta sección, se presentan las conclusiones del artículo, así como el trabajo futuro.

2. *Ransomware*

Ransomware es un *software* malicioso (*malware*) cuyo objetivo principal es secuestrar los datos de un sistema de información. Para ello, maneja diferentes técnicas que ejecutan código malicioso, convenciendo a los usuarios de que proviene de una fuente segura. El ataque es capaz de bloquear el acceso al dispositivo o bien cifrar archivos para que el usuario no pueda acceder a los mismos. En el primer caso, se trata de un *ransomware* de bloqueo de pantalla, o lockscreen; en el segundo, de un *ransomware* criptográfico, o *filecoder* (ESET, 2017). Luego de que el equipo ha sido comprometido, el atacante exige al usuario el pago de un rescate (Bajpai, 2018). Existen dos categorías de *ransomware*, en función de la forma en que inhabilita el acceso al computador o a la información, los cuales se detallan a continuación:

- *Ransomware* de cifrado (*encrypting ransomware* o *filecoders*): Impide el acceso a los datos del usuario cifrando los archivos del dispositivo con algún método específico. Una vez infectado, el atacante solicita un rescate para la recuperación de datos (Cantón, 2019).

[1] Cuckoo Sandbox Book v2.0.6. https://cuckoo.sh/docs/

- *Ransomware* que no cifra (*lock screen ransomware*): Esta variante no cifra los archivos del usuario. En su lugar, bloquea el acceso al dispositivo. El ataque desencadena algunos procesos y modifica la configuración del computador de tal manera que se muestra una pantalla con el mensaje de rescate, impidiendo cualquier tipo de interacción con el dispositivo comprometido (Infodasa, 2016).

2.1. Etapas de un ataque *ransomware*

Un ataque tipo *ransomware* cifrador se divide en seis etapas: distribución, infección, comunicación, búsqueda de archivos, cifrado y rescate. Para el caso del *ransomware* bloqueador, no existe la etapa de búsqueda de archivos ni el cifrado de los mismos. En su lugar, se bloquea el acceso al equipo. En la Figura 1 se muestra el ciclo de vida de un ataque *ransomware*.

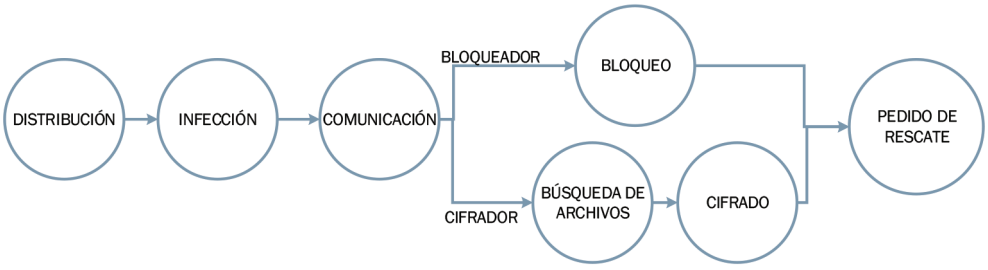


Figura 1 – Ciclo de vida de un ataque *ransomware*

Las características principales del ciclo de vida se describen a continuación:

1. Distribución: el objetivo es hacer llegar el *software* malicioso, desde una fuente externa al equipo de la víctima. Con este fin, el atacante puede utilizar diferentes técnicas de diseminación de malware aprovechando la curiosidad y credulidad de las personas (Sotelo, 2018). Por lo general se utilizan enlaces fraudulentos que pueden estar incluidos en páginas maliciosas, adjuntos de correos electrónicos infectados, *spam*, publicidad engañosa, etc.
2. Infección: una vez que el virus ha sido insertado en el dispositivo de la víctima, se espera el momento de su ejecución. El inicio del ataque depende del tipo de virus y puede realizarse al iniciar, apagar, actualizar, abrir un programa, o un evento específico. Una vez que el código malicioso entra en ejecución, busca evadir las herramientas de protección, defensa y recuperación de errores.
3. Comunicación: en este nivel, el virus intenta conectarse con los servidores maliciosos para recibir una clave de encriptación, que servirá para encriptar los datos del usuario. Las claves que permitirán recuperar los archivos se guardan únicamente en los servidores del atacante para luego pedir el rescate.
4. Búsqueda de archivos: el virus tipo bloqueador ejecuta una búsqueda de los archivos cuyo contenido son de alto valor para el usuario, por ejemplo, documentos de texto: .docx, tablas: .xlsx, oficios: .pdf, imágenes: .jpg, entre otros.
5. Cifrado: los archivos encontrados en el paso anterior son encriptados utilizando las claves recibidas por el servidor del atacante y las fuentes originales son

eliminadas del sistema. De este modo, es prácticamente imposible para la victima recuperar la información.

6. Bloqueo: en el caso del ataque tipo bloqueador, el virus inhabilita el acceso a la pantalla, por ejemplo, modificando el *Master Boot Record* (MBR). De este modo, el usuario no puede utilizar ninguna de las funciones del equipo. En este caso, los cambios que se requieren para recuperar el acceso los tiene el atacante y los usa para solicitar el rescate.
7. Rescate: el atacante informa al usuario que su información o el acceso al sistema puede ser recuperado sólo si se realiza el pago de un rescate. Este aviso suele aparecer en un mensaje en la pantalla del equipo. El pago es solicitado en criptomonedas, aprovechando el anonimato que ofrecen dichas transacciones. Es claro que una vez realizado el pago, no existe ningún tipo de garantía que el acceso al equipo sea recuperado o los archivos desencriptados.

3. Escenarios de prueba

El escenario de pruebas se implementa en un ambiente controlado con el objetivo de recolectar información para su posterior análisis. Luego, se realiza el filtrado de atributos y su clasificación, de tal manera que se crea un modelo de aprendizaje automático para la detección oportuna de ataques *ransomware*. El despliegue del ambiente controlado se basa en la herramienta Cuckoo Sandbox, cuyas fases se muestran en la Figura 2.

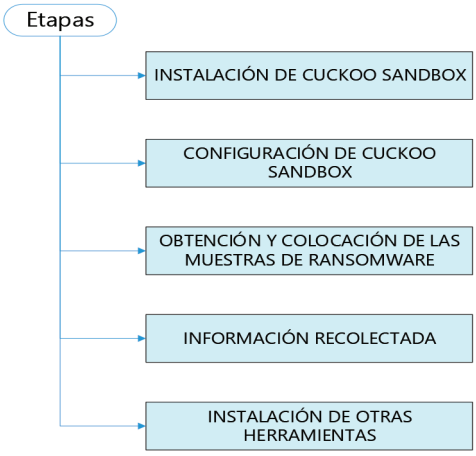


Figura 2 – Etapas de creación del ambiente Cuckoo Sandbox

Cuckoo Sandbox es un sistema de análisis de *malware* automatizado, de código abierto, que permite la simulación de ataques en un ambiente controlado. La información recolectada se puede manipular a través de una interfaz gráfica (informes), o de los *logs* de Cuckoo. También reporta los cambios realizados en el sistema operativo de la víctima, así como la detección de *rootkits*. Para su instalación es necesario el despliegue de un nodo central (computador físico Linux), que se encarga de todo el análisis y

de la ejecución del ataque, así como de las máquinas virtuales que cumplen el rol de víctimas (Windows XP y 7). En la Tabla 1 se detallan las características de los equipos considerados en el ambiente de prueba.

	Equipo principal (Cuckoo)	**Equipo invitado (víctima 1)**	**Equipo invitado (víctima 2)**
Procesador	8	1	1
Memoria	8 GB	1 GB	2 GB
Disco duro	100 GB	20 GB	50 GB
Sistema Operativo	Ubuntu 16.04.1	Windows XP	Windows 7

Tabla 1 – Requerimientos de *hardware*

Adicionalmente, para el buen funcionamiento de Cuckoo Sandbox se requiere un conjunto de paquetes y herramientas, tales como Python 2.7, Yara, Pydeep, el módulo KVM, el paquete XenAPI (virtualización), módulo mitm (intercambiar el tráfico generado por SSL/TLS), tcpdump (monitoreo de red) y volatility (análisis forense del volcado de memoria). El diagrama de red utilizado para el ataque se muestra en la Figura 3.

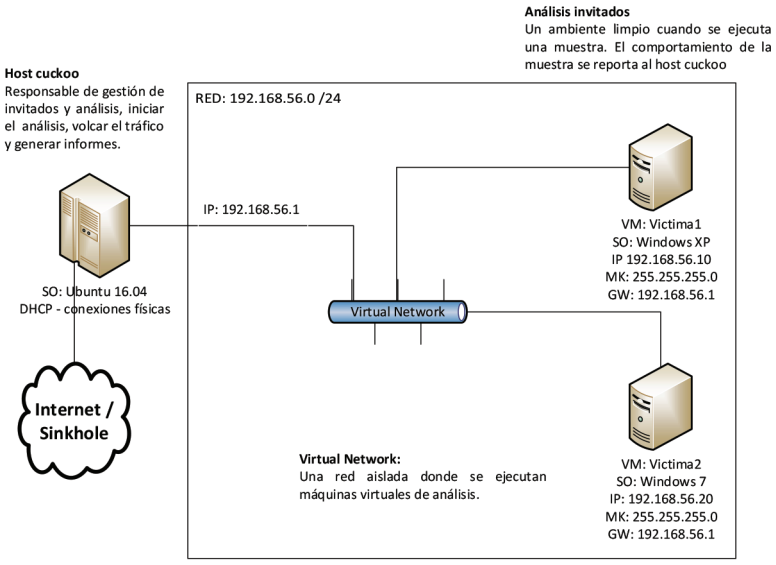


Figura 3 – Diagrama de red del ataque

Como se observa en la Figura 3, las máquinas virtuales se configuran con una dirección IP estática de la red 192.168.56.0 /24. En cada simulación se genera un *snapshot* de cada máquina víctima para volver a un estado limpio luego de realizar un análisis. Las

máquinas virtuales se configuran en modo anfitrión para que el *malware* no tenga acceso a la red. Es importante configurar correctamente las reglas iptables, las cuales permiten la salida de paquetes y enmascaramiento de las direcciones IP. Este último paso se realiza para que las máquinas virtuales tengan conexión a internet. El directorio de trabajo de Cuckoo almacena todos los componentes configurables, datos generados y los resultados del análisis (configuración, firmas, analizador y agentes de Cuckoo, reglas Yara y Cuckoo Storage).

Las directrices para la instalación y configuración del ambiente de pruebas de Cuckoo se encuentran en la página de la herramienta. Las muestras de *ransomware* con las que se realizó el experimento, fueron CryptoLocker y WannaCry (https://github.com/ytisf/theZoo/tree/master/malwares/Binaries). El directorio theZoo/malwares/Binaries/ contiene los artefactos a ser analizados. Luego, se realiza un *submit* de las muestras a través de la interfaz web de Cuckoo. El tiempo del análisis depende del número de firmas encontradas por el sistema y también de los módulos que se hayan habilitado en los archivos de configuración. Los datos del experimento se obtienen de los reportes y de los *logs* de Cuckoo (json, pcap, entre otros). Se ejecutaron un total de 40 análisis, 20 para CryptoLocker y 20 para WannaCry. A su vez, diez análisis corresponden a la máquina virtual con Windows XP y diez al equipo con Windows 7, tanto para CryptoLocker como para WannaCry.

Es importante mencionar que los resultados de los análisis dependen del nivel de seguridad implementada en la red. Es decir, si el análisis fue realizado en una red doméstica, sin protección avanzada, los resultados serán más detallados. Los experimentos del presente trabajo se realizaron en dos redes, una doméstica y otra con un nivel de seguridad más alto: una institución universitaria. Luego de la ejecución del ataque se obtuvieron los archivos report.html y report.json. El archivo report.html contiene información de utilidad para el análisis de red y el archivo pcap evidencias que indican la presencia de actividad maliciosa. El reporte contiene algunos objetos que pueden ser analizados tales como *info, procmemory, target, virustotal, network, signatures, static, dropped, behavior, memory, debug, screenshots, strings* y *metadata*.

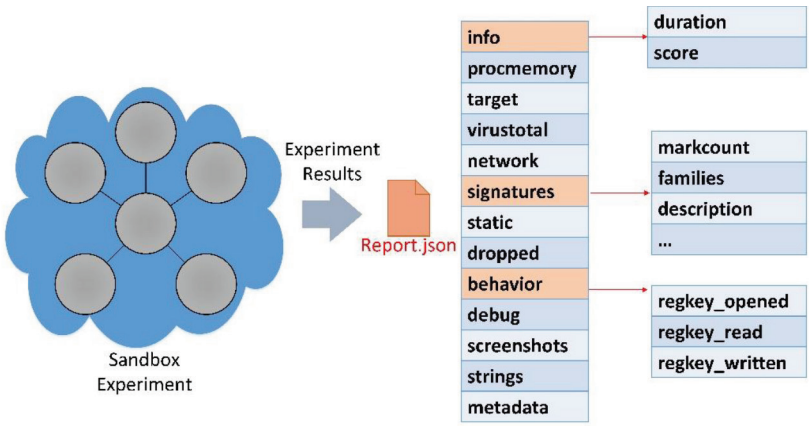


Figura 4 – Características analizadas en el experimento

Para el experimento, los objetos y características tomadas en cuenta se detallan en la Figura 4. En este sentido, *duration* y *score* permiten determinar la variación de tiempo de ejecución y el grado de compromiso. *Signatures* da a conocer el listado de firmas y permite realizar tareas de correlación entre ellas. Finalmente, *Behavior* toma en cuenta el número de claves de registro abiertos (*regkey_opened*), leídos (*regkey_read*) y escritos (*regkey_written*).

3.1. Modelo de aprendizaje

La información resultante del experimento es procesada con el fin de obtener los parámetros más relevantes, los mismos que son posteriormente analizados. El proceso completo del análisis de datos y creación del modelo de aprendizaje se describe en la Figura 5.

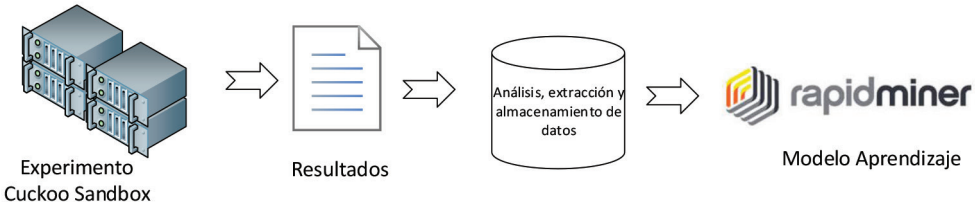


Figura 5 – Diagrama del proceso de análisis de datos y creación del modelo

La herramienta Cuckoo Sandbox guarda los resultados en diferentes archivos y formatos, los cuales se encuentran categorizados en función del tipo de parámetro monitorizado (*logs*, memoria, información de red, llamadas al sistema, MBR, etc.). Los datos que se consideran relevantes son exportados, filtrados y guardados de manera segura en una base de datos. El modelo de aprendizaje automático se crea con la ayuda de RapidMiner[2], que es una herramienta de minería de datos. RapidMiner incluye técnicas para el pre-procesamiento de datos, modelos predictivos y descriptivos, métodos de prueba, visualización de la información, entre otras.

Es importante aclarar que debido a la gran cantidad de amenazas y a las características de cada tipo de ataque, no existe un modelo de aprendizaje ideal para la detección de ransomware. En este sentido, el trabajo se fundamenta en seleccionar algoritmos que permitan identificar como sospechoso el comportamiento de atributos que puedan ser monitorizados. Ejemplos de algoritmos de aprendizaje utilizados para detección de ransomware, incluyen SVM (Chen et al., 2017), redes neuronales RN (Alam, Bhattacharya, Mukhopadhyay & Chattopadhyay, 2018), redes neuronales recurrentes RNN (Kwon & Im, 2017), aprendizaje profundo DL (Maniath et al., 2017), entre otros. En el presente trabajo se utiliza un modelo de aprendizaje supervisado, específicamente árboles de decisión. El modelo generado y sus parámetros se pueden observar en la Figura 6.

[2] RapidMiner. https://rapidminer.com/resource/state-deep-learning/

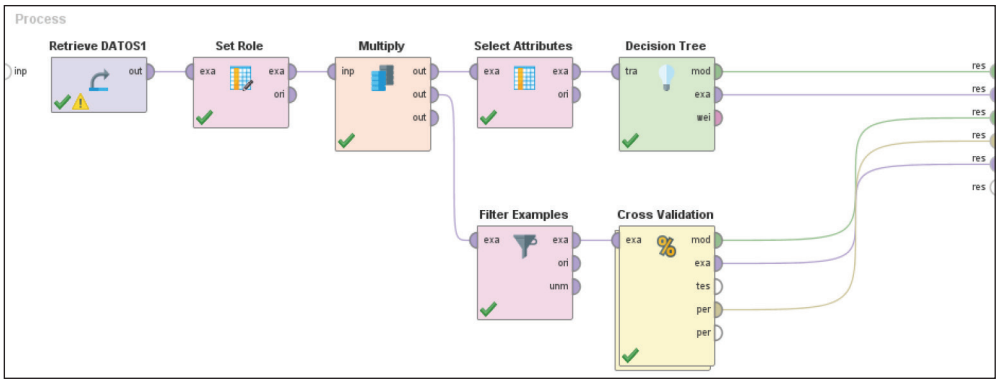


Figura 6 – Modelo de *machine learning*

Para generar un modelo, normalmente se utiliza un subconjunto de los datos como *train* (para entrenar el modelo) y un segundo subconjunto de los datos como test (para probar el modelo). Se utiliza además validación cruzada con el fin de utilizar todo el conjunto de datos. Esta técnica divide automáticamente el conjunto de datos en diferentes secciones y prueba el modelo con cada una de ellas (*Operador Cross Validation*). Se conecta la salida *per (performance)* de *Cross Validation* a la de resultados de la aplicación. Dentro del *Cross Validation* se añade el algoritmo que permitirá la predicción, en este caso un árbol de decisión y se aplica en la etapa de entrenamiento del operador. Los atributos utilizados en el modelo y los resultados de la experimentación se detallan en la siguiente sección.

4. Resultados

A partir de la información obtenida (en bruto) con Cuckoo, se realiza un filtrado de dichos datos, de tal manera que se determina un conjunto de características candidatas para elaborar el modelo de aprendizaje. Por ejemplo, el objeto *signatures* permite determinar el conjunto de tareas o procesos realizados antes, durante y después de la infección en las máquinas víctimas.

Por su parte, el objeto *Behavior* caracteriza el comportamiento del *ransomware* (procesos desencadenados, llamadas a bibliotecas, claves de registro invocadas, entre otras). Como resultado del análisis de este objeto, se establece la cantidad máxima y mínima de registros afectos por los dos tipos de muestras de *ransomware*. Para la prueba de concepto del presente trabajo, se consideraron los siguientes atributos del objeto *Behavior*: registros abiertos, leídos y escritos. En la Tabla 2, se tabula el conteo de claves de registros para cada una de estas operaciones.

A partir de los datos de la Tabla 2, se determina que WannaCry realiza llamadas continuas a los registros para alterarlos. En la Figura 7 se muestra el análisis estadístico de cada uno de los experimentos.

	Cryptolocker - XP			Cryptolocker – Win 7			WannaCry - XP			WannaCry - Win 7		
	regkey_ written	regkey_ opened	regkey_ read	regkey_ written	regkey_ opened	regkey_ read	regkey_ written	regkey_ opened	regkey_ read	regkey_ written	regkey_ opened	regkey_ read
E1	2	90	70	2	116	536	44	980	1614	36	1652	3591
E2	2	90	70	2	116	536	44	964	1622	34	1638	5454
E3	2	90	70	2	116	536	30	810	1322	36	1640	6436
E4	2	90	70	2	116	536	44	980	1613	38	1589	6420
E5	2	90	70	2	116	536	44	964	1609	38	1595	7626
E6	2	90	70	2	116	536	44	967	1624	24	1550	6342
E7	2	90	70	2	116	536	44	964	1622	34	1589	6370
E8	2	90	70	2	116	536	52	1054	1670	36	1646	7692
E9	2	90	70	2	116	536	44	971	1824	22	1599	6397
E10	2	90	70	2	116	536	52	1051	1710	22	1602	6427

Tabla 2 – Conteo de claves de registro

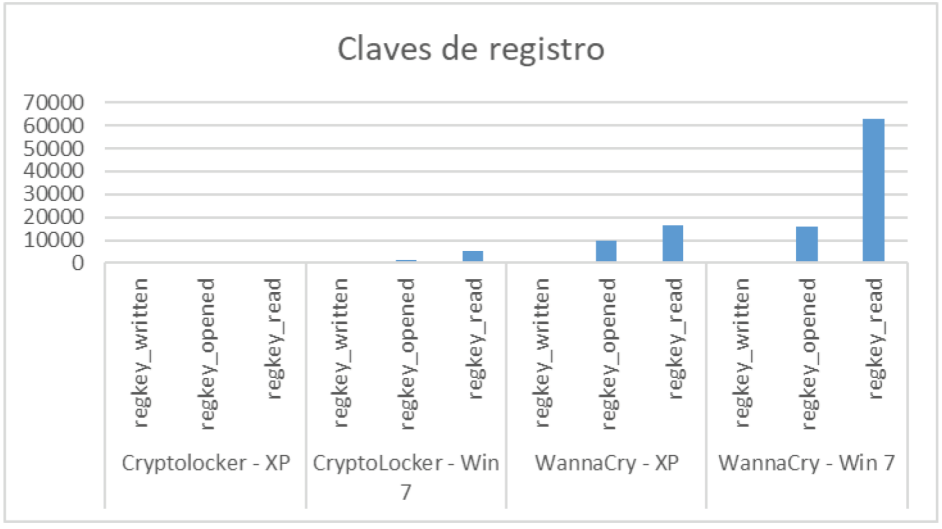


Figura 7 – Análisis estadístico de las claves de registro

Además de los objetos antes mencionados, se puede obtener una lista de direcciones IP de los *hosts* que han realizado peticiones durante el ataque *ransomware*. El resultado de los diferentes experimentos es una lista de todos los *hosts* encontrados, junto al tipo de *ransomware* que realizó la comunicación y la comprobación de si es o no un *host* comprometido. Se puede determinar el grado de compromiso con la ayuda de dos

herramientas en línea: Virus Total[3] y Talos Intelligence[4]. Los criterios evaluados para determinar si un *host* es o no malicioso son: si al menos tiene un *dataset* malicioso, al menos una conexión con un nodo Tor, el índice de reputación web o de correo electrónico.

Para el análisis de la información, se ha creado un modelo de *machine learning* el cual predice qué tipo de *ransomware* ha infectado algún sistema. Como una prueba de concepto inicial se consideran cinco atributos para probar la efectividad del modelo. En la primera etapa, los atributos usados son *score*, *duration*, y claves de registro (escritas, leídas y abiertas) que han sido tomados del análisis de los reportes. Cabe recalcar que la información también se puede recolectar manualmente del propio sistema operativo. Por ejemplo, el resultado del árbol de decisión del atributo *score* se muestra en la Figura 8. Se determina que, cuando el valor de *score* es mayor a 9,6, se trata del ransomware WannaCry y caso contrario se trata de CryptoLocker.

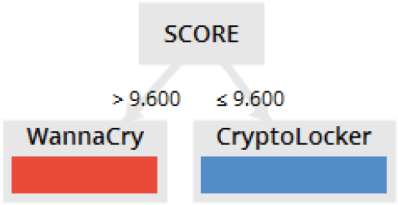


Figura 8 – Árbol de decisión del modelo

Debido a que los atributos *score* y *duration* son parte de la herramienta Cuckoo Sandbox, se procedió a eliminarlos y generar un modelo usando únicamente las claves de registro de manera cuantificada. Esta segunda etapa muestra un modelo más preciso y normalizado debido a que usa un algoritmo de validación cruzada. El modelo tiene una precisión de 97,50%. Esto quiere decir que, de cada 40 análisis, 38 han sido clasificados en la categoría que le corresponde, como se describe en la Tabla 3.

	True CryptoLocker	**True WannaCry**
Predicción CryptoLocker	20	1
Predicción Wannacry	0	19
Porcentaje	100%	95%

Tabla 3 – Resultados preliminares del modelo

Los datos de la Tabla 3 indican el porcentaje de efectividad del modelo. Por ejemplo, la segunda columna indica que, de los 20 análisis realizados, en 19 coinciden con ataques tipo WannaCry. En consecuencia, el caso restante es clasificado como CryptoLocker. Con el modelo de *machine learning* y utilizando el algoritmo de validación cruzada se puede predecir qué tipo de muestra ha infectado el sistema.

[3] Virus Total Free Online Virus, Malware and URL Scanner. https://www.virustotal.com/es/
[4] Talos Group - Comprehensive Threat Intelligence. https://www.talosintelligence.com/

5. Conclusiones y trabajos futuros

El presente trabajo provee una guía y una lista de parámetros que pueden ser considerados en la creación de modelos de aprendizaje automático, convirtiéndose en un punto de partida para nuevas investigaciones. Además, se describe claramente el experimento y las herramientas utilizadas, tales como Cuckoo Sandbox, para la obtención de información del ataque; y RapidMiner, para la creación del modelo de aprendizaje. En este sentido, uno de los principales retos es el procesamiento y el filtrado de toda la información que provee Cuckoo Sandbox. De tal manera que, solo los parámetros de interés sean utilizados en la herramienta de implementación del modelo de aprendizaje (Rapidminer). El modelo propuesto considera parámetros de entrada relacionados al comportamiento de registros durante una irrupción, que permiten identificar si el ataque fue realizado con una muestra WannaCry o CryptoLocker.

El análisis dinámico de *ransomware* en un ambiente controlado permite conocer, de manera rápida y efectiva, el comportamiento de este tipo de malware. En este sentido, el trabajo futuro incluye el mejoramiento de algoritmos que permitan detectar, con una tasa de acierto mayor, cuándo una aplicación está ejecutando tareas maliciosas de *ransomware*. Con este fin, se pueden relacionar parámetros de diferente naturaleza, tales como archivos creados, tráfico de red, conexiones remotas, modificaciones en el registro del sistema, entre otras. La mejora de los modelos permitirá reducir la tasa de falsos positivos, así como la aplicación de tareas preventivas, evitando así, el bloqueo del sistema o el cifrado de los datos personales. De igual manera, es importante el análisis del tráfico de red con el fin de identificar las direcciones IP que pueden generar tráfico malicioso. Dichas direcciones podrán ser utilizadas en los dispositivos encargados de mitigar ataques tal es el caso de *firewalls* o Sistemas de Detección de Intrusión.

Agradecimientos: *La presente investigación es financiada por la Escuela Politécnica Nacional, dentro del proyecto interno Ransomware a gran escala por medio de Seguridad Cognitiva (2018), número PII-17-14.*

Referencias

Alam, M., Bhattacharya, S., Mukhopadhyay, D., & Chattopadhyay, A. (2018). RAPPER: Ransomware Prevention via Performance Counters. *Cornell University* (1). arXiv: 1802.03909.

Alhawi, O. M.; Baldwin, J., & Dehghantanha, A. (2018). Leveraging Machine Learning Techniques for Windows Ransomware Network Traffic Detection. *Cyber Threat Intelligence*, 93–106.

Azmoodeh, A., Dehghantanha, A., Conti, M., & Choo, K. K. R. (2017). Detecting Crypto-ransomware in IoT Networks based on Energy Consumption Footprint. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1–12.

Bajpai, P., Sood, A. K., & Enbody, R. A. (2018). Key-management-based Taxonomy for Ransomware. *APWG Symposium on Electronic Crime Research*, 1–12.

Cantón, D (2019). Ransomware: Métodos de infección y protección. *Incibe-cert*. Recuperado de https://www.incibe-cert.es/blog/ransomware-infeccion-proteccion-recuperacion.

Chen, Z. G., Kang, H. S., Yin, S.N., & Kim, S. R. (2017). Automatic Ransomware Detection and Analysis Based on Dynamic API Calls Flow Graph. *Proceedings of the International Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems*, 196–201.

Conti, M., Gangwal, A., & Ruj, S. (2018). On the Economic Significance of Ransomware Campaigns: A Bitcoin Transactions Perspective. *Computers & Security*, *79*, 162–189.

ESET. (2019). ESET: enjoy safer technology. *ESET*. Recuperado de http://www.eset-la.com/pdf/kit-antiransomware/Guia-Todo_Sobre_Ransomware.pdf

Homayoun, S., Dehghantanha, A., Ahmadzadeh, M., Hashemi, S., Khayami, R., Choo, K. K. R.; Newton, D. E. (2019). DRTHIS: Deep Ransomware Threat Hunting and Intelligence System at the Fog Layer. *Future Generation Computer Systems*, *90*, 94–104.

Kolodenker, E., Koch, W., Stringhini, G., & Egele, M. (2017). PayBreak: Defense against Cryptographic Ransomware. *Proceedings of the 2017 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security*, 599–611.

Kwon, I., & Im, E. G. (2017) Extracting the Representative API Call Patterns of Malware Families Using Recurrent Neural Network. *Proceedings of the International Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems*. ACM, 2017, 202–207.

Lu, T., Zhang, L., Wang, S., & Gong, Q. (2017) Ransomware Detection based on V-detector Negative Selection Algorithm. *Proceedings of the 2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC)*, 531–536.

Maniath, S., Ashok, A., Poornachandran, P., Sujadevi, V., Sankar, A.P., & Jan, S. (2007). Deep Learning LSTM based Ransomware Detection. *Proceedings of the 2017 Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, 442–446.

Moore, C. (2016). Detecting Ransomware with Honeypot Techniques. *Proceedings of the 2016 Cybersecurity and Cyberforensics Conference (CCC)*, 77–81.

Richardson, R., & North, M. (2017). Ransomware: Evolution, Mitigation and Prevention. *International Management Review*, *13*, 10–21.

Sgandurra, D., Muñoz-González, L., Mohsen, R., & Lupu, E. C. (2016). *Automated Dynamic Analysis of Ransomware: Benefits, Limitations and Use for Detection*. arXiv preprint arXiv:1609.03020.

Sotelo, M., Maestre, J., & García, L. A (2018). Novel Self-Organizing Network Solution towards Crypto-ransomware Mitigation. *Proceedings of the 13th International Conference on Availability, Reliability and Security*, 1–16.

Takeuchi, Y. & Sakai, K. (2018). Detecting Ransomware using Support Vector Machines. *Proceedings of 47th International Conference on Parallel Processing Companion*, 1–16.

Zahra, A., Shah, M. A. IoT based Ransomware Growth Rate Evaluation and Detection using Command and Control Blacklisting. *Proceedings of Automation and Computing (ICAC) 23rd International Conference, 2017,* pp. 1-6.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 05/12/2018
Aceitação/Acceptance: 11/02/2019

3D reconstruction technologies for using in dangerous environments with lack of light: a comparative analysis

David Pozo[1], Kevin Jaramillo[2], David Ponce[3], André Torres[4], Luis Morales[5]

david.pozo@udla.edu.ec, kevin.jaramillo@udla.edu.ec, david.ponce.herrera@udla.edu.ec, andre.torres@udla.edu.ec, luis.moralesec@epn.edu.ec

[1,2,3,4] Universidad de las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

[5] Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

Pages:507–518

Abstract: In this paper is presented a comparison of 3D reconstruction technologies focused in its application for scanning dangerous environments and collapsed structures with lack of light in order to support emergency teams in an initial evaluation of the interest area. These approaches can be used to reduce the risk of injury to people who will access the rescue zone. Three kind of technologies are used to accomplish the 3D reconstruction comparison: Light Detection and Ranging based sensors (LIDAR), KINECT sensor V2 and a ZED stereo camera, evaluating the advantages and disadvantages of each technique. The sensors are localized over a rotating platform in order to obtain data that are processed through MATLAB to build 3D images of the environment that could be evaluated by rescuers. Moreover, a detailed explanation of data acquisition and treatment is performed. Finally, some experiments are done in order to compare different technologies performance and the viability of the proposes is analyzed.

***Keywords*:** 3D reconstruction; KINECT V2; LIDAR; ZED

1. Introduction

Over the years, the world population has been hit by disasters whether caused by people or natural events, causing a high number of victims and material damage, especially in low-income countries where infrastructure and population are not prepared to face these events. Likewise, the geological condition, the high density of the population, and the lack of training in emergency situations are several of the factors for which natural disasters greatly affect the people.

In 2018, there were 10,809 global deaths due to natural disasters (Ritchie & Roser, 2018), of which a high percentage could be avoided if the responses to these disasters were supported by different actions such as: geo-location of the incident, technological resources available (UAV, teleoperated robots, etc.), predictive models, among others (Ortiz, 2018).

Currently, the technology development, specifically in the field of image processing and three-dimensional reconstruction techniques, has allowed to obtain detailed and accurate information of an environment and can be applied in different areas of study, including the emergencies management. In 2017, China carried out a 3D-reconstruction of building structures after an earthquake to facilitate obtaining data over material losses and studies on the damage caused to its infrastructure (Xia et al., 2017). On the other hand, the implementation of a database of natural disaster backgrounds can be used for decision making and management in the event of a catastrophe. This database information can be obtained through the use of remote sensors and the 3D-reconstruction of the environment, which can be used for the development of predictive models (Liu et al., 2013). In addition, 3D-reconstruction systems have contributed greatly to understand the interaction between the work environment and the unmanned vehicles; allowing in this way an appropriate operation and navigation plan in environments after a disaster (Apvrille, 2014; Shao et al., 2017).

Search and rescue efforts can also be dangerous, given the uncertain knowledge of the stability of structures after a natural disaster. Thus, in 2014 researchers from the University of New York implemented a teleoperated mobile robot, which reconstructs a 3D model of the structure of a building using images and algorithms to identify cracks by means of colors based on the geometric characteristics. In this way, the results are evaluated and the safety degree of the rescue task is determined (Torok, Golparvar-Fard & Kochersberger, 2014).

The use of this type of technology would allow autonomous robots to act and perform an initial approach through a three-dimensional mapping of the environment and provide people abroad with useful information, especially in confined or inaccessible places. This information would help people and rescue teams to perform a complete analysis of the environment and intervene effectively without risking their lives.

This document presents the development and comparison of 3D-reconstruction of an environment based on Light Detection and Ranging sensor RPLIDAR A1, KINECT sensor V2 and a stereo vision method with the use of ZED 2K stereo camera. A procedure of data acquisition and processing is detailed. Finally, the test of each technology is performed to evaluate their performance.

2. Background

One of the main characteristics of a 3D-reconstruction system for danger environments and collapsed structures is its use in poor light conditions where is very difficult to differentiate the characteristics of the environment due to the quality of the images. Based on it, techniques that uses camera images (Wolff et al., 2016), present challenges getting a good quality data for a 3D-reconstruction process. Technologies based on active reconstruction methods like infra-red light and laser that uses Time of Flight (ToF) measures are more effectively in this kind of environments.

Light detection and ranging LIDAR is a laser-based technology that allows to obtain the distance between an object or surface and the sensor, based on ToF. LIDAR is able to produce high resolution information point clouds. This allows the development of precise and realistic two and three-dimensional representations of different elements of the

environment, with potential applications in navigation, location, autonomous vehicles, digitalization of environments, simultaneous localization and mapping (SLAM), among others (Cheng & Wang, 2018; Li et al., 2018).

RPLIDAR A1 is a low cost 2D LIDAR laser scanner developed by RoboPeak and has the ability to perform a sweep by a beam of light in 360° in a range of 0.2 to 6 meters at a rotation speed or frequency between 5 Hz and 10 Hz. Its operation is based on the principle of laser triangulation with ToF, so a modulated infrared laser signal is emitted, which is reflected in the object and received by the sensor's visual acquisition system, the integrated DSP (Digital Signal Processors) performs the processing of the acquired data and compute the value of the distance and angle between the object and the sensor in more than 2000 times per second. This allow to obtain a cloud of points in 2D with a high resolution (Cheng & Wang, 2018; RoboPeak Team, 2014).

The KINECT v2 sensor was developed by Microsoft and consists of two cameras, a RGB resolution of 1920 x 1080 pixels and an infrared (IR) camera. In addition, it has three IR projectors, which in conjunction with the IR camera perform triangulation to obtain a scan of the scene with depth and distance information. The image obtained is processed to capture people and things in three dimensions and can generate depth maps in real time and even in color (RGB-D image) with more than 300 thousand points with an update rate of 30Hz (Lachat et al., 2015; Wasenmüller & Stricker, 2013). This high precision and low-cost technology are applied in complex autonomous navigation systems such as 3D-SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) for indoor applications, where the prototype is able to estimate the position of a robot in a system of global coordinates, generating a point cloud map with position, color and depth information (Carlos & Soares, 2017).

The ZED 2K stereo camera is a device with dual 4MP lenses, which provide a three-dimensional perspective of the scenes in high resolution. This device allows capturing the depth by determining the distances between objects in an operational range of 0.5 to 20 meters with HD 1080p video capture at 30 FPS (Frames per Second) or WVGA at 100 FPS for indoors or outdoors applications like 6-Dof positional tracking and spatial mapping. This device comes with its own software development kit (SDK) for 3D-reconstruction environments and whose options can be configurable by the user (ZED Stereo Camera, 2018).

The general features of each sensor are shown in Table 1.

	RPLIDAR A1	**KINECT V2.**	**ZED 2K**
Price	very low	Low	medium
Applications	Indoors outdoors	indoors	Indoors outdoors
Interface	USB 2.0 UART	USB 3.0 PC Adapter	USB 3.0
Precision (cm)	(1% ≤0.5 or of distance)	1	1
Field of View	360 °on 2D plane	70°x 60°	max. 110°(D)
Operation Range (m)	0.2 - 6	0.5 - 4.5	0.5 - 20
Dimensions (mm)	98.50x70x60	66x249x67	175x30x33
Weight (g)	170	1400	159
Power (W) consumption	~ 1.5	~ 15	~ 1.9

Table 1 – RPLIDAR, KINECT V2 and ZED features

3. Methodology

The general 3D-reconstruction process is presented in Figure 1, where, both KINECT V2 and RPLIDAR sensors collects data from the scene that are processed to get a point cloud *x, y, z* in a local coordinate system of the sensor. A point cloud transformation between the sensor coordinate system and global coordinate system is performed. Then, a rotation over its own axis is done in order to get a new data that will be joined to the last point cloud referred to the global coordinate system and, in this way, obtain the 3D-reconstruction.

3.1. Data Acquisition

The data representation collected by KINECT V2, RPLIDAR A1 and ZED 2K stereo camera have the following differences:

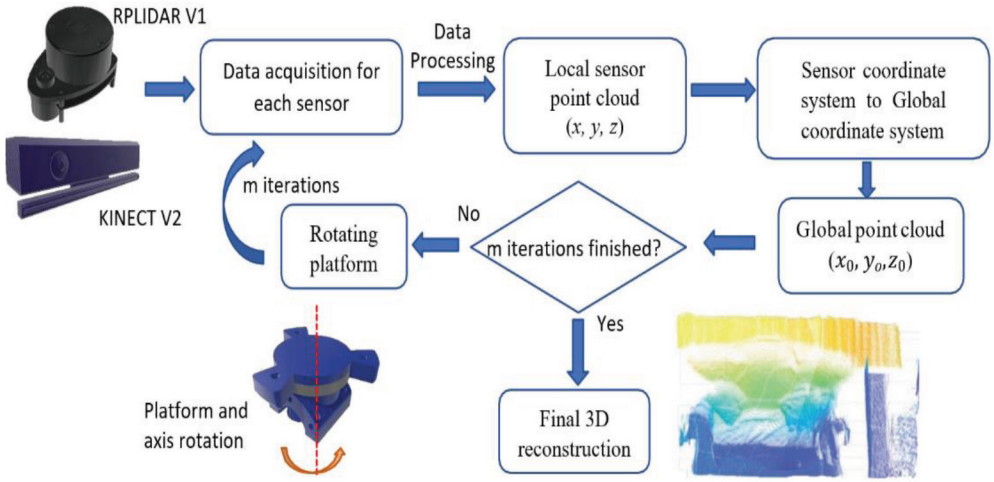


Figure 1 – General processes of 3D reconstruction System with RPLIDAR A1 and KINECT V2

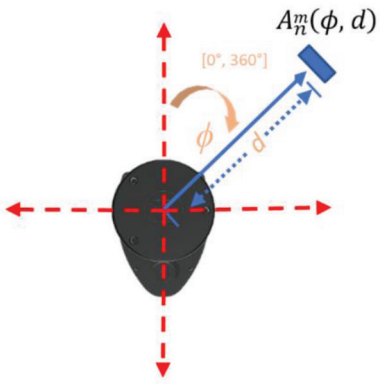


Figure 2 – Point information RPLIDAR

RPLIDAR

Each point acquired by RPLIDAR is characterized by a distance d and an angle φ that goes among 0° and 360 °, see Figure 2. The sensor could be configured to get n points per step and complete m steps around the y axis over the platform, as is shown in Figure 3. Each of these points are referred as $A_n^m(\varphi, d)$ that represents the n-th point of a m-th step.

Taking in to account that the n points belong to the Y Z plane of the sensor coordinate system, the x coordinate must be 0. The equations to transform the points to a $P_n^m(x, y, z)$ form is described in (1)(2)(3).

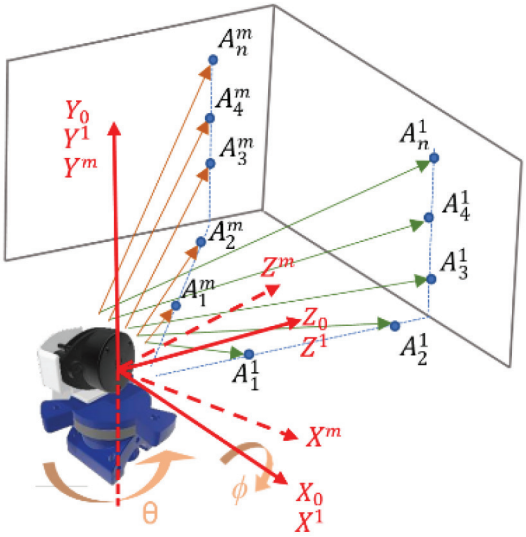


Figure 3 – RPLIDAR data acquisition

$$P_n^m(x) = 0$$

$$P_n^m(y) = -sen\ A_n^m(\varphi) * A_n^m(d)$$

$$P_n^m(z) = cos\ A_n^m(\varphi) * A_n^m(d)$$

KINECT V2

This sensor acquires the *x, y, z* coordinates of a *n* point in a *m* step from a data matrix that contains the point cloud information of the scanned scene in each step. By the use of MATLAB Image Acquisition Toolbox Support Package for KINECT for Windows Sensor, could be obtained two matrices: the first one that contains the *x, y, z* position of each

point in the sensor coordinate system $P_n^m(x, y, z)$, see Figure 4 and the second one that contains the *RGB* values of each point for their color representation $C_n^m(R, G, B)$.

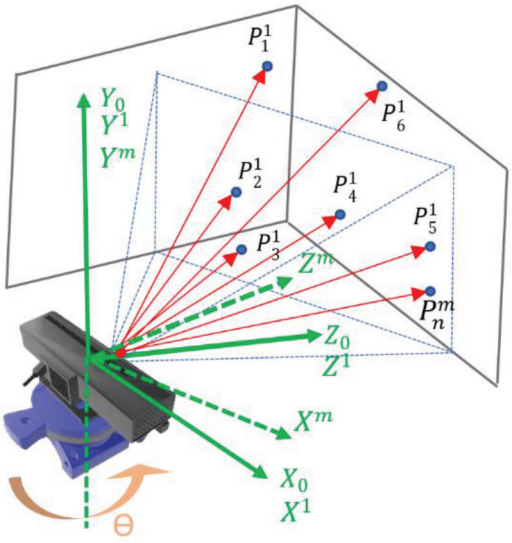


Figure 4 – KINECT sensor V2 data acquisition

ZED 2k stereo camera

This device can obtain depth and color 3D reconstructions through their ZED FU software. It can be configured with basic characteristics of: resolution, depth range, and mesh filter and let the user save the scanning results in an archive with extension *.ply. In this work, the archive will be opened using MATLAB in order to show the point cloud and compare the 3D image among the different technologies.

3.2. Point cloud and mathematical foundations

Once the points $P_n^m(x, y, z)$ in both cases RPLIDAR and KINECT are obtained in each step m is necessary to accomplish a transformation between the sensor and the global coordinate system. This process is made by the use of (4) with a point cloud matrix (5).

$$P_0 = T_m^0 * P_m$$

$$P_m = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ y_1 & y_2 & \dots & y_n \\ z_1 & z_2 & \dots & z_n \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

To perform this transformation is necessary to know the homogeneous matrix (6), that depends of the rotation matrix *R* and translation matrix Γ.

$$T_m^0 = \begin{pmatrix} R_{3x3} & \Gamma_{3x1} \\ 0_{1x3} & 1 \end{pmatrix}$$

Because of the sensor is aligned with the center of rotation of the platform, the rotation matrix only has rotations around *y* axis as is shown in (7). Moreover, the sensor and the global coordinate frame are considered with no displacement, so the matrix Γ contains all its values as 0.

$$R_{y(\theta)} = \begin{pmatrix} cos\ \theta & 0 & -sen\ \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -sen\ \theta & 0 & cos\ \theta \end{pmatrix}$$

Each step *m* depends of the rotation variable θ that changes in small values until reach 360° in the KINECT case and 180° with the RPLIDAR sensor.

The Homogeneous matrix with the last considerations is presented in (8).

$$T_m^0 = \begin{pmatrix} cos\ \theta & 0 & \text{sen}\ \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\ \theta & 0 & cos\ \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

4. Test and result

In order to test the RPLIDAR A1, KINECT V2 sensors and ZED 2K stereo camera for 3D-reconstruction, a closed environment under controlled light conditions (two scenarios: good and poor light quality) were chosen, see figure 5.

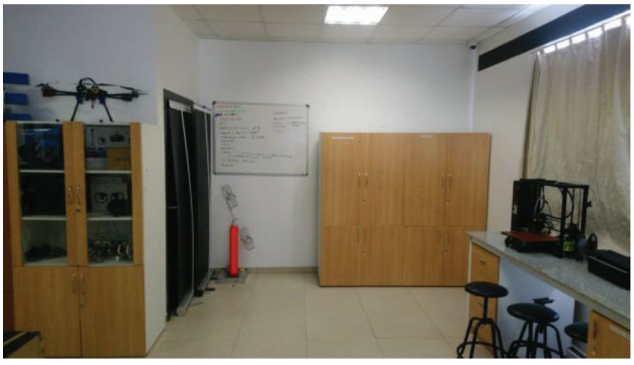


Figure 5 – Laboratory test environment

In the Figure 6 is showed a 3D reconstruction with KINECT, RPLIDAR A1 sensors and ZED 2K stereo camera under normal test light conditions in a laboratory environment. In the figure 7 poor light quality test is performed with KINECT V2, RPLIDAR A1 sensors and ZED 2K stereo camera. In order to stablish the spatial resolution, the applications and the reliability of the technologies for 3D-reconstruction, a set of features were chosen (point number, illuminance and max distance).

Based on the Figure 6 is possible to stablish a comparison of features over their 3D reconstruction results. This information is presented in Table 2.

	RPLIDAR A1	**KINECT V2.**	**ZED 2K**
Points number	80000	2680407	277957
Illuminance (lux)		min: 130 / max: 270	
Max distance (m)	~ 6		
Time (s)	~ 240	~ 30	~ 120

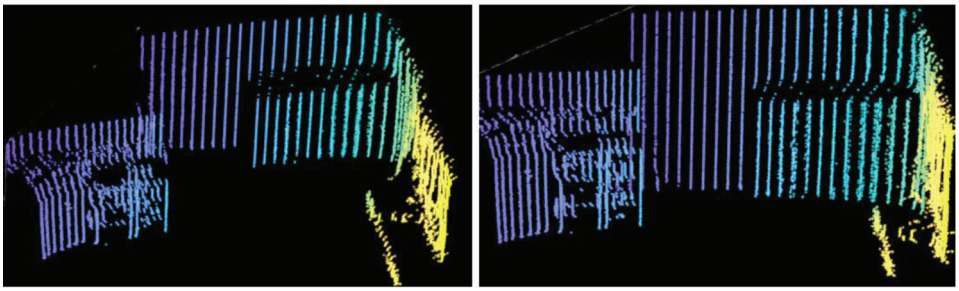
Table 2 – Comparison between RPLIDAR A1, KINECT V2 and ZED 2K stereo camera on normal test light conditions

In Figure 7 are showed a comparison of the principal features over their 3D reconstruction results, see Table 3.

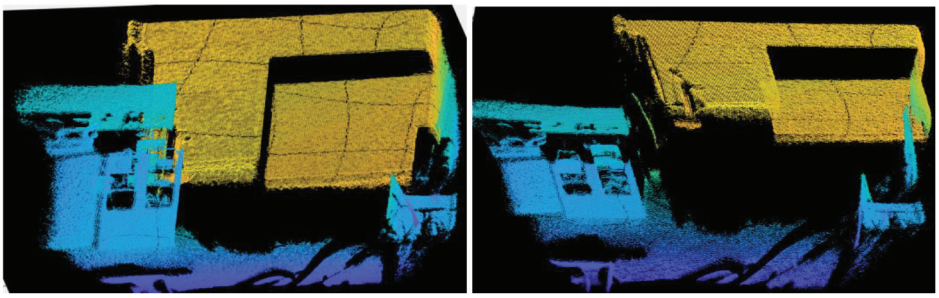
	RPLIDAR A1	**KINECT V2.**	**ZED 2K**
Points number	80000	2719449	252316
Illuminance (lux)		min: 2 / max: 10	
Max distance (m)	~ 6		
Time (s)	~ 240	~ 30	~ 120

Table 3 – Comparison between RPLIDAR A1, KINECT V2 and ZED 2K stereo camera on poor light quality

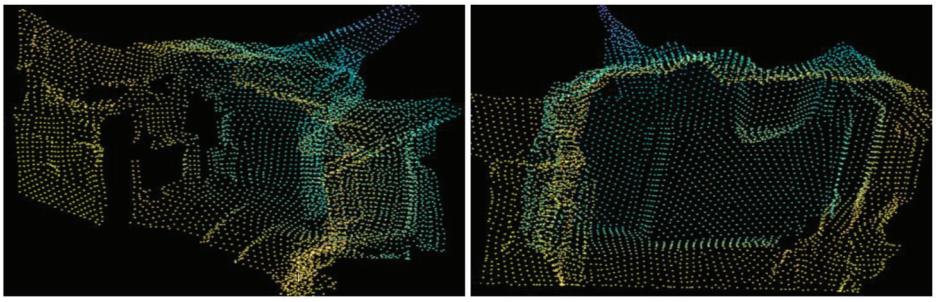
Based on the Figure 6 and Figure 7 and the results presented in Table 2 and Table 3, ZED 2K stereo camera present poor results in their point cloud acquisition, especially with low light quality conditions, where the depth information is lost. On the other hand, KINECT V2 and RPLIDAR A1 presents better results in both test cases. The 3D-reconstruction done by the KINECT V2, shows that this device captures in greater detail the small objects in the left of the room due to the higher density of points obtained, where the location and form of computers, chairs and tables, etc., are clearly identified. In relation to large objects such as cabinets, its presence and location can be noticed but as a single object because they present flat surfaces, however the representation shown by this sensor has good quality. RPLIDAR A1 loses relevant information from the environment because it performs vertical data collection at point angles or steps, which could be improved, however the computational cost would increase considerably.



(a)

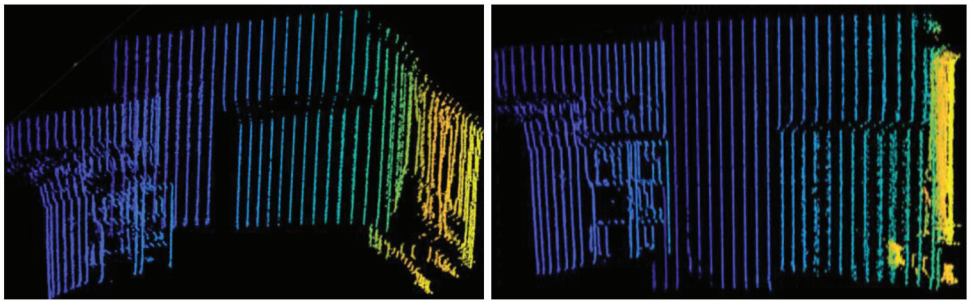


(b)

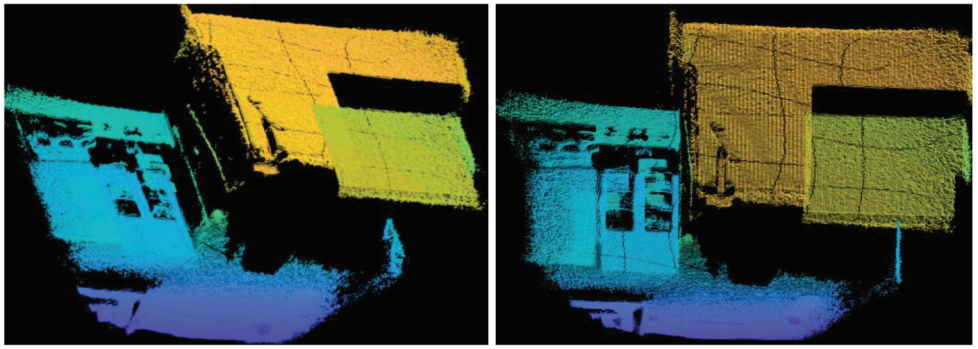


(c)

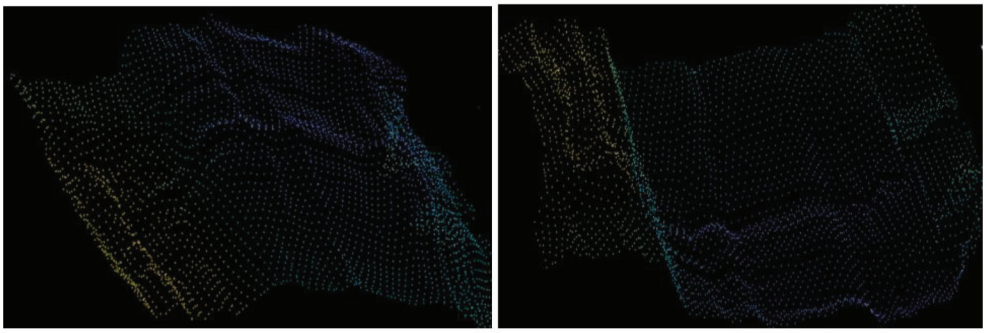
Figure 6 – Test with illuminated environment. (a) RPLIDAR A1. (b) KINECK V2. (c) ZED 2K stereo camera



(a)



(b)



(c)

Figure 7 – Test with low light environment. (a) RPLIDAR A1. (b) KINECK V2. (c) ZED 2K stereo camera

5. Conclusions and future work

In the present work an experimental comparison analysis for three 3D- reconstruction technologies were done in order to present an alternative of their use in danger environments and collapsed structures based on the lack of light. Moreover, has been tested that an infrared or laser-based system for a 3D-reconstruction has a better performance compare with a stereo camera system. In this case, the KINECT V2 sensor was the technology with better results due to its high-density point cloud. The final results validate the purpose, showing that low cost devices can be used in environments with poor light conditions, taking in to account that the resolution and the range of the sensors are an important characteristic to be considered for each application. As future work is proposed to develop a software tool to manage the different technologies in the most suitable environments to study where each one has the best performance, depending on the characteristics of possible scenarios, such as indoors, outdoors and with different light quality conditions.

Acknowledgment: *The authors thanks to the staff of Unidad de Innovación Tecnológica (UITEC) for their support, equipment and infrastructure.*

References

Apvrille, L. (2014). Autonomous navigation Environment identification, 1–4.

Carlos, J., & Soares, V. (2017). Simultaneous Localization and Mapping of a Mobile Robot using a Kinect v2 Sensor in Indoor Environments. In *Conference: 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*.

Cheng, Y., & Wang, G. Y. (2018). Mobile Robot Navigation Based on Lidar. *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 1243–1246.

Lachat, E., Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2015). Assessment and calibration of a RGB-D camera (Kinect v2 Sensor) towards a potential use for close-range 3D modeling. *Remote Sensing*, *7*(10), 13070–13097. doi.org/10.3390/rs71013070

Li, B., Yang, L., Xiao, J., Valde, R., Wrenn, M., & Leflar, J. (2018). Collaborative Mapping and Autonomous Parking for Multi-Story Parking Garage. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *19*(5), 1629–1639. doi.org/10.1109/TITS.2018.2791430

Liu, J., Fan, X., Chen, L., & Chen, L. (2013). Design and implementation of disaster background database and visualization system, (9), 597–599.

Ortiz, L. (2018). *Modelos predictivos para la estimación de trayectorias de recursos de vigilancia y contingencia de desastres naturales, 2017–2018*. Universidad del País Vasco.

Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Natural Disasters. *Our World in Data*. Retrieved from https://ourworldindata.org/natural-disasters#deaths-from-disasters

RoboPeak Team. (2014). RPLIDAR Low Cost 360 degree 2D Laser Scanner (LIDAR) System Introduction and Datasheet, 12.

Shao, Y., Ji, Y., Fujii, H., Nagatani, K., Yamashita, A., & Asama, H. (2017). Estimation of Scale and Slope Information for Structure from Motion-based 3D Map.

Torok, M. M., Golparvar-Fard, M., & Kochersberger, K. B. (2014). Image-Based Automated 3D Crack Detection for Post-disaster Building Assessment. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *28*(5). doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000334

Wasenmüller, O., & Stricker, D. (2013). Computer Vision - ACCV 2012 Workshops, *7728*(November). doi.org/10.1007/978-3-642-37410-4

Wolff, K., Kim, C., Zimmer, H., Schroers, C., Botsch, M., Sorkine-Hornung, O., & Sorkine-Hornung, A. (2016). Point cloud noise and outlier removal for image-based 3D reconstruction. *Proceedings - 2016 4th International Conference on 3D Vision, 3DV 2016*, 118–127. doi.org/10.1109/3DV.2016.20

Xia, J., Wang, F., Zheng, X., Li, Z., & Gong, X. (2017). A novel approach for building extraction from 3D disaster scenes of urban area. *International Conference on Geoinformatics*, *2017–Augus*, 1–4. doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2017.8090918

ZED Stereo Camera - Stereolabs. (2018). *Stereolabs*. Retrieved from https://www.stereolabs.com/

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 24/11/2018
Aceitação/Acceptance: 22/01/2019

An approach to Big Data Modeling for Key-Value NoSQL Databases

Diana Martinez-Mosquera[1], Sergio Lujan-Mora[2], Rosa Navarrete[3], Tannia Cecilia Mayorga[4], Henry Rodrigo Vivanco Herrera[5]

sdmm1@alu.ua.es, sergio.lujan@ua.es, rosa.navarrete@epn.edu.ec, tmayorga@uisrael.edu.ec, hvivanco@uisrael.edu.ec

[1,2] University of Alicante, 03690, San Vicente del Raspeig, Spain.

[3] Escuela Politécnica Nacional, 170525 , Quito, Ecuador.

[4,5] Universidad Tecnológica Israel, 170522, Quito, Ecuador.

Pages:519–530

Abstract: The scientific community has a special interest in providing solutions to deal with a huge amount of data generated by the Internet, mobile devices, and sensors, among others. One of the foremost research approaches has been in not only SQL (NoSQL) databases, mainly used to handle Big Data. A state of the art review presented in this article let us argue on the need to define modeling techniques to depict how data will be structured in NoSQL databases. The majority of studies have focused on structured data and column oriented databases; thus, we propose an approach for semi-structured data at conceptual and logical modeling levels, using the Unified Modeling Language and key-value databases. The logical model is attained from a class diagram, with the use of transformation rules based on some aspects of the Query View Transformation. Furthermore, our proposal presents a case study concerning data in security log files.

***Keywords*:** big data; key-value; modeling; UML; semi-structured.

1. Introduction

The permanent growing of data generated and collected by companies is in the range of terabytes of information; this high amount of data is known as Big Data (Martinez-Mosquera, Lujan-Mora & Parra, 2017). Big Data is a concept widely used to describe a big amount of data that comply with some specific features like volume, velocity, variety, variability, value, among others (Qaiyum, Aziz & Jaafar, 2016). Big Data researchers have commendably focused in different approaches, one of them about not only SQL (NoSQL) databases, since relational database paradigms are not adequate and NoSQL, by contrast, handles Big Data with high performance (Abdelhedi et al., 2016).

Although this type of database was designed to operate without schema, there is an underlying need for defining the data structure in the database (Abdelhedi et al., 2016; Santos & Costa, 2016). The reason is modeling helps to design the data processing flow (Da Silva et al., 2014). Many researches have proposed Big Data modeling, but the major part

are focused at a conceptual level and structured data. With this motivation, we propose an approach based on the Model Driven Architecture (MDA) (MDA Specifications) to model semi-structured Big Data at a logical level for a key-value NoSQL database. MDA is an architecture funded by the Object Management Group (OMG) and provides the guidelines for structuring models in different levels (Lano, 2005; MDA Specifications, n. d.).

Our main challenge is modeling semi-structured data extending the Unified Modeling Language (UML). Semi-structured data contains metadata to describe its structure, it is not organized, it is generally plain text, and it is not stored in databases (Khalifa et al., 2016). On the other hand, the high number of sources that generate semi-structured data, such as security and web logs, data from sensors, JavaScript Object Notation (JSON) files, among others, makes important to model this type of data. Despite that, there is a minimal research effort in this topic. Furthermore, Big Data sources must be analyzed, managed, organized for finally support business decisions (Barbierato, Gribaudo & Iacono, 2013).

In this article, we present three different type of diagrams for modeling semi-structured Big Data:

1. Conceptual Diagram, a deployment diagram based on the UML to depict the physical resources used for the storage of the collected data from the source to the target.
2. Intermediate Logical Diagram, a class diagram based on UML as an intermediate procedure to apply the transformation rules in order to derive the logical modeling diagram for a key-value database.
3. Key-Value Logical Diagram, a class diagram based on UML to depict the key-value logical model for a NoSQL database.

We have employed the Query View Transformation (QVT) standard to define the transformation rules (Kurtev, 2007).

To provide a better understanding, we present as a case study the modeling of security log files for a key-value NoSQL database. Following the MDA, the case of study represents the Platform Specific Model (PSM) derived from the Platform Independent Model (PIM) generated earlier. As result, we demonstrate how to transform a semi-structured Big Data conceptual model into a Big Data logical model based on a key-value approach.

This paper is organized as follows. Section 2 presents the state of the art about Big Data modeling using UML, summarizes the approaches from different authors and discusses the main results attained from them researches. Section 3 explains the basic concepts used for our research. Section 4 describes the method used to conduct our proposal, detailing concepts related to our research and the procedure to achieve our goal. Section 5 details the case study to explain with an example how our proposal can be applied. Finally, section 6 portrays our findings, conclusions and planned future works.

2. State of the Art

Proposals related to Big Data modeling are described in several relevant studies. In this section, we summarize their main findings related to our matter of interest.

Abdelhedi et al. (2016) propose an approach to generate a column-oriented NoSQL model from a conceptual model, using the QVT standard to define the transformation rules from one to the other. As a case study, they present an example related to health care domain. The study is based on the MDA and the PSM and it is addressed for Cassandra and HBase. Cassandra is a distributed NoSQL database based on a key-value and column oriented storage model. HBase is also a NoSQL database used for real-time read/write random-access to very large databases. In contrast to our proposal, they are focused on structured data and column-oriented databases and we are interested into semi-structured data and key-value databases; moreover, we have taken as case study the security domain and the CouchDB database as PSM.

Feng, Zhang & Zhou (2015) describe how to obtain data models for Cassandra from UML class diagrams; the source metamodel is built by simplifying the UML class diagram definition and the target data model is produced by studying the Cassandra structure. This work also presents the conversion from a relational database model to a NoSQL database model. Consequently, this research explains how to transform structured data at the logical level and not the semi-structured data as our research aims. In addition, and while we propose the use of QVT, they do not define any transformation rules.

Da Silva et al. (2014) present a proposal for modeling real time platforms with the use of a UML profile called Modeling and Analysis of Real Time Embedded Systems (MARTE). They illustrate the transformation from a relational database deployment model to a key-value database deployment model, mainly representing the used physical resources. As a case study, they describe a project platform called Juniper. In contrast to our study, this work does not involve the logical level and instead of, only the physical level is presented.

Jutla, Bodorik & Ali (2013) extend UML with ribbon icons focused on Big Data privacy services. According Microsoft, ribbons are the modern way to use commands with a minimum number of clicks. Their work covers conceptual modeling level and the extensions are useful for use case diagrams. This research does not support logical modeling level, since it was just designed to help software developers to represent their requirements. By contrast, to our work, we present the logical level modeling for semi-structured Big Data using deployment and class diagrams.

Santos & Costa (2016) present an automatic transformation of a multidimensional schema into a tabular schema for the Hive database. Hive is constituted by a set of tables and it uses a column-oriented model. Multidimensional modeling is used in traditional data warehouses (Lujan-Mora, 2006). In order to conduct the proposed transformation, the authors define a set of rules at the logical level. Our work differs in several aspects, we raise the transformation for semi-structured Big Data in the source and the target is a key-value database; furthermore, we have used QVT for defining the transformation rules and our proposal is based on MDA.

Sousa et al., (2017) propose transformation definitions from Action Language for Foundational UML (ALF) to MapReduce model by using Atlas Transformation Language (ATL). It is also based on MDA. In addition, the work presents a case study through the modeling of a word count application. The key difference with our approach is the transformation language and the data type, because we propose QVT and semi-structured Big Data.

As conclusion, the major part of the analyzed works deals with structured data and the targets are column-oriented databases. We did not find research about modeling semi-structured data for key-value NoSQL databases; thus, in this work we propose to handle this type of data. Furthermore, we know Big Data is generally unstructured and they are not stored in relational databases.

3. Basic Concepts

Data modeling is a technique which main goal is to depict the data element characteristics into a diagram. The graphical representation describes how the data are used in a process. Data modeling has three main levels conceptual, logical and physical. Thus, the highest level representation about the data is done at the conceptual level. The logical structure of the data is described at the logical level and the specific data model is depicted at the physical level (Martinez-Mosquera et al., 2017). Conceptual, logical and physical modeling levels can involve PIM and PSM data models within MDA architecture (Abdelhedi et al., 2016).

UML is a standard for modeling business and similar processes. The concepts of UML are grouped into three major sub-parts:

1. Structure modeling includes classes, components, composites and deployments.
2. Behavior modeling is composed by action, activities, common behaviors, interactions, state machines and use cases.
3. Supplementary modeling is formed by auxiliary constructions and profiles (UML ISO IEC 19505-2, n. d.).

All of these sub-parts can be combined as per the creator preferences (Gomez et al., 2016).

To achieve our goal, we use structure modeling with deployment and class diagrams. A UML deployment diagram depicts artifacts and nodes according to deployment relationships, in other words the system physical architecture (ISO IEC 19505-2, n. d.); an artifact is defined as a physical entity into a node. The class diagrams deal with the basic modeling concepts of UML classes and their relationships. This study begins with a deployment diagram at the conceptual level, representing the physical resources used for semi-structured Big Data and concludes with a logical model based on UML for a key-value NoSQL database as a target (Martinez-Mosquera et al., 2017).

In Big Data, three types of data can be considered: structured data, which are data arranged by rows and columns in a relational database; semi-structured, referred to data with some of structure but not organized in relational databases; and unstructured, related to data without any format. In this paper, we have focused our effort to deal with semi-structured data, due to the limited research about this type of data, as shown in Section 2 State of the Art.

The OMG MDA provides two levels of models: PIM and PSM. PIM defines business functionality and behavior independent of a technology; this enables us to model exactly the business rules in accordance with the customer's needs. When a model of a system is defined in terms of a specific platform, it is PSM (MDA Specifications, n. d.). The MDA approach starts with PIM, then it is transformed into PSM and PSM is finally

transformed to code (Rahmani et al., 2006). Among these models, we have selected PIM to describe semi-structured data separated from specific platforms at the conceptual and logical modeling level.

4. Method

When we talk about Big Data, traditional data models as relational model are unusual. In addition, new systems have been deployed for this goal, these are known as NoSQL. NoSQL systems are classified as follows: key-value stores, document stores, extensible record/column oriented stores and graph oriented (Iribarne et al., 2017). Our approach is focused into key-value stores, since it is suitable for semi-structured data. In summary, the Fig. 1 presents the flow of our proposal.

4.1. Modeling Semi-structured Big Data

In this section, we present the process to implement our proposal in order to obtain the key-value model. We have divided the modeling into three subsections: deployment diagram, class diagram, and key-value model. At the three phases, we have used UML as modeling language.

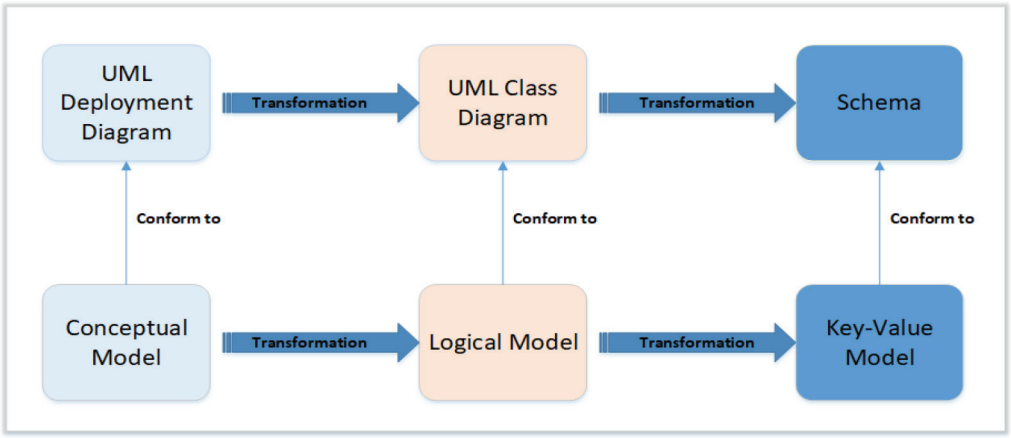


Figure 1 – Process for Modeling Semi-Structured Big Data

Deployment Diagram

As we propose the use of PIM as MDA, we map the main physical entities to UML concepts separately of any specific platform. Table 1 contains the proposed details to follow; they are based on (Da Silva et al., 2014). Storages, software applications and operating systems will be represented by nodes, and semi-structured data with artifacts. This map will allow us depicting the deployment diagram for semi-structured Big Data at the source and the target.

With the provided UML concepts, we can represent our proposed modeling at a conceptual level. We consider a UML deployment diagram as a set of nodes N={Node 1, Node 2 ...

Node n}, where 1 is the identifier for the first node and n for the last one, each node is composed by artifacts Nodei={Artifact 1, Artifact 2 ... Artifact n}. A string identifies every node and artifact. Fig. 2 presents an example of the deployment diagram for the source and the target of the semi-structured Big Data. At the source, the used resources for extracting the semi-structured data are represented by a storage infrastructure; at the target, another storage infrastructure is represented by contains operating system, application software and the elements to store the data.

A deployment diagram was necessary to know how the semi-structured Big Data can be extracted from the source where they are arisen. There are many tools for this purpose; independently of the chosen tool, it must be represented with this conceptual modeling. The next procedure is to build the class diagram at a logical level as we planned previously.

Physical entity	UML concept
operating system	node
storage	node
semi-structured data	artifact

Table 1 – Map of physical entities to UML concepts

Class Diagram

In order to transform the UML deployment diagram into a key-value model, an intermediate procedure has been necessary. We generated a UML class diagram for representing the logical modeling for semi-structured Big Data at the source. Semi-structured Big Data does not have a predefined structure, but the different fields can be easily identified, since they have metadata or they are delimited. We represented the UML class diagram as a set of classes C={C1, C2... Cn}, each class contains a set of instances I= {I1, I2...In}, every class and instance is identified by a string and belongs to a specific type.

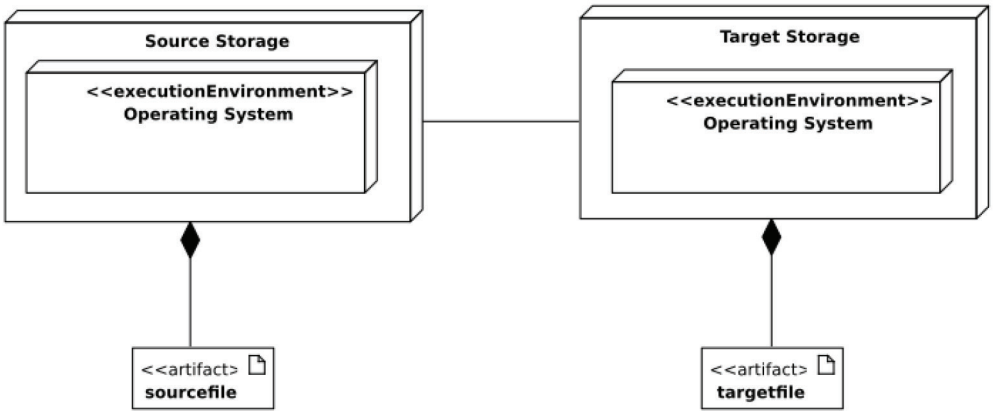


Figure 2 – Deployment Diagram

The Fig. 3 presents the UML class diagram for the semi-structured Big Data at source. A package depicts the file that includes the data, and the class contains the field. At this stage, the QVT standard was used to define transformation rules in order to attain the key-value logical model. From the QVT specification, a transformation allows relations between model elements of source alter to target models. A relation specifies how two types of object diagrams, called domain patterns, relate to each other. The operational mappings are summarized into the Fig 4. Source domain is called SourceFile and target domain is called Table. Domain patterns are the file in the source and key and value in the target.

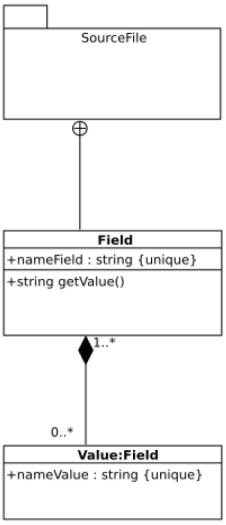


Figure 3 – Source Class Diagram

A key-value NoSQL database stores, as the name suggests, a key and a value. Usually the key data type is a string and the value is a list or an array. However, it is considered as straightforward, since it enables to store a huge amount of data. The transformation rules, to gather the key-value logical model, are based on (Abdelhedi et al., 2016) and are outlined as follows:

- Package is converted to a single table because the key-value model supports only one table.
- Class is converted to key. Semi-structured data, usually includes field names separated by a delimiter, every field (class) will be stored as a key in the NoSQL database. Here, we propose the use of two identifiers, one of them to identify the row and another for determining the delimiter type.
- Instance is converted to value. The records for every field will be stored in the value column of the NoSQL database as a data set.

Key-Value Model In the key-value model, there is a single table composed by two columns, key and value {K,V}, key is a class that contains field name as an attribute and the getValues() operation to take the values from the Values class K={K1, K2… Kn}. Values class includes the dataset of every key Ki ={Vi}.

Fig. 5 presents the attained key-value model for semi-structured Big Data, after applying the transformation rules to the logical modeling in the UML class diagram. A single table is presented, that can be associated with many keys and every key with many values.

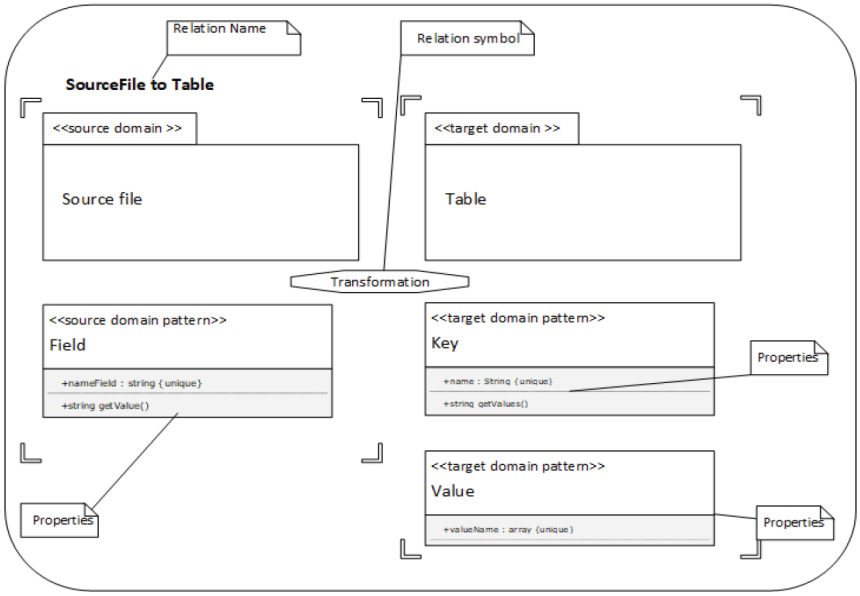


Figure 4 – QVT Relationship

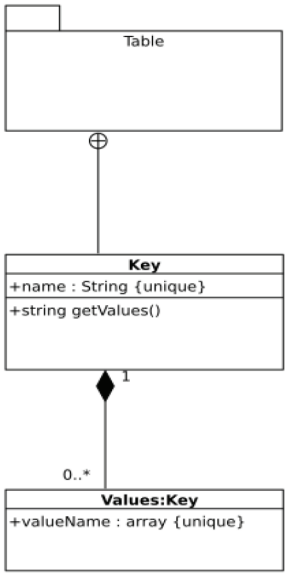


Figure 5 – Key-value Model

5. Case Study

In this section, we present a case study to show how to apply our proposal. At the source, we collected records from a network firewall, since event logs, that generally contain metadata to describe their structure, are considered as semi-structured data (Khalifa et al., 2016). Firewall records can be classified as Big Data; they comply at least with the features volume, velocity, variety, veracity and value (Qaiyum et al., 2016).

We will specify the tools and database types used for the case study. The source is a firewall that generates record files in real time, but this study is still adapted only for batch processing. Through the Flume tool for extracting log records, these data will be stored into a key-value database in CouchDB. Flume is a tool for collecting web or database log records. Flume comprises of agents that are installed into the source, the spooling directory and the target, the storage place (Sameer & Madhu, 2014). Apache CouchDB is a NoSQL database, which supports several data formats, for instance JSON and the Atom Publishing Protocol (AtomPub) (Han et al., 2011).

Fig. 6 presents a fragment of the log file extracted from the firewall. There are five field names and two rows with the collected values for every field; the delimiter parameter is a comma.

```
Severity, Event Name, Start Time, Source, Destination
Critical, Non Compliant DNS,12:24:51 07 Nov 2017,11.12.13.14,sea10.ff.avast.com
Critical,Non Compliant DNS,12:24:51 07 Nov 2017,11.12.13.15,ed.73.1732.ip4.static.sl-reverse.com
```

Figure 6 – A Fragment of the Security Log File

Fig. 7 presents the deployment diagram for the referred scenario, two nodes where the operating systems and Flume agents are installed. This figure is based on Fig. 2 that depicts the source and the target for semi-structured Big Data. Nodes are the firewall and the storage physical units, the Flumes agents and the operating systems are nodes contained into the main node. The log file is an artifact related to the Firewall node.

Associations show the relationship between elements in UML. For Fig. 6, one or many log files can be associated with a firewall, and many firewalls can be associated with a storage.

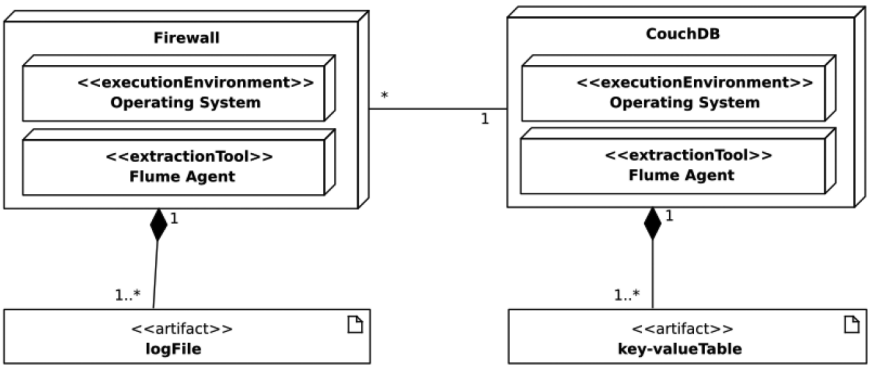


Figure 7 – UML Deployment Diagram for Security Logs

Fig. 8 presents the UML class diagram for this log file, as we early mentioned, this intermediate procedure is necessary before conducting the transformation. We have depicted the log file, where the semi-structured data comes from, as a package, the fields associated to the log and the concerned attributes and operations as classes and the field values as instances. Here, none or many values belong to one field and a log file can contain one or many fields.

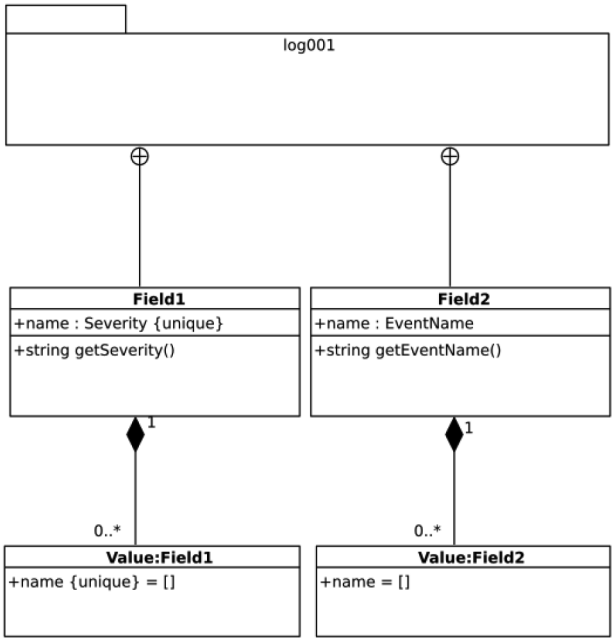


Figure 8 – UML Class Diagram for Security Logs

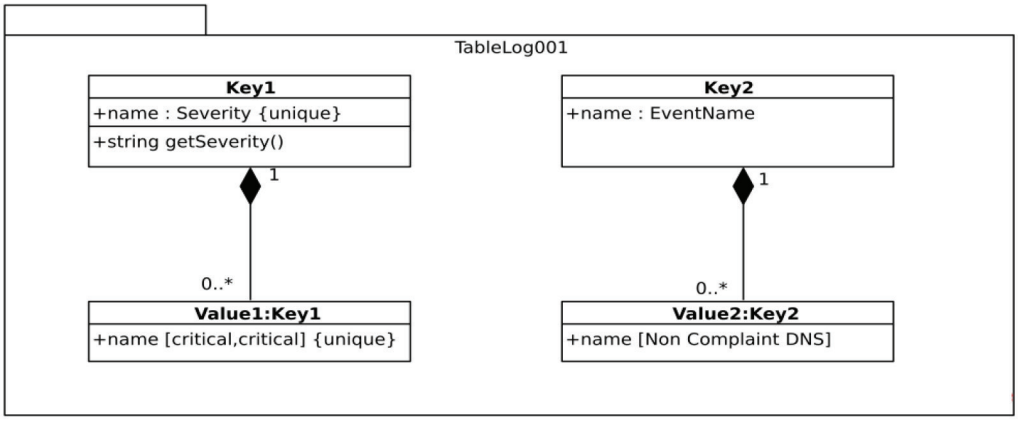


Figure 9 – Key-value Modeling for Security Logs

To obtain the key-value logical model, we applied the previously predefined QVT rules: package is a single table, class is converted to key and instance is converted to value. Fig. 9 presents the model into a class diagram composed by packages, classes and instances. As it can be seen, the conversion is easy and can be replicated in another scenario.

6. Conclusions

In this paper, we presented an approach based on MDA supported on PIM to modeling semi-structured Big Data from the conceptual to a logical level for a key-value NoSQL database. We departed from a UML deployment diagram that depicts the physical resources at the conceptual level, then we created a UML class diagram as an intermediate step to apply the proposed transformation rules based on the QVT standard and finally to implement the modeling at a logical level for a key-value model. From the specified PIM model, we presented the PSM model for a case study concerned to security log files, using the data extraction tool Flume and the key-value database CouchDB. All the diagrams were performed with the use of a Visual Paradigm Community version, achieving our main goal to present how to model semi-structured Big Data for key-value NoSQL database.

As future work, we intend to assess our proposal through a modeling framework, with the purpose to perform all the transformation with the tool and finally to obtain the database schema. We also plan to model real-time semi-structured Big Data and evaluating the NoSQL database types to know the better alternative. We expect to present novel approaches for modeling semi-structured and unstructured Big Data at the conceptual, logical and physical levels; automatizing the model transformation with QVT and incorporating the use of OMG Object Constraint Language (OCL) standard for defining detailed transformation processes. In addition, we will extend UML through a profile with stereotypes to depict a particular diagram.

References

Abdelhedi, F., Brahim, A. A., Atigui, F., & Zurfiuh, G. (2016). Big Data and Knowledge Management: How to Implement Conceptual Models in NoSQL Systems. *In 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, 235–240. DOI: 10.5220/0006082302350240

Barbierato, E., Gribaudo, M., & Iacono, M. (2013). A performance modeling language for Big Data architectures. *In 27th European Conference on Modelling and Simulation,* 511–517.

Da Silva, M. A. A., Sadovykh, A., Bagnato, A., Cheptsov, A., & Adam, L. (2014). JUNIPER: towards modeling approach enabling efficient platform for heterogeneous big data analysis. *In 10th Central and Eastern European Software Engineering Conference*, 12. DOI: 10.1145/2687233.2687252

Gomez, A., Merseguer, J., Nitto, D., & Tamburri, D. A. (2016). Towards a UML pro le for data intensive applications. *In 2nd International Workshop on Quality-Aware Devops*, 8–23. DOI: 10.1145/2945408.2945412

Han, J., Haihong, E., Le, G., & Du, J. (2011). Survey on NoSQL database. *In 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications*, 363–366. DOI: 10.1109/ICPCA.2011.6106531

Iribarne, L., Asensio, J. A., Padilla, N., & Criado, J. (2017). Modeling Big databased systems through ontological trading. *Software*: *Practice and Experience*, *47*(11), 1561–1596. DOI: 10.1002/spe.2488

Khalifa, S., Elshater, Y., Sundaravarathan, K., Bhat, A., Martin, P., Imam, F., & Statchuk, C. (2016). The six pillars for building big data analytics ecosystems. *ACM Computing Surveys*, *49*(2), 33. DOI: 10.1145/2963143

Kurtev, I. (2007). State of the art of QVT: A model transformation language standard. *In International Symposium on Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance*, 377–393. DOI: 10.1007/978-3-540-89020-1_26

Lano, K. (2005). *Advanced systems design with Java, UML and MDA*. *In Elseiver Butterworth-Heneimann*. Great Britain: Elsevier.

Lujan-Mora, S., Trujillo, J., & Song, II_Yeol. (2006). A UML profile for multidimensional modeling in data warehouses. *Data and Knowledge Engineering*, *59*(2), 725–769. DOI: 10.1016/j.datak.2005.11.004.

Martinez-Mosquera, D., Lujan-Mora, S., & Parra, F. (2017). Modeling data cleaning techniques for big data. *In WWW/Internet and Applied Computing*, 310–313.

Martinez-Mosquera, D., Lujan-Mora, S., & Recalde, H. (2017). Conceptual Modeling of Big Data extract processes with UML. *In 2nd International Conference on Information Systems and Computer Science*. DOI: 10.1109/INCISCOS.2017.18

MDA Specifications. (n.d.).

Qaiyum, S., Aziz, I. A., & Jaafar, J. B. (2016). Analysis of Big Data and Quality-of-Experience in High-Density Wireless Network. *In 3rd International Conference Computer and Information Sciences*, 287–292. DOI: 10.1109/ICCOINS.2016.7783229

Unified Modeling Language (UML), ISO IEC 19505-2. (n. d.). *UML*. Retrieved from https://www.uml.org/

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 21/12/2018
Aceitação/Acceptance: 29/02/2019

Model of Telecommunications Infrastructure for the deployment of Technological Services from the CLOUD to all the Localities of the Ministry of Education in Ecuador

Iván Ortiz-Garcés[1], William Villegas-Ch.[2]

ivan.ortiz@udla.edu.ec, william.villegas@udla.edu.ec

[1,2] Universidad de Las Américas, 170523, Quito, Ecuador

Pages:531–542

Abstract: This article defines the appropriate connectivity model to integrate all the users of the localities at the national level into the new integral network of the Ministry of Education in Ecuador; calculates the capacities required in the data links for the provision of technological services to all the localities of the Ministry of Education at the national level; dimensions the equipment for filtering content and securities in the CLOUD through infrastructure as a service, and establishes the work methodology for technical personnel of the National Directorate and Zonal Unit of Information Technologies and Communications at the National level that will be involved in the project.

Keywords: Cloud; connectivity; IAAS; network; Ecuadorian Ministry of Education.

1. Introduction

The Constitution of the Republic of Ecuador through the *Regime of Good Living*, and the *Organic Law of Intercultural Education* establish as responsibilities of the State, strengthen public education, ensure digital literacy and incorporate information and communication technologies in the educational process.

In this legal framework, the implementation of the New Educational Management Model is fundamental. It is currently in progressive development throughout the Ecuadorian territory, includes the 9 Education Zones (Undersecretaries of Quito and Guayaquil), the 140 educational districts and approximately 18 000 Public Education Institutions of fiscal, fiscomisional and municipal sustainability, additionally are all the areas, sections and addresses of the Ministry of Education of Central Level (Table 1).

This new Educational Management System necessarily includes a telecommunications infrastructure model that will link all the localities (Zones, Districts, Educational Institutions) to the Virtual Data Center of the Ministry of Education in Ecuador through a comprehensive data network (WAN EDUCATIONAL) for the deployment of all technological services in an efficient, reliable and maintaining high availability

Context	Rank of students	Institutions	Students
A	>6 000	1	8 821
A	>5 000 - < 6 000	3	16 496
A	>4 000 - < 5 000	14	6 1151
A	>3 000 - < 4 000	30	103 506
A	>2 000 - < 3 000	95	225 748
A	>1 000 - < 2 000	614	835 985
A	>500 - < 1 000	1 221	865 350
B	>200 - < 500	2 080	668 644
C	>100 - < 200	1 646	235 655
C	>50 - < 100	2 150	148 650
C	>25 - < 50	3 091	108 609
C	<25	4 878	67 084
Total		15 823	3 345 699

Table 1 – Context Educational Institutions

In this context, the Ministry of Education has clearly defined and differentiated three scenarios: A, B, C; through which it covers 3 345 699 students in 15 823 Educational Institutions of fiscal and municipal regime.

The 735 educational establishments in the context A with more than one thousand (1 000) students comprise an approximate number of 1 251 707 students. In these educational units an initial service coverage of 37% of the student population is expected at the National level until December 2015. For 2016, it is planned to continue with the second phase of the project, with which the corresponding service will be deployed. Educational Institutions of Scenario A with less than 1,000 students and representing 26% of the student population at the National level.

The remaining 37% (Educational Institutions of Scenarios B and C), because they are schools that lack adequate infrastructure and maintain a relatively lower student population, will be attended to with Technology Inclusion connectivity projects.

Similar projects have not been found in countries of South America.

Regarding the Corporate network, it is intended to reach the Central Plant, 9 Zones, 140 Districts; that is, a total of 150 locations with a coverage of approximately 6 700 officials.

2. Methodology for the implementation of the project

2.1. Connectivity Model

The model that will be used in the Wan Educational project states that all the localities (Zones, Districts, Educational Institutions) of the Ministry of Education maintain only

data links for which all technological services will be deployed. The connectivity will be direct to the Virtual Data Center of the Ministry of Education without intermediate concentration or provision of additional trunks that guarantee bandwidth to its dependencies, it is intended to avoid the generation of new points of failure and improve the scalability of the project.

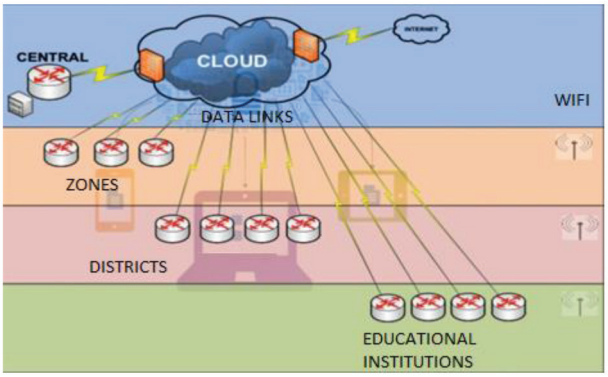


Figure 1 – Centralized Model

2.2. Calculation of the capacity required to provide data link service

Educational Network

According to the scenarios established by the Online Community project, the tabulated information for Educational Institutions of Scenario A with more than one thousand (1 000) students is shown in Table 2.

Context	Rank of students	Institutions	Students
A	>6 000	1	8 821
A	>5 000 - < 6 000	3	16 496
A	>4 000 - < 5 000	14	61 151
A	>3 000 - < 4 000	30	103 506
A	>2 000 - < 3 000	95	225 748
A	>1 000 - < 2 000	614	835 985

Table 2 – Educational Institutions with more than 1000 Students

In this case, for the calculation of the required capacity of the data link, which will allow providing Internet services, the number of computers that will connect to the Internet in a concurrent manner is considered, by area (Table 3).

It is considered approximately 29 teachers per day, however it has been estimated two rooms of teachers with at least 10 teachers each and connected to the Internet simultaneously.

Area	Spaces	Equipment	Total Equipment
Laboratory of Technologies and Languages	2	40	80
Administrative Block	18	1	18
Inspection	3	1	3
Internet Room Library	1	40	40
Natural Sciences Laboratory	4	1	4
Physics and Chemistry Laboratories	3	1	3
Classrooms	45	1	45
Teacher's room	2	10	20
SubTotal	51		213
Wireless Access			87
Total			300

Table 3 – Internet Concurrences

From the evaluation carried out, it is considered that there will be 213 concurrent Internet connections (peak time). Additionally, 45% of concurrences will be provisioned for mobile devices (Figure 2) and users will be guaranteed to have at least 32 Kbps. A Bandwidth of:

$$AB = V_{tx}\ x\ Number\ of\ Connections$$

If:

$$V_{tx} = Transmission\ speed$$

Then:

$$AB = 32\ Kbps\ x\ 300$$

$$AB = 9.600\ Kbps$$

The data link must have a capacity of at least 9,600 Kbps for the Internet service.

For the calculation of the required capacity in the data link for the voice service, it will be dimensioned with the voice coding standard G.711, used in voice communication and standardized by ITU-T, which has a width bandwidth of 64kbps and is supported by most communication devices and interoperability is very simple, it should be taken into

account that for headers an additional 32kbps is required, so the factor to be considered for the calculation is 86 kbps.

It is considered that the following areas will have IP telephony service (Table 4).

Area	Telephone Lines
Laboratory of Technologies and Languages	1
Administrative Block	12
Internet Room Library	2
Natural Sciences Laboratory	3
Physics and Chemistry Laboratories	2
Teacher's room	10
Total	30

Table 4 – Telephony Concurrences

For the calculation, a concurrence of the telephony service of 15% is estimated, for which it is obtained that 5 users make calls simultaneously:

$$AB = AB_{G.711}\ x\ Number\ of\ Connections$$

If:

$$AB_{G.711} = Bandwidth\ Codec\ Telephony$$

Then:

$$AB = 86Kbps\ x\ 51$$

$$AB = 430\ Kbps$$

Therefore, a Bandwidth of 430 Kbps is required to maintain 5 simultaneous calls by the data link.

Then, the bandwidth of the data link corresponds to the sum of the capacity required for the voice and Internet service:

$$AB = AB_{VOZ} + AB_{INTERNET}$$

$$AB = 430\ kbps + 9.600\ kbps$$

$$AB = 10.030\ kbps$$

The capacity is maintained at 10 Mbps, because the capacity calculation of the data link was estimated with the G.711 voice coding standard, with which the highest bandwidth consumption per telephone call is considered, but it is recommended to use the G.729 voice coding standard (8 Kbps).

Therefore, the bandwidth of the data link to be contracted is 10 Mbps.

Corporate Network

The Corporate Network includes Centras Plant, 9 Zones and 140 Districts, due to the proximity between Central Silver and the Building where Zone 9 currently works. The latter will be directly linked and will use all the infrastructure arranged for the Central Plant within the Wan Wan Project.

From the evaluation carried out, it is considered that 85% of concurrences will be available for internet browsing and it is guaranteed that users have at least 64 Kbps, for the corresponding calculations the following formula is applied:

$$AB = V_{tx}\ x\ Number\ of\ Connections$$

If:

$$V_{tx} = Transmission\ speed$$

For the calculation of the required capacity in the data link for the voice service, it will be dimensioned with the voice coding standard G.711, used in voice communication and standardized by ITU-T, which has a width bandwidth of 64kbps and is supported by most communication devices and interoperability is very simple, it should be taken into account that for headers an additional 32kbps is required, so the factor to be considered for the calculation is 86 kbps For the calculation, a 45% telephony service concurrency is estimated.

$$AB = AB_{G.711}\ x\ Number\ of\ Connections$$

If:

$$AB_{G.711} = Bandwidth\ Codec\ Telephony$$

Site	Average Officials	Concurrency Internet 85%	Consumption Internet	Concurrence Telephony 45%	Consumption Telephony	Total MBPS
Central Plant	1100	935	59 840	495	42 570	102
Areas	110	94	5 984	50	4 257	10
Districts	60	51	3 264	27	2 322	6

Table 5 – Internet and Telephony Bandwidth Calculations

Therefore, the Bandwidth of the data links to be contracted is 100 MBPS Central Plant, 10 MBPS in Zones and 6 MBPS for Districts (Table 5).

2.3. Sizing of the equipment for the CLOUD

Architecture CLOUD

The configuration of the CLOUD for the present project is based on the implementation of Infrastructure as a service administered by the Ministry of Education, it is composed of virtual servers with high redundancy and growth according to demand, contains a security solution which supports internet or data links, this security solution provides total perimeter coverage with unified threat management for the protection of the Virtual Data Center, as shown Figure 2.

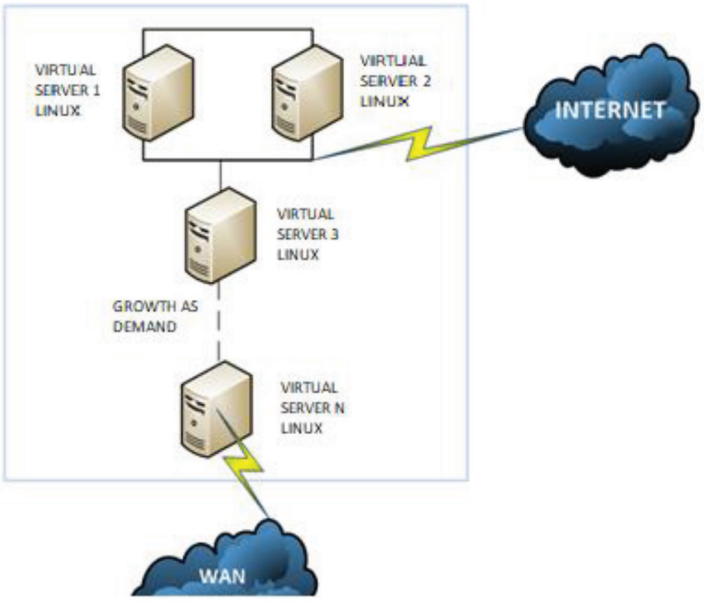


Figure 2 – CLOUD Infraestructure

Virtual Infrastructure Resources

The security solution will include at least 4 functional components to provide greater protection and security, each with different alternatives and functionalities according to the needs of the Ministry of Education.

- *Essential Protection*. It offers basic security functions of Information Technology (IT) environments to help protect the business network.
- *Network Protection*. Includes fully integrated features such as a configured firewall combined with an Intrusion Protection (IPS), Denial of Service (DoS), many traffic routing and NAT tools.
- *Web Protection*. It protects users from threats and allows them to apply conditions of how and where they can use their time online. Spyware and viruses are stopped before they can enter the network and cause damage.
- *Web server protection*. Prevents your web application servers from being victims of modern attacks by injection of SQL or XSS code. It also ensures that customers who interact with their web applications can not violate weaknesses of these services by forcing a correct interaction with the servers and protects their customers by generating digitally signed cookies.

For the initial stage of the service, two unlimited licenses are considered for the two UTM's, which are in High Availability. All functional components will be supported with the assignment of the following resources (Table 6).

Resource	Unit of Measure	Quantity
Memory	GB	56,0
Processing	GHz	92,8
Storage	GB	500,0

Table 6 – Resources Infrastructure CLOUD

AutoScaling

The following aspects will be taken into consideration for the definition of the tool to be installed in the virtual data center:

- Network security devices must have the ability to recognize applications, independent of the port and protocol, with the following functionalities.
- It should be possible to release and block only applications without the need to release ports and protocols.
- Recognize at least 1 800 different applications, including, but not limited to: peer-to-peer traffic, social networks, remote access, software updates, network protocols, voip, audio, video, proxy, instant messaging, file sharing, e-mail
- You must inspect the payload of the data package with the aim of detecting through regular expressions signatures of applications known by the manufacturers independent of the port and protocol. The signature check must also determine if an application is using its default port or not

- Should apply heuristic analysis in order to detect applications through analysis of observed traffic behavior
- Must Recognize applications in IPv6
- Limit the bandwidth (download / upload) used by applications (traffic shaping), based on source IP, users and LDAP / AD groups
- Network security devices must have the ability to identify the network user with Microsoft Active Directory integration, without the need for agent installation in the Domain Controller, or in the users' stations
- Natively allow the creation of custom signatures for recognition of proprietary applications in the graphical interface of the solution, without the need for action by the manufacturer, maintaining the confidentiality of the applications of the corporation
- It will allow to identify and optionally prevent the transfer of several types of files (MS Office, PDF, etc.) identified on applications (P2P, InstantMessaging, SMB, etc.)

The new functionalities will be supported with the assignment on demand of the following resources (Table 7).

Resource	Unit of Measure	Quantity
Memory	GB	32,0
Processing	GHz	46,4
Storage	GB	500,0

Table 7 – Resources for Growth Infrastructure CLOUD

3. Results

Currently the Educational Institutions in the country exceed 15 000, the goal set is to reach a number no higher than 6 000, with two important steps: the creation of millennium institutions and the repowering of emblematic schools, in a deadline of up to 10 years. There are also schools of 60 students with a single teacher and numerous emblematic schools with obsolete infrastructure, these are two realities that would begin to change and the plan of reordering the educational offer proposed by the Ministry of Education in Ecuador promotes the standardization of establishments.

This reorganization and institutional strengthening of the education system includes a telecommunications infrastructure that will link all localities (Zones, Districts, Educational Institutions) to the Virtual Data Center of the Ministry of Education in Ecuador through a comprehensive data network (WAN EDUCATIONAL) for the deployment of all technological services in an efficient, reliable and maintaining high availability.

At the end of the implementation of the project, each unit will have a new data link that will guarantee access to all the technological services detailed above, this data link will replace the Internet connections they currently have and will be billed as a basic service.

As a complement to the project, there will be a Monitoring System and early warning for all the data links, in this way the availability of the links at adequate levels will be maintained.

The project facilitates access to the integral and virtual system planned by the Ministry of Education in Ecuador, so that parents can monitor online the grades of their children, check their attendance and contact the teacher or the rector in case they need to request some type of information.

The technological multiplatform currently managed by the Ministry of Education involves the administration and deployment of electronic mail services, quota allocation, online community, teaching management, educational offer among others. The majority of localities (Zones, Districts, Educational Institutions) of the Ministry of Education at the National level have a distributed architecture of computing centers with different types and levels of equipment, both servers and active network equipment, independent Internet links, data links, including telephony services through which they access technological services deployed by the National Directorate of Information and Communication Technologies through the Central Plant Data Center.

Therefore, the implementation of data links in all locations nationwide will allow the optimization of technological resources and the execution of multiple services and applications that will be deployed through these networks, facilitating the daily activities of the officials of this network. State portfolio.

A result to be highlighted in this project is the saving of economic resources that it will generate, due to the fact that it will no longer use the public telephone networks of the different providers at the National level and according to the locality, as it will be provided through the channels of installed data; and will also be used to consolidate future videoconference services, IP telephony at the national level and internal communication.

Additionally, the model requires a filter control of navigation, securities, consumption and additional requirements of technology services in all locations, as well as the issuance of policies and guidelines for the optimization and proper use of assigned resources. for the performance of user functions and their access to online community services

4. Conclusions

With the analysis carried out around the implementation of the proposed telecommunications infrastructure model, it can be observed that in relation to the provision of centralized data links, an adequate administration and deployment of technological services would be obtained. Additionally, significant cost savings are achieved, since no backup links are contracted, nor is the improvement of the service contract (SLA) necessary.

The definition of bandwidth contemplates the provision of internet and data channels, as well as the capacity for the deployment of the unified communications service in all Educational Institutions of Scenario A with more than one thousand (1 000) students,

in order to standardize the width band is provisioned 10 MB to all channels of the Educational Network.

Regarding the Corporate Network (Zones, Districts, Central Plant), the provision of the channel is raised based on the concurrency (75%) of connectivity and telephony of the officials of each of the aforementioned locations normalizing the channels.

With the coverage proposed for scenario A with more than 1 000 (one thousand) students representing 12.5% of the universe of Educational Institutions, it is intended to include 63% of the student population at the National level within the Educational Wan, this is due that the chosen scenario covers all Educational Institutions with the greatest number of students and adequate Infrastructure conditions. The new WAN EDUCATIONAL Telecommunications Infrastructure model will allow a more granular and centralized administration for the deployment of all technological services to all localities and dependencies. Ministry of Education in Ecuador, will also prevent the generation of new points of failure.

The operability of the EDUCATIONAL WAN will contribute to the increase of the indexes of access and reliability of the information, by the users of all the technological services available to the Ministry of Education in Ecuador.

The implementation of the monitoring and early warning tool for all the data channels of all the localities will allow the attention of all the connectivity incidents to be attended in a timely and efficient manner with a correct level of escalation among personnel of the Ministry of Education in Ecuador and the Provider Operations Center

References

Aalbers, H. (2013). Introducción al Cloud Computing. *Huibert-Aalbers.com. My home away from home.* Retrieved from http://www.huibert-aalbers.com/Publications/IntroduccionACloudComputing/index.html

Belcastro, L., Marozzo, F., Talia, D., Trunfio, P. (2018). Appraising SPARK on large-scale social media analysis. In *Euro-Par 2017: Parallel Processing Workshops* (pp. 483-495). DOI: 10.1007/s13278-018-0547-5.

Belcastro, L., Marozzo, F., Talia, D., & Trunfio, P. (2019). ParSoDA: high-level parallel programming for social data mining. *Social Network Analysis and Mining, 9*(1). DOI: 10.1007/s13278-018-0547-5

Martín E. (2014). ¿Qué es 'cloud computing'? Definición y concepto para neófitos. *TIC beat.* Retrieved from http://www.ticbeat.com/cloud/que-es-cloud-computing-definicion-concepto-para-neofitos/

Fernandez, C., Agra F., & Bautista, M. (2019). Finding tendency in streaming data using Big Data frequent itemset mining. *Knowledge Based System, 163.* DOI: 10.1016/j.knosys.2018.09.026

Ismail, A., Truong, H.-L., Kastner, W. (2019). Manufacturing process data analysis pipelines: a requirements analysis and survey. *Journal of Big Data, 9*(1). DOI: 10.1186/s40537-018-0162-3

Khezrimotlagh, D., Zhu, J., Cook, W. D., & Toloo, M. (2019). Data envelopment analysis and big data. *European Journal of Operational Research*, *274*(3), 1047-1054. DOI: /10.1016/j.ejor.2018.10.044

Ministerio de Educación. (s.f.). ¿Qué es Educar Ecuador? *Educar Ecuador*. Retrieved from http://www.educarecuador.gob.ec/

Network World. (2007). Migración a MPLS ¿Por qué? ¿Cuándo? ¿Cómo? *Network World*. Retrieved from http://www.networkworld.es/networking/migracion-a-mpls-por-que-cuando-como

Scavuzzo, F. (2011). Infraestructura como servicio. *Zyncro.com*. Retrieved from https://blog.zyncro.com/tag/iaas/

Torrecilla, L. & Romo, J. (2018). Data Learning from Big Data. *Statistics & Probability Letters, 136*, 15-19. DOI: 10.1016/j.spl.2018.02.038

Watson, T. (1998). Thomas Watson Jr: Master Of The Mainframe. *TIME*. Retrieved from http://content.time.com/time/magazine/article/0,9171,989784,00.html

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 27/11/2018
Aceitação/Acceptance: 23/01/2019

Cadenas Ocultas de Markov y Modelo de Markov de Máxima Entropía: una comparación en POS Tagging con el corpus AnCora

Ricardo Cujar[1], Giovanni Hernández[2]

rcujar@umariana.edu.co, gihernandez@umariana.edu.co

[1,2] Universidad Mariana, 520002, San Juan de Pasto, Colombia.

Pages:543–552

Resumen: Este trabajo presenta la comparación entre el modelo de Cadenas Ocultas de Markov - HMM y el modelo de Markov de Máxima Entropía - MEMM, en la tarea del etiquetado de categorías, para el idioma español, con el corpus lingüístico AnCora. El estudio es de tipo cuantitativo y descriptivo. Con HMM se alcanza una exactitud de 99%. Con MEMM se alcanzó un porcentaje de exactitud en el etiquetado del 98,04%, teniendo en cuenta que para este modelo se utilizan características sobre las observaciones.

Palabras-clave: AnCora; Cadenas Ocultas de Markov; Corpus Lingüístico; Etiquetado de Categorías; Modelo de Markov de Máxima Entropía; Procesamiento de Lenguaje Natural.

Hidden Markov Model and Maximum Entropy Markov Model: a comparison in POS Tagging with the AnCora corpus

Abstract: POS This paper presents the comparison between Hidden Markov Model - HMM and Maximum Entropy Markov Model - MEMM, in the POS Tagging, for the spanish language, with the AnCora linguistic corpus. The study is quantitative and descriptive. HMM achieves an accuracy of 99%. MEMM achieves an accuracy in the labeling of 98.04%, taking into account that for this model, it used features on the observations.

Keywords*:* AnCora; Hidden Markov Model; HMM; Linguistic Corpus; Maximum Entropy Markov Model; MEMM; Natural Language Processing; Part of Speech Tagging.

1. Introducción

El procesamiento del lenguaje natural (NLP por sus siglas en inglés), se refiere al área que investiga formas de comunicación entre las máquinas con las personas mediante el uso de lenguas naturales, como el español o el inglés. Para lograr este propósito, se deben realizar diversas tareas, entre las que se encuentra el POS Tagging. Esta tarea se encarga

de la asignación de la categoría lingüística correspondiente a cada palabra dentro de un texto dado y que se encuentra enmarcada dentro del aprendizaje de máquina, que puede ser supervisado o no supervisado. La ambigüedad es el problema a resolver dentro del POS Tagging, puesto que existen palabras que se escriben de forma similar y tienen diferente significado, dependiendo del contexto en el cual la palabra es usada; tal es el caso de la palabra 'vino', que puede ser un verbo o un sustantivo. En la Figura 1, se puede observar la ambigüedad enmarcada en la palabra 'race', ejemplo tomado de (jurafsky, 2009). Existen diversos modelos que realizan esta tarea, entre los que se encuentran Cadenas Ocultas de Markov (en adelante HMM por su sigla en inglés de Hidden Markov Model) y Modelo de Markov de Máxima Entropía (En adelante MEMM por su sigla en inglés Maximum Entropy Markov Model).

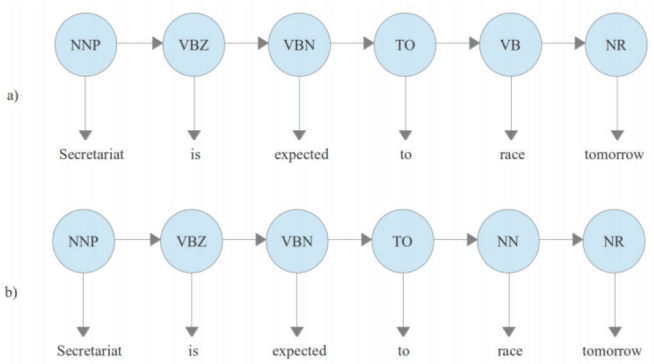


Figura 1 – Ejemplo ambigüedad POS Tagging. Tomado de Jurafsky (2009)

POS Tagging o etiquetado de categorías (por sus siglas en español), corresponde con una de las tareas que se encuentran enmarcadas dentro del procesamiento de lenguaje natural. Esta es una tarea de clasificación, que tiene como objetivo asignar la categoría lingüística correcta a cada palabra, dentro de un texto dado (Jurafsky & Martin, 2009), como se muestra en la Figura 2. El reto que debe resolver esta tarea consiste en la ambigüedad de las palabras, es decir aquellas que tienen similar escritura, pero significado distinto y el cual depende del contexto en el cual es usada la palabra. Se han propuesto modelos para la solución de este problema, entre los que se encuentran: HMM y MEMM. Las herramientas encargadas de realizar esta tarea se denominan POS Taggers.

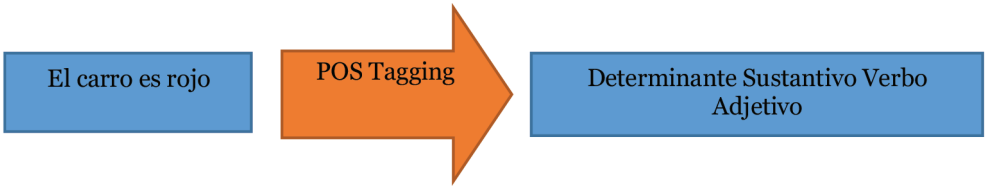


Figura 2 – Ejemplo POS Tagging

El modelo de las cadenas ocultas de Markov es un modelo gráfico generativo, como se observa en la Figura 3, que permite el etiquetado secuencial. Se basa en las cadenas de Markov, en donde los estados son ocultos. Los HMM están definidos por:

- S= {S_1, S_2, ..., S_n}, que corresponde con el conjunto de *n* estados.
- V= {V_1, V_2, ..., V_m}, que indica el conjunto de *m* elementos observables.
- A= {A_{ij}} que corresponde con la matriz de probabilidades, de moverse desde un estado *i* hasta un estado *j*. Donde *i*, *j*, toman valores desde 1 hasta n.
- B={$b_j(k)$}, que presenta la probabilidad de que un símbolo Vk, sea generado por el estado S_j.

Dentro de las suposiciones que hacen las HMM, se tiene que:

- Cada estado Yt+1, depende únicamente del estado actual Yt, siendo independiente de los estados pasados, Yt-1, Yt-2, ..., Y2, Y1. De esta forma se puede calcular P(Yt+1), dado P(Y), es decir obtener (P(Yt+1)|P(Y)).
- Cada observación Xt depende únicamente del estado Yt.

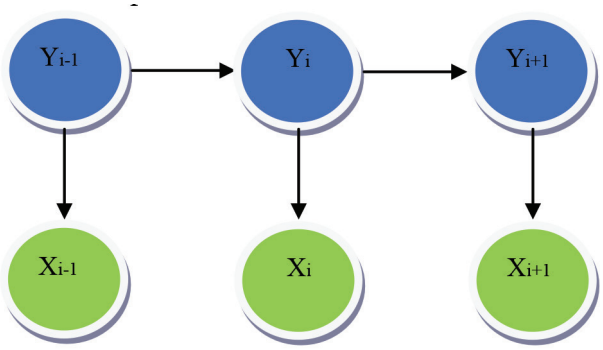


Figura 3 – Modelo Gráfico Dirigido HMM

En este orden de ideas, para obtener p(O|Q), se debe calcular la productoria de todas las probabilidades, de la secuencia de observaciones O, dada la secuencia de los estados Q, como se observa a continuación.

$$P(O|Q) = \prod_{i=1}^{T} P(o_i|q_i)$$

Para encontrar la secuencia de estados que maximicen la probabilidad de emisión, se utiliza el algoritmo de Viterbi, el cual es un algoritmo de programación dinámica, que tiene implícita la recursividad, dado que para encontrar la probabilidad de un estado Sj, dado un estado Sj-1, en un tiempo t, se tiene que haber encontrado, la probabilidad de llegar al estado Sj-1, en un tiempo t-1.

El Modelo de Markov de Máxima Entropía es un modelo gráfico discriminativo, como se observa en la Figura 4, basado en regresión logística multinomial, que permite el etiquetado de secuencias y es utilizado para el POS Tagging. Difiere del modelo de

Cadenas Ocultas de Markov, en que permite la inclusión de características dentro de las observaciones. Permite el cálculo de la probabilidad condicional de forma directa, mediante el uso de funciones características.

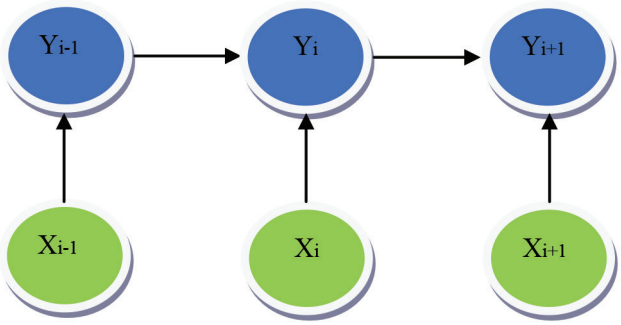


Figura 4 – Modelo Gráfico Dirigido MEMM

En el modelo de MEMM, la probabilidad de un estado depende directamente de la observación, junto con sus características y del estado anterior. En otras palabras

$$p(q|q', o) = \frac{1}{Z(o,q')} \exp\left\{\sum_{i}^{s} w_i f_i(o, q)\right\}$$

Y en este orden de ideas, la probabilidad de una secuencia de etiquetas es como se observa a continuación

$$p(Q|O) = \prod_{i=1}^{n} P(q_i|q_{i-1}, o_i)$$

Donde *p(qi|qi-1,oi)* indica la probabilidad que se presente entre la transición de los estados *qi-1* y *qi*, dada la observación *oi*. *Fi(o,q)* indica una función característica sobre una propiedad de la observación. *Wi* es el parámetro que indica el peso de dicha función característica, el cuál es aprendido mediante entrenamiento. *Z* es un factor de normalización que permite que la distribución sume 1. Igualmente, para encontrar la secuencia de estados que maximice la probabilidad, se utiliza el algoritmo de Viterbi.

Un corpus lingüístico es una colección de textos clasificados por expertos en lingüística (Nadha, 2011). Un corpus tiene diferentes niveles de anotación entre ellos: sintáctico, reconocimiento de entidades y etiquetado de categorías. El corpus utilizado para la realización de este estudio es AnCora (Taulé, Martí y Recasens, 2009.), el cual tiene, anotación a nivel de etiquetado de categorías en español utilizando el sistema EAGLES propuesto en (Monnachini M., & Calzolari N., 1996).

Entre los estudios actuales que miden la exactitud de HMM y de MEMM para esta tarea se encuentran (Sinha, Veyie, & Purkayastha, 2015) alcanzando una exactitud de etiquetado del 93.15%, (Yajnik, A. 2017) alcanza un 95.43%, en (Chang, Chao-Huang

& Chen, Cheng-Der 2018) se logra un porcentaje de exactitud en el etiquetado de categorías de 96.83%, (Daimary S.K., Goyal V., Barbora M. & Singh U., 2018) alcanza una exactitud de 89.21%; en (Tesso, 2014) se logra exactitud del 99.3% y en (Toutanova K. and Manning. C.D. 2000) es del 96.86%. Ninguno de ellos compara el rendimiento entre los dos modelos. ¿Entre HMM y MEMM, cuál tiene mayor exactitud, utilizando el corpus AnCora?

La importancia de esta comparación descriptiva radica en soportar la elección de uno u otro modelo, para el etiquetado de categorías. Este artículo tiene como objetivo presentar una comparación de los resultados de la aplicación de la tarea del POS Tagging, en el idioma español, haciendo uso del corpus lingüístico AnCora (Taulé et al, 2009), utilizando los modelos de HMM y MEMM.

Este artículo comienza con la descripción de la metodología, que explica la forma se llevó a cabo esta investigación. Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos y se hace una discusión acerca de algunas consideraciones y reflexiones frente a los hallazgos. Finalmente, se presentan las conclusiones.

2. Metodología

Teniendo en cuenta que la investigación es de tipo cuantitativo, con enfoque empírico analítico y descriptiva. Inicialmente, se formateó el corpus AnCora, con la sintaxis exigida para el texto de entrada, por las herramientas seleccionadas TNT Tagger y Stanford POS Tagger. Debido a que el corpus AnCora es un corpus único, se aplicó validación cruzada (Payam, Lei, and Huan, 2009), para poder realizar el entrenamiento y el testeo de cada modelo. Posteriormente, se creó y aplicó un algoritmo de partición para obtener cada uno de los sub repositorios, como se observa en la Figura 5. Paso seguido, se lleva a cabo la tarea del etiquetado de categorías con las dos herramientas seleccionadas.

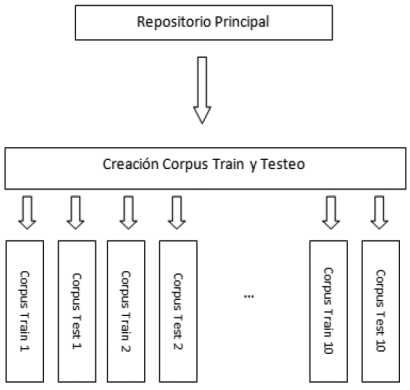


Figura 5 – Algoritmo de partición

Una vez se tiene la clasificación realizada por cada uno de los modelos, se calculan las variables definidas: precisión, exactitud, recuperación y puntuación FB1. Se debe tener en cuenta que para clase se pueden presentar dos casos. El primer caso, se refiere a que dicha clase corresponde con la palabra y su clasificación puede ser correcta o incorrecta. Si la clasificación es correcta, se la categoriza como true positivo - Tp. Si la clasificación es incorrecta, es categorizada como falso negativo - Fn. El segundo caso es cuando la clase no corresponde con la palabra. En este caso, cuando el clasificador otorga la clase en cuestión, se categoriza como falso positivo - Fp, en caso contrario como true negativo - Tn, como se observa en la Tabla 1, en donde se analiza la clase sustantivo dentro de la frase 'el carro es rojo'. El cálculo de la precisión, se obtiene dividiendo la cantidad de los true positivos, sobre la suma de true positivos y falsos negativos. La exactitud, se calcula mediante la división de la suma de los true positivos y true negativos, sobre la suma de los true positivos con true negativos, falsos positivos y falsos negativos. La recuperación es calculada mediante la división de los true positivos sobre la suma de los true positivos con los falsos negativos. La puntuación FB1 se obtiene al dividir el resultado de dos veces la multiplicación de la precisión y recuperación sobre la suma de estas dos variables. Una vez calculadas las variables, se confrontan mediante una matriz de comparación, los dos modelos que permiten el etiquetado de categorías.

Palabra	Clase Correcta	Clase Clasificada	Resultado
Carro	Sustantivo	Sustantivo	Tp
Carro	Sustantivo	Verbo	Fn
Es	Verbo	Verbo	Tn
Es	Verbo	Sustantivo	Fp

Tabla 1 – Ejemplo de categorización

3. Resultados

Teniendo en cuenta la validación cruzada, se dividió el corpus lingüístico en 10 partes, cada una con una cantidad igual de frases. Para cada una, se realizó el entrenamiento y testeo. La cantidad de frases y palabas, se las observa en la Tabla 2. Este experimento, se lo realizó con los dos POS Taggers seleccionados. Los resultados obtenidos para los modelos HMM y MEMM, se presentan en la Gráfica 1 y en la Tabla 3.

Archivo	Cantidad de frases	Cantidad de tokens
Entrenamiento 1	3028	84331
Testeo 1	336	9648
Entrenamiento 2	3028	83928
Testeo 2	336	10051
Entrenamiento 3	3028	84734
Testeo 3	336	9245
Entrenamiento 4	3028	84428
Testeo 4	336	9551

Archivo	Cantidad de frases	Cantidad de tokens
Entrenamiento 5	3028	85338
Testeo 5	336	8642
Entrenamiento 6	3028	85031
Testeo 6	336	8948
Entrenamiento 7	3028	84710
Testeo 7	336	9269
Entrenamiento 8	3028	83180
Testeo 8	336	10799
Entrenamiento 9	3028	85583
Testeo 9	336	8396
Entrenamiento 10	3024	84548
Testeo 10	340	9431

Tabla 2 – Cantidad de frases y palabras por cada sub repositorio

El modelo MEMM admite la inclusión de características para las etiquetas. En el experimento realizado, se incluyeron las observaciones como características fundamentales de las etiquetas. Además, se incluyó wi-1 y wi+1 para cada etiqueta, como características. De igual forma, se tuvo en cuenta las capitalizaciones, así como prefijos y sufijos.

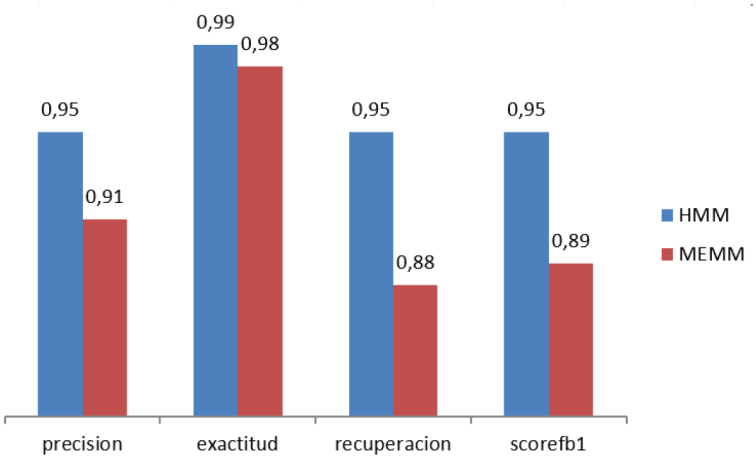
Promedio	Precisión	Exactitud	Recuperación	*Scorefb1*
HMM	0,95	0,99	0,95	0,954
MEMM	0,91	0,98	0,88	0,889

Tabla 3 – resultados aplicación POS Tagging con HMM y con MEMM

Teniendo en cuenta la variable precisión, HMM alcanzó una mejor predicción para los casos positivos que MEMM. La cantidad de casos positivos y negativos que se identificaron de forma correcta, con respecto a todos los casos clasificados, con HMM, superó en 0.1 punto porcentual a MEMM. Teniendo en cuenta la recuperación, la porción de casos positivos que fueron identificados de forma correcta, con HMM es superior a MEMM, es el mismo caso para la puntuación FB1.

Teniendo en cuenta los estudios realizados con HMM en (Sinha, Veyie, & Purkayastha, 2015) dónde se alcanzó un nivel de exactitud de 93.15% (teniendo en cuenta que además utiliza sistema basado en reglas), en (Yajnik, A. 2017) se alcanzó una exactitud del 95.43% para el idioma Nepalí. En (Singha, 2012) se alcanza una exactitud de 92%, teniendo en cuenta que no se cuenta con un corpus ampliamente suficiente. En (Shambhavi, Ravi & Kumar P, Ramakanth. 2012) se alcanza un porcentaje de exactitud de 79.9%. En (Chang, Chao-Huang & Chen, Cheng-Der 2018) utilizando HMM y un diccionario cerrado se alcanza porcentaje de exactitud de 96.83%. En (Joshi, Nisheeth & Darbari, Hemant & Mathur, Iti. 2013) se alcanza una exactitud de 92.13% en esta tarea, con HMM. En

(Daimary S.K., Goyal V., Barbora M. & Singh U. 2018) se alcanza un porcentaje de 89.21%, entre otros; los resultados alcanzados por el modelo HMM para el español utilizando el corpus AnCora superan a los ya citados, teniendo en cuenta que se cuenta con un corpus amplio.



Gráfica 1 – Resultados de testeo de cada modelo, por cada variable

Igualmente, en (Ratnaparkhi, 2002) se alcanza una exactitud de 96% en el etiquetado de categorías utilizando MEMM, mientras que en (Tesso, 2014) se alcanza una exactitud del 99.3%; en (Toutanova K. and Manning. C.D. 2000) se alcanza 96.86% de exactitud. En esta investigación, la exactitud alcanzada es del 98%. Cabe aclarar que para cada etiqueta se tuvo en cuenta las siguientes características: las observaciones, la palabra anterior y posterior, la utilización de capitalizaciones, prefijos y sufijos.

4. Conclusiones

Se realizó la comparación del rendimiento del modelo HMM y del modelo MEMM, en el idioma español, utilizando el corpus AnCora. Para el modelo de máxima entropía se incluyeron los observables como características de las etiquetas, además de la palabra anterior y la palabra posterior a cada etiqueta. De la misma forma, se tuvo en cuenta capitalizaciones, prefijos y sufijos de las palabras.

El modelo HMM alcanzó una precisión del 95%, una exactitud del 99%, una recuperación y una puntuación FB1 del 95%. El modelo MEMM alcanzó una precisión del 91%, una exactitud del 98%, una recuperación del 88% y una puntuación FB1 del 89%. El modelo HMM presenta un mejor desempeño, puesto que supera en todas las variables al modelo MEMM, en el idioma Español, utilizando el corpus AnCora.

Cuando se disponga de un texto de entrada y no se cuente con características adicionales para los elementos observables, se recomienda el uso del modelo HMM para la realización del POS Tagging, ya que este modelo no utiliza características sobre los observables.

La comparación de los rendimientos de modelos para el POS Tagging se realiza mediante las variables de precisión, exactitud, recuperación y puntuación FB1. Además, cuando se disponga de un corpus, y el cual solo es de testeo, se recomienda la utilización de la validación cruzada para poder entrenar y testear un POS Tagger.

Referencias

Chang, Chao-Huang & Chen, Cheng-Der. (2018). HMM-based Part-of-Speech Tagging for Chinese Corpora.

Daimary S.K., Goyal V., Barbora M. & Singh U. (2018). Development of Part of Speech Tagger for Assamese Using HMM. International Journal of Synthetic Emotions. 9. 23-32. 10.4018/IJSE.2018010102.

Joshi, Nisheeth & Darbari, Hemant & Mathur, Iti. (2013). HMM Based POS Tagger for Hindi. Computer Science & Information Technology. 3. 341-349. 10.5121/csit.2013.3639.

Jurafsky, D. and Martin, J. Speech and language processing An introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. Prentice Hall, 2009.

Nadha, N. (2011). Corpus Linguistics: A Practical Introduction.

Nedjo E.T., Huang D, Liu X. Automatic Part-of-speech Tagging for Oromo Language Using Maximum Entropy Markov Model (MEMM)[J]. 2014, 11(10): 3319-3334.

Monnachini, M., & Calzolari, N. (1996). Sinopsis and Comparision of Morphosyntactic Phenomena Encoded in Lexicons and Corpora. A Common Proposal and Applications to European Languages. EAGLES 1996.

Payam, Lei & Huan (2009). Ency Clopedia of Database Systems. M. Tamer A zsu and Ling Liu. Springer. Arizona State University.

Ratnaparkhi, Adwait. (2002). A Maximum Entropy Model for Part-Of-Speech Tagging. Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP).

Shambhavi, Ravi & Kumar P, Ramakanth. (2012). Kannada Part-Of-Speech Tagging with Probabilistic Classifiers. International Journal of Computer Applications. 48. 26-30. 10.5120/7442-0452.

Singha, K.R., Purkayastha, B.S., & Singha, K.D. (2012). Part of Speech Tagging in Manipuri with Hidden Markov Model.

Sinha, P., Veyie, N.M., & Purkayastha, B.S. (2015). Enhancing the Performance of Part of Speech tagging of Nepali language through Hybrid approach. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.

Taulé, M., & M.A. Martí, & M. Recasens (2009). AnCora: Multilevel Annotated Corpora for Catalan and Spanish. Proceedings of 6th International Conference on language Resources and Evaluation.

Toutanova K. and Manning. C.D. 2000. Enriching the Knowledge Sources Used in a Maximum Entropy Part-of-Speech Tagger. In Proceedings of the Joint SIGDAT Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Very Large Corpora (EMNLP/VLC-2000), pp. 63-70.

Yajnik, A. (2017). Part of Speech Tagging Using Statistical Approach for Nepali Text. International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering Vol 11.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 29/12/2018
Aceitação/Acceptance: 15/02/2019

Propuesta de un sistema de estacionamiento Inteligente con sensores IoT

Vinicio Ramos Valencia[1], Ruth Barba Vera[2], Carmen Mantilla Cabrera[3], José Guerra Salazar[4], Estalin Saltos Taipe[5]

vi_ramos@espoch.edu.ec, rbarba@espoch.edu.ec, carmen.mantilla@espoch.edu.ec, j_guerra@espoch.edu.ec, estalin.saltos@espoch.edu.ec

[1,2,3,4,5] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060106, Riobamba, Ecuador.

Pages:553–566

Resumen: Desde 2016 a 2018, el parque automotor casi se duplica, según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), esto implica la necesidad de una gestión eficiente de espacios de estacionamiento. Este trabajo propone la implementación de un sistema de parqueo inteligente con tecnología del Internet de las Cosas (IoT). Se implementó una red inalámbrica con Arduino y Nodemcu, con un nodo sensor y otro recolector de datos que determinan el estado de espacios de estacionamiento en tiempo real, la información se transmite por Wi-Fi a un servidor K2S01 (FL-US) y a través de una *interface Smartphone,* el usuario puede reservar una plaza disponible. Las pruebas realizadas determinaron un error absoluto de ±1 cm en mediciones de distancia, el 1% en repetividad de datos y un 48,5% de mejora con respecto a pérdidas de tiempo al momento de buscar espacios, una muestra de que es un sistema eficiente y confiable.

Palabras-clave: Ciudades inteligentes; Internet de las Cosas (IoT); parqueaderos inteligentes; estacionamientos inteligentes; sensores.

Proposal of a Smart parking system with IoT sensors

Abstract: From 2016 to 2018, the vehicle fleet almost doubles, according to the Association of Automotive Companies of Ecuador (AEADE), this implies the need for efficient management of parking spaces. This work proposes the implementation of an intelligent parking system with Internet of Things technology (IoT). A wireless network was implemented with Arduino and Nodemcu, with a sensor node and another data collector that determine the status of parking spaces in real time, the information is transmitted over Wi-Fi to a K2S01 server (FL-US) and through a smartphone interface the user is able to reserve an available space. The tests carried out determined an absolute error of ± 1 cm in the distance measurements, 1% in the repeatability of the data and 48.5% in the improvement of the times in the vehicles at the time of the search for spaces, showing it is an efficient and reliable system.

Keywords*:* Smart cities; Internet of Things (IoT); smart parking lots; Parking management; Sensors.

1. Introducción

En Ecuador durante los años 2016 se vendieron 6 560 unidades de autos, y en 2018 casi 12 088, lo que indica el incremento de casi el doble del parque automotor, esto según datos de la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2017). Además indica que, en 2018, la adquisición de vehículos livianos y comerciales se concentra en la provincia de Pichincha, con aproximadamente el 36,5 %, y Guayas con 28,5%. Es innegable que esta dinámica genera falta de estacionamientos, por lo que los sectores públicos como privados deben optimizar los parqueaderos de la ciudad; una de las medidas adoptadas es el cobro del espacio de parqueo. Un ejemplo de esto es el Centro Comercial Mall del Sol de la ciudad de Guayaquil, que debido a que los vehículos son aparcados por horas aun sin ser clientes, produce una falta de disponibilidad (El Universo, 2018).

Actualmente, las ciudades modernas, para gestionar estacionamientos, poseen múltiples plazas de aparcamientos inteligentes que detectan los espacios libres e informan a través de paneles a los conductores. He aquí que las Ciudades Inteligentes (*Smart Cities*) se presentan como una manera sostenible de brindar servicios y prestaciones para elevar la calidad de vida de sus habitantes e incrementar la competitividad y capacidad de la ciudad (Godoy Ramón, 2015); al adicionar el desarrollo y aplicación "inteligente" de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) con el Internet de las Cosas, añaden tecnologías verdes y sostenibles, para mejorar el rendimiento y el comportamiento medioambiental de la sociedad. Entonces, las TIC Verdes (Green TIC) potencian el desarrollo de las *Smart Cities* y las convierten en un modelo de ciudades que garantiza un futuro sostenible al aprovechar recursos de manera eficiente y al minimizar el impacto en el medio ambiente en las actividades humanas. (Castro & Sc, 2014).

Ante la problemática del gran crecimiento del parque automotriz, que ocasiona la reducción de espacios de estacionamiento, se ha pensado en una solución que hace uso de las TIC, con miras a que la aplicación de esta propuesta de gestión de parqueo inteligente genere ciudades modernas en el Ecuador (Valentín, 2016), pues proporcionará funcionalidad en tiempo real a los usuarios para conocer y reservar plazas de estacionamientos libres a través de la web, optimizando tiempos de búsqueda, disminuyendo el consumo de combustible, la emisión de gases contaminantes y, principalmente, la congestión vehicular.

Este trabajo presenta una propuesta de solución al problema, donde un usuario pueda gestionar en forma gráfica, al ingresar a internet, los espacios disponibles de parqueo en estacionamientos públicos o privados, en tiempo real, mediante una aplicación móvil que consulta una base de datos en un servidor de todas las plazas de aparcamiento libres de la zona, evitando tiempos largos de espera, el gasto innecesario de combustible que genera la búsqueda y consumo innecesario de combustibles que en lugares cerrados de aparcamiento o edificios con parqueaderos en el subsuelo esto se convierte en un gravísimo problema por la emisión de gases tóxicos. El prototipo se implementó en los parqueaderos del Mall de los Andes en Ambato (Ecuador). El sistema propuesto es modular, escalable y de bajo costo, con posibilidades para realizar futuras mejoras.

El documento presenta el estado del arte de la temática, describe la parte metodológica empleada en el desarrollo, presenta luego el análisis de los resultados y finalmente, se enuncian las conclusiones de la investigación.

2. Marco Teórico

2.1. Selección de tecnología de comunicación

Los modelos de comunicación permiten analizar el comportamiento de los dispositivos, conjuntamente con objetos inteligentes que se manejan en IoT, de manera que se logre establecer una comunicación según su requerimiento. La Tabla 1 muestra varias tecnologías inalámbricas de comunicación compatibles con las necesidades tecnológicas del sistema de estacionamiento inteligente, para que los usuarios y datos estén siempre conectados y con continuo flujo de la información. Como se puede observar, las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth tienen una cantidad moderada de nodos maestros en la red y un alcance promedio a su funcionalidad. La tecnología que cumple con los requerimientos mínimos de interoperabilidad con el usuario, que posee gran difusión de dispositivos y es de fácil escalamiento para su comunicación es la tecnología Wi-Fi.

Parámetros	**Bluetooth**	**Wi-Fi**	**Zigbee**
Ancho de banda	1 Mbps	54 Mbps	250 Kbps
Distancia	10 m	100 m	1000 m
Modulación	FHSS	DSSS	DSSS
Consumo de energía	Transmisión 40 mA Reposo 0.2 mA	Transmisión 400 mA Reposo 20 mA	Transmisión 30 mA Reposo 3uA
Cantidad de nodos maestro	7	32	64000
Aplicaciones	Solución de cables, WPAN y móviles	Web, WLAN, datos y e-mail	Control y monitorización
Ventajas	Interoperabilidad, Sustitución de cable	Flexibilidad y velocidad	Bajo costo y consumo, fiabilidad

Tabla 1 – Tecnologías inalámbricas de comunicación (Rodas, 2013, p. 13)

2.2. Análisis de plataformas de desarrollo hardware

La Tabla 2 muestra un comparativo de acuerdo a las características de algunas plataformas de desarrollo de *hardware* como base para la selección de *hardware*. Se presentan parámetros importantes como las características del procesador, memoria y otros necesarios para el buen desempeño del sistema.

Uno de los indicadores a considerar es el costo de la plataforma y el nivel de flexibilidad de escalar y/o reestructurarlo si fuera necesario. Esta característica la posee NodeMCU, plataforma que presta soluciones para conectividad Wi-Fi.

Caracterísitcas	RASPBERRY PI	ARDUINO	NODE MCU
Procesador	ARM 11	ATMega 328	Tensilica Xtensa LX3
Memoria RAM	1 GB	2 KB	96 KB
Memoria Flash	Tarjeta SD	2 KB	4 Mb
Velocidad	700 MHz	16 MHz	80 MHz
Voltaje de operación	5 V	5 V	3.6 V
Ethernet	10/100	N/A	N/A
USB	4	N/A	N/A
Sistema operativo	Windows 10, Distribuciones de Linux	N/A	N/A
WLAN	802.11 b/g/n	N/A	802.11 b/g/n
Precio	$85	$18	$10

Tabla 2 – Plataformas de Desarrollo (Saltos. E, 2018)

2.3. Sistema de parqueo inteligente y IoT

Entre las estrategias de reserva de estacionamientos están el sistema básico de búsqueda ciega cuando no hay información de estacionamiento, donde los conductores navegan hasta encontrar un espacio disponible cerca de su destino; si no conocieran el área de búsqueda se ampliaría más (Wang, 2011). Otra estrategia es el intercambio de información de estacionamiento (PIS), que se basa en la publicación de la información de disponibilidad de estacionamiento para los conductores en un área específica (Lu, Lin, Zhu, & Shen, 2009); aquí los conductores pueden decidir basados en el estado del sistema, el problema radica en que, cuando el número de vacantes es limitado, principalmente en horas pico, se producirá el fenómeno del espacio múltiple de persecución de automóviles múltiples y se producirá una grave congestión de tráfico.

Para superar las limitaciones de las estrategias anteriores, otros autores han desarrollado enfoques para un sistema de aparcamiento inteligente. Existen dos categorías: enfoques centralizados y distribuidos. Para los centralizados, mencionamos la contribución de Geng & Cassandras (2011), quienes proponen un sistema centralizado de estacionamiento inteligente basado en una asignación dinámica de recursos, donde la asignación de espacio se basa en un mecanismo de cola de espera y reserva. Wang & He (2011) diseñaron un prototipo de sistema de estacionamiento inteligente basado en reservas (RSPS) para transmitir información de estacionamiento en tiempo real (ocupación, precios) a los conductores y proporcionar el servicio de reserva como parte del servicio de destino del usuario, empleando técnicas avanzadas de detección y comunicación móvil.

En un contexto distribuido, hay muchos sistemas de estacionamiento basados en agentes múltiples. Entre ellos, podemos mencionar el sistema basado en InfoStation que ofrece un servicio de localización de aparcamientos dentro del área del Campus Universitario (Ganchev, O'Droma, & Meere, 2008). Este servicio permite a los usuarios registrados que están equipados con dispositivos inalámbricos móviles, ubicar los espacios de estacionamiento disponibles en todo el campus.

Chou, Lin & Li (2008), por su parte, propusieron un sistema de negociación y guía (ABIPNGS). El sistema actúa como una plataforma de negociación entre el parque y los conductores, lo que facilita la búsqueda de plazas de aparcamiento disponibles, la negociación dinámica de las tarifas de estacionamiento, la reserva de plazas de estacionamiento y la obtención de rutas óptimas. Para una negociación viable Longfei, Hong & Yang (2009) extienden el anterior sistema mediante la integración de agentes móviles. Esta tecnología ayuda a reducir la transmisión de datos a través de una red y mejora la flexibilidad, adaptabilidad y estabilidad del sistema multiagente original.

Bessghaier, Zargayouna & Balbo (2012) propusieron un proyecto descentralizado basado en un sistema multiagente mediante el empleo de una comunicación entre vehículos (V2V) que permite a los vehículos recibir y transmitir información sobre la disponibilidad de espacio a los otros vehículos de la misma comunidad. El sistema es no centralizado y funciona sin información previa sobre las plazas de aparcamiento. Los vehículos del mismo distrito intercambian mensajes que incluyen la lista de lugares ocupados y libres en cada asignación de estacionamiento y cada descarga para actualizar su conocimiento local.

Chou & Lin (2017), en tanto, proponen un sistema de estacionamiento inteligente para la reserva de espacio y orientación en respuesta a las solicitudes de estacionamiento de los conductores. Es un sistema multiagente, distribuido a gran escala, trata efectivamente la incertidumbre en un entorno dinámico.

Al aplicar IoT a parqueaderos inteligentes se puede considerar la presencia de plazas de aparcamiento reservado exclusivamente para usuarios como: autoridades, personas discapacitadas, embarazadas y de tercera edad, etc. Es necesario realizar gestiones de dichas plazas a través de tecnologías que detecten el estado de las plazas automáticamente (Boccalari y González, 2016). Esto ayuda a los conductores a encontrar una plaza de aparcamiento de manera eficiente y con mayor rapidez mediante el uso de TIC (Rosales, 2016).

Las principales características de IoT consisten en la capacidad de identificación, la obtención de información, el procesamiento y la comunicación de datos (ITU, 2012). En el mundo de la información, un objeto virtual puede existir sin la necesidad de relacionarse con algún objeto físico, en cambio un objeto físico puede ser representado por uno o diversos objetos virtuales. Además, un dispositivo tiene la capacidad para realizar la comunicación entre objetos y la capacidad para detectar, accionar, obtener, almacenar y procesar la información (González, 2017).

Parte primordial para el desarrollo del IoT son los sensores, ya que a través de estos dispositivos se logra obtener información dentro de un entorno donde se encuentran los objetos, para luego ser enviados y procesados por un sistema de control. Para el presente trabajo se ha considerado el desarrollo de un sistema centralizado de estacionamiento basado en una red de sensores de presencia ubicados dentro del área del parqueadero para conocer el estado del parqueadero: disponible, ocupado o reservado. La información que proporcionan los sensores se envió a un equipo electrónico que se encargó del procesamiento y almacenamiento en una base de datos. Se realizó la visualización de forma gráfica y sencilla, mostrando a los clientes el estado actual del parqueadero a

través de una aplicación desarrollada en un dispositivo móvil con un sistema operativo Android, a la vez la interface permite la reserva de una plaza libre donde se indica el periodo de tiempo de espera para la gestión de la plaza.

3. Materiales y métodos

Se consideró el caso del parqueadero subterráneo del Mall de los Andes de la ciudad de Ambato, donde se consideraron 20 plazas de aparcamiento. Se realizaron las siguientes consideraciones en el diseño del prototipo del sistema de parqueo inteligente: detección de presencia de vehículos en el interior del parqueadero, escalabilidad, bajo costo, información en tiempo real, almacenamiento en la red, supervisión del área del estacionamiento con sensores y un nodo recolector; además de permitir la reserva del usuario del estacionamiento en un periodo de tiempo establecido.

Se realizaron pruebas para determinar los tiempos de respuesta entre el servidor (K2s01FL - US) y el sistema para esto se enviaron datos desde el sistema a la nube. Para determinar el error del sistema de parqueo que incorpora al censar se relacionó los valores del sensor ultrasónico del diseño con un equipo patrón (Flexómetro), se recopilaron datos durante cinco días con un total de 30 muestras.

Para determinar la repetividad de datos se consideró 15 muestras del sensor durante 5 días laborables con tres mediciones diarias, éstos resultados se compararon con los estándares del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) ("Organismos estadísticos," n.d.), para determinar la estabilidad de los sensores implementado en el sistema de parqueadero inteligente. Además, se tomó en cuenta el tiempo de parqueo antes y después de la instalación del sistema así como el consumo de gasolina de 15 vehículos definidos en dos horarios pico.

3.1. Elementos hardware seleccionados

Los elementos seleccionados de acuerdo a la compatibilidad, costo y requerimientos del parqueadero son: microcontrolador basado en un procesador ATmega2560("ATMEGA2560 pdf, ATMEGA2560 description, ATMEGA2560 datasheets, ATMEGA2560 view ::: ALLDATASHEET :::," n.d.), NodeMCU("NodeMcu – An open-source firmware based on ESP8266 wifi-soc.," n.d.) como plataformas de desarrollo hardware por su velocidad y terminales analógicos, un módulo Bluetooth HC-05 (ITead Studio, 2010) y sensor ultrasónico HC-SR04(ELEC-FREAKS, 2018) compuesto por un circuito de control, un transmisor y un receptor ultrasónico ya que permite una comunicación con otros dispositivos.

3.2. Esquema de conexión

La red está compuesta por dos nodos: nodo lector y nodo recolector, en la Figura 1 se puede observar el esquema de conexión de nodo sensor, donde se optó a utilizar la tecnología Wi-Fi para la comunicación con la plataforma IoT y Bluetooth para la comunicación entre las tarjetas de desarrollo, debida a las ventajas en la velocidad que tiene para transmitir datos con respecto a las otras tecnologías.

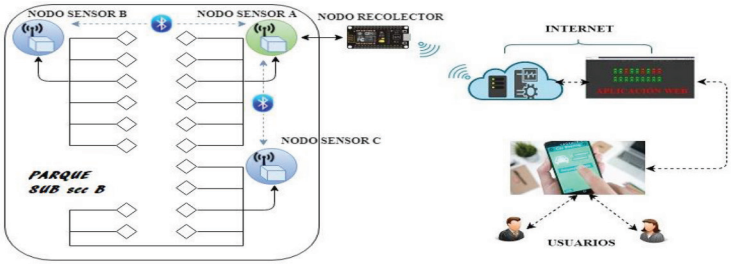


Figura 1 – Esquema de conexión de nodo Sensor

La Figura 2 (izq.) indica el diagrama de bloque del nodo lector compuesto por: el elemento sensor de distancia que se encarga de la adquisición de los datos detectando la presencia o ausencia del objeto; el elemento de procesamiento de datos, una fuente independiente que abastece de alimentación y el bloque de transmisión de datos que usa comunicación serial.

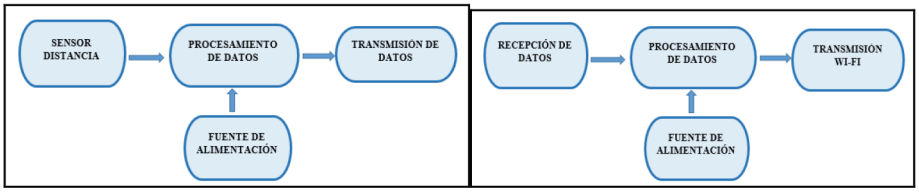


Figura 2 – Diagrama de bloque nodo lector (izq.)- nodo recolector (der.)

En la Figura 2 (der.), se presenta el diagrama de bloque del nodo lector, que comprende los elementos: recepción de datos enviados por el nodo lector, que son procesados y poseen una fuente de alimentación y el bloque de transmisión Wi-Fi; para enviar los datos recolectados en este nodo hacia el servidor que almacena esta información y que el usuario pueda visualizarla en una página web previo al registro.

3.3. Elementos *Software*

Dentro de las principales consideraciones en el diseño para desarrollar el prototipo fue un bajo costo, pero con una eficiente funcionalidad por lo que se optó por el uso de *software* libre, como se describe a continuación:

Xampp (Apache Friends, 2017).- Es un *software* libre de Apache, incluye MySQL, PHP y una variedad de herramientas para realizar distintas aplicaciones web.

Netbeans (Corporation, 2017).- Diseñado para código abierto y de libre distribución para desarrollar aplicaciones web, móviles, y de escritorio en Java.

Arduino IDE ("Getting Started with Arduino Web Editor on Various Platforms - Arduino Project Hub," n.d.), es un *software* libre que trabaja con el lenguaje de programación C++ basado en AVR-GCC, Processing.

Para el sistema de parqueo y su integración en el IoT se contrató un *hosting* - K2s01 (FL - US)- con las siguientes características: 1GB de almacenamiento de disco SSD, 8 GB de ancho de banda, compatibilidad del servidor con versiones estables de Apache, Linux, PHP y MySQL. También, permite la transmisión de datos mediante el protocolo FTP y efectuar copias de seguridad.

En la Figura 4 (izq.), se ilustra el diagrama de flujo para el software desarrollado para el nodo sensor y su funcionamiento en la toma de decisiones. En la Figura 4 (der.) se puede observar cómo trabaja el nodo recolector, funciones y librerías empleadas en el prototipo.

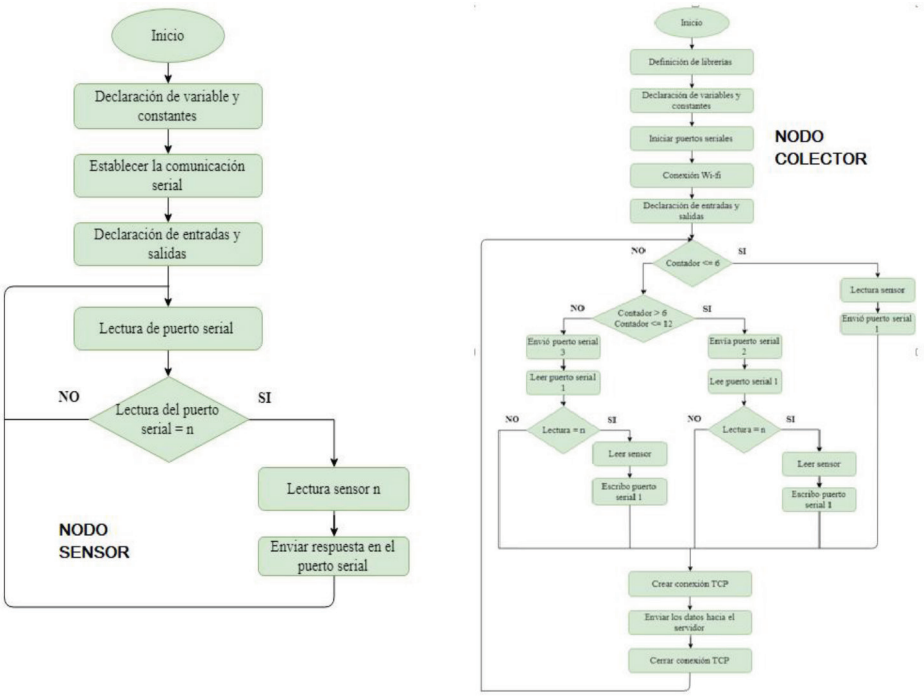


Figura 4 – Diagrama de flujo de nodo Sensor - nodo Recolector

En el lado izquierdo de la Figura 5 correspondiente a la Interfaz Web Sistema Parqueo Inteligente, se visualiza la página web de inicio del sistema de parqueo, al cual se puede acceder desde internet. Consta de diferentes opciones como el campo registro necesario para acceder al sistema al iniciar sesión. Una vez establecida la conexión se puede reservar un aparcamiento del estacionamiento durante un tiempo estimado de espera que no supera los 15 min y que se describe en la tabla 3. En caso de que el usuario no cumpla con este tiempo, para la reservación tendrá un número máximo de intentos estipulados por el administrador.

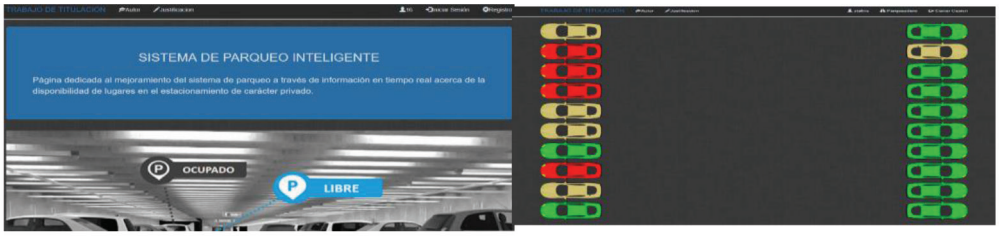


Figura 5 – Interfaz Web Sistema Parqueo Inteligente

En lado derecho de la Figura 5 se presenta por colores el estado del parqueadero en tiempo real. El color amarillo indica aparcamiento reservado, el rojo que está ocupado y el verde que el aparcamiento está libre.

4. Pruebas y Resultados

4.1. Tiempo de espera

Los resultados del tiempo de respuesta entre el servidor (K2s01FL - US) y el sistema se pueden apreciar en la Tabla 3.

No. prueba	Tiempo (ms)	No. prueba	Tiempo (ms)	No. prueba	Tiempo (ms)
1	29500	11	26700	21	23600
2	27000	12	23500	22	23640
3	26300	13	26530	23	25000
4	25100	14	29800	24	21500
5	27900	15	29600	25	27000
6	28600	16	28960	26	28650
7	26400	17	23560	27	29500
8	22000	18	24660	28	23600
9	21400	19	28900	29	21400
10	25900	20	23900	30	29900
				Promedio	**26000**

Tabla 3 – Tiempo de conexión entre servidos (WEB) - Sistema Parqueo Inteligente

De las treinta pruebas realizadas el promedio del tiempo de respuesta entre el servidor y el sistema es de 26000 ms. Lo cual es un tiempo adecuado de espera entre un sistema y el usuario.(“Indicadores clave para aplicaciones móviles – Alan Martinez – Medium,” n.d.)

4.2. Tasa de error

Para saber si el sensor de proximidad estaba evaluando de manera adecuada los resultados se verifica para el error existente en las medidas de distancia del sensor de presencia; se presentan en la Tabla 4, como se puede observar el máximo valor es 1 cm y el mínimo de -1 cm.

No. muestra	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Distancia referencial Flexómetro (cm)	45	60	15	45	45	70	70	60	60	45
Sensor de distancia HC-SR04 (cm)	44	60	16	45	44	69	70	59	60	44
Error absoluto de la distancia (cm)	1	0	-1	0	1	1	0	1	0	1

Tabla 4 – Comparación de errores Distancia Sensor (cm)

Estos datos muestran que hay una leve distorsión con respecto a las medidas tomadas con la unidad Patrón. De las 15 medidas consideradas para determinar la repetividad se obtuvo una media de 44,6, una desviación estándar de 0,51 y con un coeficiente de variación de 1% los datos del sensor HC-SR 04, según DANE para tener una variabilidad mínima el coeficiente de variación debe ser menor a 7%.

4.3. Consumo y tiempo de parqueo vehicular

Para esta prueba se tomaron 10 vehículos los cuales realizaron el aparcamiento en los horarios definidos como de alta demanda: 13:00 a 15:00 y de 18:00 a 20:00, según datos estadísticos del Centro Comercial del Mall de los Andes, con una frecuencia de 7 días de la semana. Los vehículos indistintamente de la marca fueron del tipo Vans de 2 000 cm^3 familiares ya que son los que mayor demanda tienen al ingresar al centro comercial.

Con respecto al tiempo se cronometró el tiempo desde que ingresa el vehículo hasta que encuentra un aparcamiento. Además, se consideró el consumo de gasolina como valor agregado en el ahorro indirecto que tendría el sistema de parqueo Inteligente con sensores IoT.

La medición del consumo de gasolina se lo realizó haciendo una relación entre el número de kilómetros conducidos y la cantidad de gasolina utilizada, es decir:

Consumo de combustible = (kilometraje final - kilometraje inicial) / uso del combustible

Es de recalcar que se debía considerar que los vehículos utilizados para el parqueo tenían igual cilindraje y consumo gasolina similares en los casos revisados (motor de 1600 y 2000 cm^3), además de pedir a los conductores de prueba que evitaran encender el aire acondicionado para no agregar una variable más en el consumo adicional de gasolina. La Tabla 5 muestra esta información promedio de todas las frecuencias.

Vehículo	Horario	Tiempo Promedio Aparcamiento (Minutos)		Consumo Gasolina (litros/km)	
No		**Antes**	**Después**	**Antes**	**Después**
1	12:30 a 15:00	15,5	7,5	1,86	0,9
2		13,3	6,3	1,596	0,756
3		5,7	5	0,684	0,6
4		14,8	7,3	1,776	0,876
5		13,9	5,8	1,668	0,696
6	18:00 a 20:00	16,3	8,3	1,956	0,996
7		11,2	7,5	1,344	0,9
8		8,9	5,3	1,068	0,636
9		14,6	6,9	1,752	0,828
10		23,6	10,6	2,832	1,272
TOTAL		**13,78**	**7,05**	**1,6536**	**0,846**
PORCENTAJE		100%	51,16%	100%	51,16%

Tabla 5 – Consumo Vehicular Inicial

De los resultados mostrados en la tabla anterior se pueden ver una reducción en cuanto al tiempo y consumo de gasolina en un 48,5 % lo que representa una mejora aceptable para implementar este sistema.

4.4. Costos

El costo de implementación del sistema se muestra en la Tabla 6, con el valor de cada dispositivo. Como se puede observar el costo total del sistema de parqueo para 20 vehículos es de $ 1219,40.

5. Conclusiones

El estudio determinó que la transmisión por Bluetooth es adecuada para establecer la comunicación entre nodos y Wi-Fi en la transferencia de datos a la Plataforma IoT; debido a que presenta una interconexión aceptable, con un tiempo media de 94 ms de ida y vuelta y un 0% de pérdidas de paquetes enviados hacia el servidor k2s01 (FL-US) a través del protocolo HTTPS (Rescorla & Schiffman, 1999) del modelo de comunicación dispositivo a internet en tiempo real, mostrando ser un sistema eficiente.

De las pruebas realizadas en el funcionamiento del sistema de parqueo inteligente, éste presentó un error de ± 1 centímetros de distancia en el censado; el tiempo promedio de transferencia de datos entre el sistema y el servidor fue de 26000 ms, y el 1% de la repetividad de datos, determinándolo como como un sistema estable.

El diseño del sistema de parqueo inteligente para 20 vehículos utiliza software libre, el sistema completo tiene un valor total de $ 621, lo que le permite ser un sistema accesible y replicable que junto a los beneficios de disminución de la contaminación ambiental,

Nodo del sistema de parqueo	Dispositivo		Cantidad (unidades)	Costo ($)	Costo Total ($)
Nodo Sensor	Tarjeta de desarrollo Arduino Mega		2	35,00	70,00
	Sensor ultrasónico HC-SR04	18		7,00	126,00
	Fuente de alimentación	2		10,00	20,00
	Modulo Bluetooth	2		15,00	30,00
	Cables de conexión	1		35,00	35,00
	Ensamblaje	1		100,00	100,00
	Bases metálicas	9		10,00	90,00
	Total del Nodo sensor				**471,00**
Nodo Recolector	Tarjeta de desarrollo Arduino Mega		1	35,00	35,00
	NodeMCU Esp 8266	1		15,00	15,00
	Modulo Bluetooth	1		15,00	15,00
	Cables de conexión	1		35,00	35,00
	Ensamblaje	1		50,00	50,00
	Total del Nodo Recolector				**150,00**
Costo de desarrollo	Valor hora de desarrollo de la aplicación móvil (AESOFT,2018)		30	16,42	492,6
Costo de Instalación	Valor Hora instalación de los sensores y sistema (Ministerio Finanzas 2018)		20	5,29	105,8
Costo total del sistema de parqueo					1219,40

Tabla 6 – Presupuesto Sistema Parqueadero Inteligente

descongestión vehicular lo convierte en una aplicación atractiva para implementar parqueaderos inteligentes, que contribuya hacia las ciudades inteligentes.

Referencias

AESOFT. (2018). Costos de desarrollo de aplicaciones móviles. *AESOFT*. Recuperado de https:// https://aesoft.com.ec/

Apache Friends. (2017). *XAMPP Installers and Downloads for Apache Friends*. DOI: 10.2212/spr.2011.1.4

ATMEGA2560pdf,ATMEGA2560description,ATMEGA2560datasheets,ATMEGA2560 view ::: ALLDATASHEET ::: (s.f.). *All Data Sheet*. Recuperado de http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/107092/ATMEL/ATMEGA2560.html

Bessghaier, N., Zargayouna, M., & Balbo, F. (2012). Online localized resource allocation application to urban parking management. *Proceedings - 2012 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, IAT 2012*, *2*, 67–74. DOI: 10.1109/WI-IAT.2012.230

Centro Comercial Mall de los Andes Ambato - Ecuador. (s.f.). *CC Mall de los Andes*. Recuperado de https://malldelosandes.com/

Chou, S. -Y, S. -W Lin, -C. -C. Li. (2017). Smart Parking Reservation System Based on Distributed Multicriteria Approach. *Applied Artificial Intelligence*, *31*(5–6), 518–537. DOI: 10.1080/08839514.2017.1378275

Chou, S. Y., Lin, S. W., & Li, C. C. (2008). Dynamic parking negotiation and guidance using an agent-based platform. *Expert Systems with Applications*, *35*(3), 805–817. DOI: 10.1016/j.eswa.2007.07.042

Corporation, O. (2017). Welcome to NetBeans. *NetBeans*. Recuperado de https://netbeans.org/

ELEC-FREAKS. (2018). Ultrasonic ranging module HC-SR04. *Electric freaks*. Recuperado de www.elecfreaks.com

Ganchev, I., O'Droma, M., & Meere, D. (2008). Intelligent Car Parking Locator Service. *Information Technologies and Knowledge*, *2*, 166–173.

Geng, Y., & Cassandras, C. G. (2011). Dynamic resource allocation in urban settings: A "smart parking" approach. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design*, 1–6. DOI: 10.1109/CACSD.2011.6044566

Getting Started with Arduino Web Editor on Various Platforms - Arduino Project Hub. (s.f.). *Arduino*. Recuperado de https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-on-various-platforms-4b3e4a?f=1

Indicadores clave para aplicaciones móviles – Alan Martinez – Medium. (n.d.). Retrieved January 31, 2019, from https://medium.com/@alanmartinez/https-medium-com-alanmartinez-indicadores-clave-para-aplicaciones-9287d298c20e

ITead Studio. (2010). *HC-05-Bluetooth to Serial Port Module. Datasheet. Electrónica Estudio*. Recuperado de http://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf

Longfei, W., Hong, C., & Yang, L. (2009). Integrating mobile agent with multi-agent system for intelligent parking negotiation and guidance. *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2009*, 1704–1707. DOI: 10.1109/ICIEA.2009.5138486

Lu, R., Lin, X., Zhu, H., & Shen, X. (2009). SPARK: A new VANET-based smart parking scheme for large parking lots. *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 1413–1421. DOI: 10.1109/INFCOM.2009.5062057

Ministerio Finanzas. (2018). Escalas de remuneraciones. *Ministerio de Economía y Finanzas*. Recuperado de https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/ESCALA-DECRETO-135-NIVEL-OPERATIVO.pdf

NodeMcu -- An open-source firmware based on ESP8266 wifi-soc. (s.f.). *NODEMCU*. Recuperado de https://www.nodemcu.com/index_en.html

Organismos estadísticos. (n.d.). Retrieved January 27, 2019, from https://www.dane.gov.co/index.php/acerca-del-dane/informacion-institucional/organismos-estadisticos

Rescorla, E., & Schiffman, A. (1999). *The Secure HyperText Transfer Protocol*. DOI: 10.17487/rfc2660

Rodas, U. (2013). *Diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de una empresa en Lima-Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5425/RODAS_URPI_DISEÑO_RED_INALAMBRICA_SENSORES_EMPRESA_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Rosales, L. (2016). *Diseño e implementación de un parqueo inteligente utilizando arduino yun basado en internet de las cosas (IoT)*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13461/1/UPS-GT001798.pdf

Wang, H. (2011). A Reservation-based Smart Parking System. *Computer Science and Engineering: Theses, Dissertations, and Student Research*, 690–695. DOI: 10.1109/INFCOMW.2011.5928901

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 05/11/2018
Aceitação/Acceptance: 09/01/2019

Word-embedding-based model to improve the customer' shopping experience

Luis Jácome-Galarza[1], Marlon Santiago Viñán-Ludeña[2], Javier Sinche-Freire[3], Jorge Charco-Aguirre[4], Wilson Jaramillo-Sangurima[5]

lrjacome@unl.edu.ec, marlon.vinan@unl.edu.ec, javier.sinche@unl.edu.ec, jorge.charcoa@ug.edu.ec, wijaramillosa@uide.edu.ec

[1,2,3] Universidad Nacional de Loja, 110111, Loja, Ecuador.

[4] Universidad de Guayaquil, 090514, Guayaquil, Ecuador.

[5] Universidad Internacional del Ecuador, 110101, Loja, Ecuador.

Pages:567–580

Abstract: The present work experiments with different techniques in order to build a predictive model that can be able to solve the Kaggle's competition called "Home Depot Product Search Relevance" which is a supervised machine learning problem. We used several Natural Language Processing methods like tokenization, lemmatization, extracting stop words and Mikolov's word2vec among others. We combine these techniques for feature extraction and utilize the Random Forest algorithm for building the regression model. Finally, we use the R open-source software for conducting the experiment. The results indicate that the use of word embeddings gave the best predictor model and can be a useful technique for many NLP applications.

***Keywords*:** word embeddings; NLP; machine learning; regression model.

1. Introduction

Data Science is a powerful new field in technology, in which large amounts of data are transformed into valuable information. This is possible because of the explosion of data from Internet sites that gather information from millions of users all over the world, companies' databases, the increase of capacity of data storage, and the improve of computing processing.

In the other hand, Kaggle (2018) is an online platform where enterprises submit their data problems and data scientists compete for finding the model that bring the best solution. In most of the competitions they show improvements to the existing solutions which points out that, companies will get the desired results.

The Kaggle's "Home Depot Product Search Relevance" is a competition in which data scientists are asked to create a predictive model that could give the relevance of search terms in the Home Depot's web site (2018) and the results provided by the algorithms; this information will be used to find the settings of the search algorithms that improve the user experience in the Home Depot web site.

This work presents a solution for the Kaggle's "Home Depot Product Search Relevance" competition in which the model predicts the relevance of the results of the web site when customers search by products' names, descriptions and attributes. This is a very difficult task for a computer; therefore, a human being has to do it, but there are too many searches, so it is difficult also for humans to perform this activity. We propose a machine learning model to predict the relevance of the customer searches.

2. Theoretical framework

2.1. Data Science

Data Science is the extraction of knowledge from data. It applies the techniques of many fields like Mathematics, Statistics, Information Theory and Information Technology, Probabilistic Models, Machine Learning, Computer Programming, Data Engineering, Forms Recognition, etc. The main goal of Data Science is to build methods for analysis of massive data to extract useful information.

The term "Data Science" was first used in 2001 by William Cleveland in his article "Data Science: An Action Plan for Expanding the Technical Areas of the Field of Statistics". This discipline appears in response of the growing complexity found in databases and the Internet with huge amounts of data available in the world.

2.2. Machine Learning

Machine Learning is a field of the Artificial Intelligence which Arthur Samuel defined in 1959 as "Field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed".

Applications of Machine Learning include perception of their environment (vision, object recognition, natural languages), search engines, medical diagnosis, brain-machine interfaces, fraud detection, financial analysis, games, robot motion, predictive analysis, etc.

2.3. Types of learning

Supervised Learning

If classes are predetermined and the examples are known, the system learns to classify them according to a classification model. An expert has to label the examples and the process is done in two phases. The first phase consists in creating a model of labeled examples (train the model), the second phase (test the model) consists in predicting the class of a new data sample using the model.

Unsupervised learning

Unsupervised learning, also known as clustering, is when the system or the operator does not have the examples neither the labels. The number of classes and their nature are also not determined. The expert is not needed since the algorithm has to discover by itself the structure more or less hidden of the data.

Semi-supervised learning

It could be done in a probabilistic or non-probabilistic way. It's a class of supervised learning that also uses unlabeled data for learning. It usually consists of a few labeled samples and many unlabeled samples.

Natural Language Processing

Natural Language Processing (NLP) is part of the human-computer interactions, it consists the study of interactions between computers and human natural languages. NLP has many research areas like Automatic summarization, Discourse analysis, Machine translation, Morphological segmentation, Named entity recognition, Natural language generation, Natural language understanding, Part-Of-Speech Tagging, Parsing, Sentiment analysis, Speech recognition, Speech segmentation, Word segmentation, Information retrieval, Information extraction, Speech processing.

Tokenization

Tokenization is part of the lexical analysis which consists of the process of breaking a stream of text up into words, phrases, symbols or other meaningful elements called token

Part-Of-Speach Tagger

A Part-Of-Speech Tagger (POS Tagger) is a piece of software that reads a text written in a language and assigns parts of speech (noun, verb, article, etc.) to each word. POS tagging is useful for Information Retrieval, Text of Speech, Word Sense Disambiguation, pre-processing.

Lemmatization

Lemmatization in linguistics consists of grouping together the different inflected forms of a word so they can be analyzed as a single item.

Examples:

The word "worse" has "bad" as its lemma

"Play" is the base form from "playing"

Stemming

Stemming is the process of reducing inflected words to the word stem or base form. For example, if we consider the word "work", it has many inflected variants:

1. work (infinitive, imperative)
2. works (present, 3rd person, singular)
3. work (present, another person and/or plural)
4. worked (simple past, past participle)
5. working (progressive)

Distributed word representations

Bag of Words

The Bag of Words model learns a vocabulary from all documents; after that, it models each document by counting the number of times each word appears. For example, having these 2 sentences:

s1: "The cat sat on the hat"

s2: "The dog ate the cat and the hat"

With the 2 sentences we build the following vocabulary {the, cat, sat, on, hat, dog, ate, and}

To obtain the Bag of Words, it is necessary to count each word in the sentences:

s1: {2, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0}

s2: {3, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1}

N-grams

An N-gram is a sequence of N items that could be letters, words, and phonemes. It is known that certain word or item pairs (triplets, quadruplets, etc.) are likely to occur more often than other pairs. Some examples are the letter Q most of the times is found in words with the letter U as in "queen", "question", "frequent"

Having enough data, it can be computed the frequency distribution of all N-grams found in the data. In the other hand, the permutations increase greatly with N, for example, in English language, having 26 letters, it is possible to form 26^2 letter pairs, 26^3 letter triplets and so on, that's why N is often taken as small number. Google has calculated the word N-gram from its data.

N-grams are very similar to the multi-order Markov model in which the Nth. position depends on the previous N-1 items and can be calculated from a data corpus.

Word Vectors

In its simplest definition, a word vector is a vector of weights. In a simple 1 of N schema, every element in a vector is associated to a word in the vocabulary. Encoding a word is just filling the numbers of the vector, having a number 1 to the place of the word and 0 to all other places. If having only 5 words in the vocabulary like: king, queen, man, woman and child, encoding the word 'queen' is shown in Figure 1.

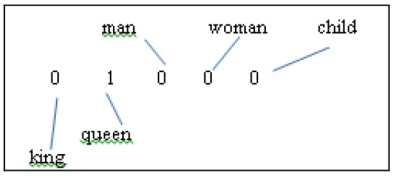


Figure 1 – Encoding the word 'queen' in a vocabulary with 5 words

Word embeddings

Word embeddings is the representation of a word using numbers. Every word or phrase from a vocabulary is mapped in a vector of real numbers in a low-dimensional space.

State of the art

Distributed word representations are a valuable resource for any language. The following papers describe some applications.

Mikolov, Chen, Corrado & Dean (2013) studied the quality of vector representations of words using various models and applying to different syntactic and semantic tasks. They also explain that it is possible to train high quality word vectors using very simple model architectures having much lower computational complexity.

In word2vec, words are represented in a vector that has N dimensions. Each word is represented by weights in the vector, so instead of a 1 to 1 mapping between a value in the vector and a word, the word is represented by all the values in the vector, and each element of the vector contributes to the definition of the word, like shown in Figure 2 (BioMedware, 2014).

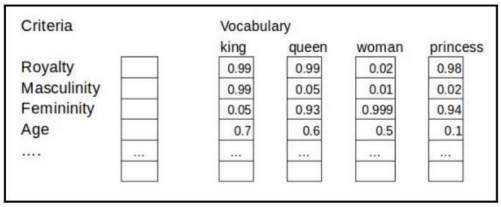


Figure 2 – word2Vec

By examining a large corpus, it's possible to build word vectors that are able to capture the relationships of the words in a very expressive way. These vectors can also be used as input of neural networks.

Vectors are also a very useful tool for answering analogy questions, using a simple vector offset method based on cosine distance. Some examples are:

man is to a woman as uncle is to? ..... aunt

Vector composition also finds relations like:

king – man + woman =? .... Queen

Figure 3 shows examples of Word Vectors.

Bilingual word embeddings are introduced to improve Machine Translation; they help to match the semantic similarities between languages. Experiments are done with English and Chinese languages (W. Y. Zou et al., 2013).

Ruiji Fu et al. (2015) establish Semantic hierarchy constructions using hypernym-hyponym relations ("is a") to build structures of concepts. For example, the words "dog"

and "canine" are connected directly, "canine" is a hypernym of "dog" and "dog" is a hyponym of "canine". They also present a new method for building hierarchy constructions using word embeddings, which are used to measure the semantic relationships between words. The model identifies if a word pair has a hypernym-hyponym using semantic projection based on word embeddings.

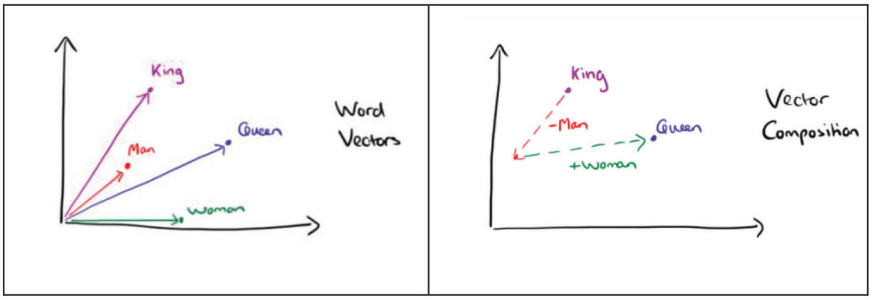


Figure 3 – Word vectors

Chen, Perozzi, Al-Rfou & Skiena (2013) present an analysis of the contribution of word embeddings to Natural Language Processing applications. It remarks its importance for semantic analysis and studies the variation of the number of dimensions and resolution of each dimension in the quality and usefulness of the embeddings. The following tasks have been performed to evaluate different sets of embeddings:

- Sentiment polarity: create sets of words that have positive or negative connotations.
- Noun gender: To compile a list of masculine and negative words. Names that frequently appear with he/she respectively are categorized as masculine/ feminine.
- Plurality: to extract nouns in the singular and plural forms.
- Synonyms and antonyms: extract synonym and antonym pairs.
- Regional spelling: collecting words that differ in spelling, for example between UK English and American English.

Turian, Ratinov & Bengio (2010) present an analysis in which supervised NLP systems' accuracy is improved by using unsupervised word representations. Moreover, combining different word representations can improve accuracy further. Word features can be learned in advance in an unsupervised task. Once learned, word features can be easily shared with other researchers and integrated into supervised NLP applications.

Al-Rfou, Perozzi & Skiena (2013) present a paper in which word embeddings are trained for more than 100 languages using their corresponding Wikipedia; Moreover, it is explained that using word embeddings in conjunction with traditional NLP methods can improve NLP tasks; for this reason and many other applications, distributed word representations are a valuable resource for any language.

Tian et al. (2014) present a work where words with different meaning (polysemous), can be represented by different embedding vectors. However, due to the large

number of parameters to train, this method is not practical. Considering that fact, a probabilistic model is proposed in which the continuous Skip-gram model is integrated with the embedding vectors, as a result, there are less parameters to train and it leads to better results.

Bengio & Heigold (2014) propose a model for Speech Recognition in which words are projected into continuous embedding space where words that sound alike are scored nearby. It is shown that embeddings allow words that are not in the training dictionary have also a score. Table 1 shows some examples of words and their nearest neighbor in the embedding space:

Words	**Neighbors**
Heart	hart, heart's, iheart, hearth, hearted, art
Please	Pleased, pleas, pleases, pleaser, plea
Plug	plugs, plugged, slug, pug, pluck
Chareety	sharity, sharee, cheri, tyree, charice, charities

Table 1 – Words and their nearest neighbor in embedding space

In the work of Chen et al. (2013), the Skip-gram model of Mikolov et al. (2013) is extended by taking visual information into consideration. The model builds word representations using vectors and also is exposed to visual representations of the objects it denotes and must predict linguistic and visual features jointly. Having propagated visual information to words, it has been used to improve image labeling and retrieval.

Guthrie et al. (2006) use the skip-grams when trying to model all possible combinations of words extracted from large text corpus. The results show that skip-grams are valuable to model context; moreover, the use of skip-grams is explained to be a better option than increasing the size of text corpus that would require more computing processing.

Ren, Kiros & Zemel (2015) present a work about neural networks and visual semantic embeddings to predict answers to simple questions about images. They also present a question generation algorithm which converts image descriptions into Question-Answer form.

Peter Young, Alice Lai & Micah Hodosh (2014) use visual denotations of linguistic expressions to define denotational similarity metrics. To compute denotational similarities, they construct a denotation graph -a subSumption hierarchy over constituents and their denotations, based on a large corpus of 30K images and 150K descriptive captions-.

Malinowski & Fritz (2014) propose a method for answering questions about images by bringing together recent advances from NLP and computer vision. They combine discrete reasoning with uncertain predictions by a multi-world approach that represents uncertainty about the perceived world in a Bayesian framework. The system is trained from question-answer pairs.

3. Materials and methods

As we explained before, Home Depot retailer needs a predicting model that gives the relevance of results when a customer searches for a product in its web site in order to adjust their search algorithms and get a better user experience. So far, this task is conducted manually and takes a lot of time which is not practical. For doing this; testers compare the search term of the customer with the results that the web site gave to the customer. This comparison is recorded from 1 when the results are least relevant, to 3 when the results are very relevant. In Figure 4 we can see an example of this process.

id	product_uid	product_title	search_term	relevance
2	100001	Simpson Strong-Tie 12-Gauge Angle	angle bracket	3
3	100001	Simpson Strong-Tie 12-Gauge Angle	l bracket	2.5
9	100002	BEHR Premium Textured DeckOver 1-gal. #SC-141 Tugboat Wood and Concrete Coating	deck over	3
16	100005	Delta Vero 1-Handle Shower Only Faucet Trim Kit in Chrome (Valve Not Included)	rain shower head	2.33
17	100005	Delta Vero 1-Handle Shower Only Faucet Trim Kit in Chrome (Valve Not Included)	shower only faucet	2.67
18	100006	Whirlpool 1.9 cu. ft. Over the Range Convection Microwave in Stainless Steel with Sensor Cooking	convection otr	3

Figure 4 – Example of relevance of search_term vs. products got by the search algorithm

We can notice that this is a supervised learning problem in which we give the model the labeled data (like Figure 4) and the model learns from it. After the training process, the model will be able to generalize for new cases.

In order to build the predictive model, some steps have to be taken. First of all, a data pre-processing step is necessary to prepare and clean the data. After that, a Feature Extraction step will be conducted in which we will get the most relevant features that can be applied in a regression algorithm, since regression algorithms need numerical data, it is necessary to generate numerical features from the text attributes. The next step



Figure 5 – Prediction model overview

is to apply a regression algorithm to the numerical features; in this step we obtain the relevance of text fields. Finally, we will use an error metric in order to get the accuracy of the predicting model. Figure 5 describes the methodology used in the present project.

3.1. Datasets descriptions

Table 2 describes the csv files that were available for doing the prediction. Table 3 describes the fields that we can find in those csv files.

The train.csv file contains labeled data that we can use to build and train the model. In the other hand the test.csv file contains pairs of products ids and their respective search terms; the goal is to predict the relevance field for this dataset.

File Name	Description
train.csv	The training dataset, it contains products ids, search terms and relevance value.
test.csv	It is the test dataset, it contains products ids, search terms, but the relevance of search has to be predicted.
product_descriptions.csv	It contains descriptive text for each product. Using the product_id it is possible to link this dataset with train.csv and test.csv.
attributes.csv	It provides additional information about a subset of products (typically technical details), not every product has these attributes.
sample_submission.csv	This file shows the right format for submission.

Table 2 – Description of the csv files

Field	Description
id	A unique field identifier that represents a pair search_term/product_uid.
product_uid	The identifier of the products.
product_title	The title of the product.
product_description	The description of the product, (it could contain HTML content).
search_term	The search term typed by users.
relevance	It is the average of relevance evaluation for a pair search_term/product.
name	The name of the attribute. (attributes.csv)
value	The value of the attribute. (attributes.csv)

Table 3 – Description of fields found in the csv files

3.2. Data Preprocessing

One of the most important steps is data preprocessing; Table 4 describes all the steps necessary to prepare the data before building the prediction model.

Preprocessing Step	Description
Case conversion	The tolower() function converts text to lower case
Tokenization	NLP packages blankline_tokenizer(): the separator are any blank lines. whitespace_tokenizer(): the whitespace is the separator. wordpunct_tokenizer(): tokenizes by finding patterns of sequence of alphabetic characters and sequences of non-alphabetic characters (non-whitespaces).
Remove stop words	stopwords('english')
Exclude punctuation marks	Exclude symbols like: , . ( ) - ; [ ] / + # % $ * = ' ?
Remove repeated words	We use the package "stringr" of R language
Lemmatizing	We use the ixa-pipe.pos which is a NLP tool for several languages

Table 4 – Description of fields found in the csv files

3.3. Feature extraction

Before using any prediction method, it is necessary to generate numerical values from the text values of the fields of the dataset.

We use the overlap method which is the number of words in the search terms that are found in the attributes of the product divided by the length of the search query. Figure 6 describes the overlap method.

$$\text{Overlap} = \frac{\text{Words in "search query" found in "product's attribute"}}{\text{length of the search query}}$$

Figure 6 – Overlap method

In Table 5 we can find the predictive features that we use for the experiment.

3.4. Regression

Once we had the numerical features, we use the Random Forest algorithm to make the predictions. With Random Forest we have to find the parameters that give the best results, which are the number of trees and the number of feature variables that the algorithm has to choose randomly in order to make the predictions. The experiments were conducted with 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 and 10 feature variables and 400, 500, 600, 700 trees.

We implemented the algorithm in R language with the random forest package and we use the train.csv dataset to train the model. Finally, we use the test.csv dataset to see the accuracy of the model. The predictive model gives the relevance column for the test.csv dataset.

Predictive feature	Description
F1	Overlap (search_terms, descriptionOfProduct)
F2	Overlap (search_terms, titleOfProduct)
F3	Overlap (search_terms, BrandOfProduct)
F4	Overlap (search_terms, MaterialOfProduct)
F5	Overlap (search_terms, OthersAttributesOfProduct)
F6	Overlap (lemmaOf Search_terms, lemmaOfDescriptionOfProduct)
F7	Overlap (lemmaOf Search_terms, lemmaOfTitleOfProduct)
F8	Overlap (lemmaOf Search_terms, lemmaOfBrandOfProduct)
F9	Overlap (lemmaOf Search_terms, lemmaOfMaterialsOfProduct)
F10	Overlap (lemmaOf Search_terms, lemmaOfOtherAttributesOfProduct)
F11	cosine_similarity(embeddingOfSearch_terms, embeddingOfProductDescription)
F12	cosine_similarity (embeddingOfSearch_terms, embeddingOfTitleOfProduct)
F13	cosine_similarity (embeddingOfSearch_terms, embeddingOfBrandOfProduct)
F14	cosine_similarity (embeddingOfSearch_terms, embeddingOfMaterialOfProduct)
F15	cosine_similarity (embeddingOfSearch_terms, embeddingOfOtherAttributesOfProduct)

Table 5 – Predictive features

4. Results

In order to measure the error rate of the model, we use the Root Mean Squared Error (RMSE) metric that is largely used for numerical predictions. Figure 7 shows the formula of RMSE.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Figure 7 – Formula of the Root Mean Squared Error

The following line of code gets the RMSE metric using the R language

RMSE <- sqrt(mean((y-y_pred)^2))

Where y is a vector that has the real values of the relevance field, and the y_pred is a vector that has the predicted values of the relevance. The variable n is the number of instances in the dataset.

To evaluate the results using different scenarios, we wrote a script in which the parameters of the Random Forest algorithm are changed (number of variables, number of trees).

In order to compare the NLP techniques we designed 5 experiments in which we included or not the different NLP techniques. In Figure 8 we can see that the best results

(lowest error) are obtained in experiment 5 where the cosine similarity of words (word embedding) is used.

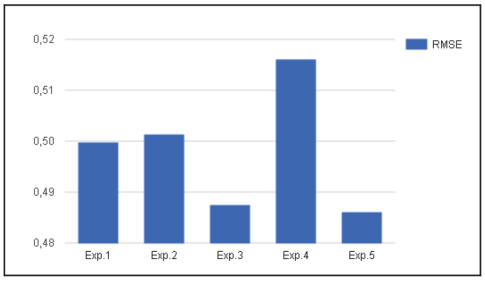


Figure 8 – Results of getting the RMSE in the 5 experiments

Where

Exp.1 = Overlap of words (Features F1 to F5)

Exp.2 = Overlap of lemmas of words (Features F6 to F10)

Exp.3 = Overlap of words + Overlap of lemmas of words (Features F1 to F10)

Exp.4 = Cosine similarity of word embeddings (Features F11 to F15)

Exp.5 = Overlap of words + Overlap of lemmas of words + Cosine similarity of word embeddings (Features F1 to F15)

5. Conclusions

Word embedding constitutes an important research area for Natural Language Processing applications. In this work, it helped to improve the results of our supervised machine learning predicting model. Word2vec is a promising technology that can improve Natural Language applications like sentiment analysis, word prediction, translation, etc. It helps to describe syntactic and semantic relationships between words and phrases in a simple way; however, it needs a lot of computing power.

In the other hand, for building the machine learning predicting model we needed to do an extensive pre-processing work which included generating numerical features out of text fields and utilizing Natural Language Processing methods like tokenization, lemmatization, stop words, etc. Finally, we used the random forest algorithm to perform the regression task and we used the R language for conducting the experiment.

As future work, we plan to extend this study in combination with recommender systems to further improvement of the user experience; in addition, we want to test word embedding in other areas like marketing and online consumption.

References

Al-Rfou, R., Perozzi, B., & Skiena, S. (2013). Polyglot: Distributed Word Representations for Multilingual NLP. *Cornell University*. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1307.1662

Bengio, S., & Heigold, G. (2014). Word Embeddings for Speech Recognition. *Google AI*. Retrieved from https://ai.google/research/pubs/pub42543

BioMedware. (2014). BioMedware SpaceStat Help - About Aspatial Linear Regression. *BioMedware StatSpace*. Retrieved from https://www.biomedware.com/files/documentation/spacestat/Statistics/Multivariate_Modeling/Regression/About_Aspatial_Linear_Regression.htm

Chen, Y., Perozzi, B., Al-Rfou, R., & Skiena, S. (2013). The Expressive Power of Word Embeddings. *Cornell University*. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1301.3226

Guthrie, D., Guthrie, D., Allison, B., Liu, W., Guthrie, L., & Wilks, Y. (2006). A Closer Look at Skip-gram Modelling. *PennState University*. Retrieved from http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.62.4714

Home Depot. (2018). Home Depot. *Home Depot*. Retrieved from http://www.homedepot.com/

Kaggle. (2018). Kaggle: Your Home for Data Science. *Kaggle*. Retrieved from https://www.kaggle.com/

Malinowski, M., & Fritz, M. (2014). A Multi-World Approach to Question Answering about Real-World Scenes based on Uncertain Input. *Cornell University*. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1410.0210

Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. *Cornell University*. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1301.3781

Peter Young, Alice Lai, Micah Hodosh, J. H. (2014). *F*rom image descriptions to visual denotations: New similarity metrics for semantic inference over event descriptions. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, *2*. Retrieved from https://transacl.org/ojs/index.php/tacl/article/view/229

Ren, M., Kiros, R., & Zemel, R. (2015). Exploring Models and Data for Image Question Answering. *Cornell University*. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1505.02074

Ruiji Fu, R., Jiang Guo, J., Bing Qin, B., Wanxiang Che, W., Haifeng Wang, H., Ting Liu, T., … Liu, T. (2015). Learning Semantic Hierarchies: A Continuous Vector Space Approach. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, *23*(3), 461–471. DOI: 10.1109/TASLP.2014.2377580

Tian, F., Dai, H., Bian, J., Gao, B., Zhang, R., Chen, E., & Liu, T.-Y. (2014). A Probabilistic Model for Learning Multi-Prototype Word Embeddings. *Proceedings of COLING 2014, the 25th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers*, 151–160. Retrieved from https://aclanthology.info/papers/C14-1016/c14-1016

Turian, J., Ratinov, L.-A., & Bengio, Y. (2010). Word Representations: A Simple and General Method for Semi-Supervised Learning. *Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 384–394. Retrieved from https://aclanthology.info/papers/P10-1040/p10-1040

Zou, W. Y., Socher, R., Cer, D., & Manning, C. D. (2013). Bilingual wordembeddings for phrase-based machine translation. *Paper presented at the EMNLP 2013 - 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference,* 1393-1398. Retrieved from www.scopus.com

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 01/12/2018
Aceitação/Acceptance: 07/02/2019

Modelo matemático basado en programación lineal y lógica difusa para predicción de tiempos en industrias de ensamble de bicicletas

Pedro Rodas D.[1], Rodrigo Guamán[2], Eliezer Colina Morles[3], Mario Peña[4], Lorena Siguenza-Guzmán[5]

pedro.rodas@ucuenca.edu.ec, rodrigo.guaman@ucuenca.edu.ec, eliezer.colina@ucuenca.edu.ec, mario.penao@ucuenca.edu.ec, lorena.siguenza@ucuenca.edu.ec

[1,2,3,4,5] Universidad de Cuenca, 010203, Cuenca, Ecuador.

Pages:581–594

Resumen: En la industria de ensamblaje se presentan altos grados de incertidumbre al identificar problemas operacionales, debido a limitados recursos y al control ineficiente de producción. Centrándose en el ensamble de bicicletas, este artículo presenta un modelo que combina programación lineal y lógica difusa para obtener tiempos estándar asociados a la producción de bicicletas. La minimización de la función objetivo se la realizó a través de Excel "Solver", y su formulación involucró la identificación de variables, restricciones, parámetros constantes, condiciones de trabajo y tasas de producción. Los tiempos obtenidos del modelo de programación lineal ingresan como variables en el modelo de lógica difusa, para dar como resultado tiempos estándar. Este estudio permite una identificación del estado actual del proceso productivo, obteniendo el máximo beneficio en recursos operativos y condiciones de trabajo. Además, el modelo mejora la toma de decisiones a través de un control de incertidumbre en la planificación de la producción.

Palabras-clave: función de pertenencia; lógica difusa; programación lineal; reglas difusas; tiempo estándar.

Mathematical model based on linear programming and fuzzy logic for time prediction in bicycle assembly industries

Abstract: In the assembly industry, there is a high degree of uncertainty when identifying operational problems, due to limited resources and inefficient production control. Focusing on the assembly of bicycles, this article presents a model that combines linear programming and fuzzy logic to obtain standard times associated with the production lines of bicycles. The tool used for minimizing the objective function was Excel "Solver", and its formulation involved the identification of variables, restrictions, constant parameters, working conditions and production rates. The times obtained from the linear programming model entered as variables in the fuzzy logic model, to yield standard times estimates. This study allows an identification of the current state of the productive process, obtaining the maximum

benefit in operative resources and working conditions. In addition, the model improves decision making through uncertainty control in production planning.

***Keywords**:* fuzzy logic; fuzzy rules; linear programming; membership function; standard time.

1. Introducción

La gestión en la organización direcciona la utilización de recursos para minimizar costos, lo que resalta la importancia de la medición del trabajo en los pilares económico, social, organizacional y productivo (Cáceres Cárdenas et al., 2015). Frecuentemente, en el pilar productivo, las empresas ensambladoras buscan eliminar tareas innecesarias con el fin de simplificar y combinar operaciones. Esto conlleva a la realización de mediciones para incrementar la eficiencia y establecer estándares en métodos, materiales, herramientas y equipos de trabajo (Wu, Zhao & Tong, 2018).

Para el cálculo de estándares en producción existen técnicas básicas que reflejan la medición del trabajo. Estas técnicas están divididas en métodos de observación directa y de observación indirecta. En los métodos directos, se utiliza un cronómetro para medir los tiempos y muestreo del trabajo, lo que conduce a registros de las observaciones aleatorias de la persona. Los métodos indirectos, se formulan a través de sistemas de datos predeterminados de tiempos y movimientos (Chase, Jacobs y Alquilano, 2009), utilizados especialmente para trabajos repetitivos sumamente detallados. Por otra parte, la incertidumbre al realizar un estudio de tiempos surge de la variabilidad de los datos y de la subjetividad humana, que conduce a imprecisiones al observar o medir valores de una variable, tanto por parte del instrumento de medida como por parte del observador que la realiza (Zohoori et al., 2019). El enfoque en la subjetividad humana se ha direccionado en el estudio de un campo de análisis de decisión como es la toma de decisiones difusas, la cual incorpora la imprecisión en la formulación de modelos y procesos de solución (Silva, 2018).

Este estudio plantea una formulación matemática, aplicando programación lineal clásica, que permita estimar tiempos máximos y mínimos, enlazando variables y restricciones, para luego introducir los mismos en un modelo difuso, basado en reglas de "Mamdani", e implantarlo usando la herramienta "Fuzzy Logic" de MatLab. El modelo de programación lineal clásica se basó en la minimización de una función objetivo que involucra: variables de calificación ponderada del operario, parámetros constantes, restricciones cómo SET-UP y tiempos de "Confiabilidad".

2. Materiales y métodos

Esta sección describe la metodología utilizada en el caso de estudio e incluye tres nociones básicas: obtención del tiempo estándar, basándose en el método del cronómetro; programación lineal clásica y lógica difusa con reglas tipo Mamdani.

2.1. Caso de estudio

El caso de estudio fue una planta ensambladora de bicicletas con un portafolio de 12 modelos diferentes, identificados como: 1A, 1B, 2A, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 3G, 3H y

4A. El área productiva está dividida en subprocesos y se dispone de 15 datos (tiempos) levantados mediante el método del cronómetro por Castro et al. (2019).

En el levantamiento se consideró lo siguiente: 1) tiempos máximos y mínimos de cada subproceso; 2) plan de producción de 500 unidades por modelo; 3) turno de trabajo de cinco días a la semana. La Tabla 1 presenta el número de operarios y los períodos de cumplimiento de producción planificada; 4) tiempos de preparación de materiales, transporte y, en algunos casos, calibraciones y cambios de matriz de las máquinas en cada subproceso; y, 5) el hecho de que en los subprocesos de "Armado de llantas" y "Armado de timón", los operarios trabajaban por lotes, para luego ensamblar componentes en la línea de bicicletas.

2.2. Metodología

El análisis de los procesos se lo realizó estudiando previamente los diagramas de procesos (DPO) con la finalidad de reducir deficiencias en producción, y mejorar la distribución de los equipos y áreas donde se realizaban las actividades. Otra herramienta utilizada fue el diagrama del proceso de recorrido (DPR) que permitió ver la trayectoria de un producto por las diferentes etapas de manufactura y ensamble. Para el cálculo del tiempo estándar por cronómetro se siguió la metodología propuesta por García Criollo (1998), que describe la medición del trabajo en busca de establecer tiempos que sirvan de modelo para su ejecución.

Subproceso	**Límite de días para cada subproceso**	**N° Operarios**
Corte	½	1
Conformado	1	2
Suelda	3	12
Pintura	3	2
Armado de cuadro completo y trinche	3	3
Armado de las llantas	3	5
Armado del timón	2	1
Ensamble de accesorios	3	3
Armado de la montura	2	1
Ensamble de la montura y almacenaje de producto terminado	1	1

Tabla 1 – Número de operarios y límite de días por subproceso (Castro et al., 2019)

2.3. Tiempo estándar por cronómetro

El cálculo del tiempo medio observado, "TMO", es con base al número calculado de observaciones (x_i), tal como aparece en la ecuación 1.

$$\text{TMO} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (1)$$

El número de observaciones “N” para el cálculo del tiempo normal está dado por la fórmula estadística de la ecuación 2 (Niebel & Freivalds, 2009).

$$N = \left(\frac{K*\sigma}{\bar{x}*e}\right)^2 + 1 \quad (2)$$

Donde:

N= número de mediciones.
e= error expresado en forma decimal.
$\bar{x}$ = la media aritmética de los tiempos de reloj.
σ = desviación típica.
K = coeficiente de riesgo (Niebel & Freivalds, 2009).

El número necesario de observaciones se obtiene con un tiempo de reloj representativo de un porcentaje de error (e%) y un porcentaje dado de riesgo (R%), al cual le corresponde un valor de coeficiente de riesgo K en la forma siguiente:

K = 1 para riesgo (R) de error de 32%.
K = 2 para riesgo (R) de error de 5%.
K = 3 para riesgo (R) de error de 0.3%.

Por otro parte, la desviación típica "σ""σ" de los tiempos de reloj se presenta en la ecuación 3.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} f(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

Donde,

x_i= los valores obtenidos de los tiempos de reloj.
$\bar{x}$ = la media aritmética de los tiempos de reloj.
n= frecuencia de cada tiempo de reloj tomado.

Dado que existen casos que poseen tiempos altos, como la preparación de materia prima, transporte, calibraciones y cambios de matriz de cada subproceso, el número de observaciones fue calculado según la tabla General Electric (García Criollo, 1998).

Para el cálculo del tiempo promedio observado, “$\overline{TO}$", se realiza una sumatoria de las lecturas de cada actividad dividida entre el número de lecturas consideradas, tal como lo sugiere la ecuación 4 (Niebel y Freivalds, 2009).

$$\overline{TO} = \frac{\sum_{i=1}^{n} TO_i}{n} \quad (4)$$

El tiempo normal, “TN”, se calculó por medio del producto entre el tiempo promedio y un factor de valoración asociado con la actuación de las personas que realicen la actividad, según lo especificado en la ecuación 5.

$$TN = \overline{TO} * \text{Factor de valoración} \quad (5)$$

Finalmente, para el cálculo del tiempo estándar, "TE", se calificó primero los denominados suplementos, tanto constantes como variables, tal como aparece descrito en García Criollo (1998), utilizando la ecuación 6.

$$TE = TN + \%SUPLEMENTOS \quad (6)$$

2.4. Programación lineal

La programación matemática es usada en tareas de toma de decisiones que involucran la optimización de variables. En el caso de problemas de programación lineal, corrientemente se formula la optimización de una función objetivo lineal sujeta a un conjunto de restricciones dadas por ecuaciones lineales. Para la construcción del modelo de optimización se establecen cuatro aspectos: 1.- descripción del conjunto de datos; 2.- identificación del conjunto de variables involucradas; 3.- definición del conjunto de restricciones lineales y criterios de decisión; y, 4.- definición de la función objetivo a ser optimizada.

En los problemas de programación lineal se establece una condición de no negatividad de las variables involucradas. Adicionalmente, los métodos de solución operan convirtiendo las restricciones de desigualdad en igualdades. En general, el modelo de programación lineal consistente en elegir valores de x_1, x_2, ..., x_n para la maximización de la función como la descrita en la ecuación 7:

$$Max\ Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \quad (7)$$

sujeto a restricciones como las presentadas por las ecuaciones 8-10 y a restricciones de no negatividad como las presentadas en 11.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (8)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (9)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (10)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_n \geq 0 \quad (11)$$

Donde:

x_i= Variable de decisión.
j = Nivel de actividad.
Z = Medida de efectividad global seleccionada (función objetivo).
c_i = Incremento que resulta en Z por cada incremento unitario en x_i.
b_i= Cantidad disponible de recurso i (parámetro del modelo).

a_{ij}= Cantidad disponible de recurso *i* que consume en cada una de las actividades de *j* (parámetro del modelo).

2.5. Lógica difusa

La lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial que permite resolver problemas donde está presente un grado alto de incertidumbre (García Enríquez et al., 2008). La modelación de sistemas mediante reglas difusas del tipo "Mamdani", permite la representación lingüística de procesos complejos usando sentencias gramaticales sencillas (García Enríquez et al., 2008; Soriano Méndez, et al., 2000; Unuigbe et al., 2016). La representación de sistemas mediante reglas difusas del tipo "Mamdani" es expresada en términos del sentido común y puede ser definida como un sistema interpretativo matemático, en el cual los elementos están relacionados con un conjunto no definido, y a estos conjuntos se les otorgará una función de pertenencia relativa (Unuigbe et al., 2016).

La herramienta "Fuzzy Logic" de MatLab fue utilizada para realizar el procesamiento del modelo difuso propuesto. Previo al procesamiento, fue necesario realizar la "Fuzzificación" de las variables, con el objeto de establecer una relación entre las variables numéricas y las funciones de pertenencia asociadas a las mismas en un dominio conocido. La Tabla 2 corresponde a la base de conocimiento e incluye las variables difusas de entrada y salida del modelo difuso. Las funciones de pertenencia pueden ser definidas de varias maneras, como trapezoidales, triangulares, singleton, entre otras. Para el modelo formulado tipo Mamdani se usa la forma del tipo trimf, que dependen de parámetros escalares (a, b, c, ..., n) para obtener una forma triangular (Bouza y Alimenti, 2010; Kouro y Musalem, 2002; Soriano Méndez et al., 2000). La ecuación 12 presenta la forma tipo triangular (trimf).

$$f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0 \text{ cuando } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} \text{ cuando } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} \text{ cuando } b \leq x \leq c \\ 0 \text{ cuando } c \leq x \end{cases} \quad (12)$$

		Tmax		
		$\text{Tpequeño}_{\text{máx}}$	$\text{Tmedio}_{\text{máx}}$	$\text{Tgrande}_{\text{máx}}$
Tmin	$\text{Tpequeño}_{\text{min}}$	**TEstándar**$_{\text{muy pequeño}}$	**TEstándar**$_{\text{pequeño}}$	**TEstándar**$_{\text{medio}}$
	$\text{Tmedio}_{\text{min}}$	**TEstándar**$_{\text{pequeño}}$	**TEstándar**$_{\text{medio}}$	**TEstándar**$_{\text{grande}}$
	$\text{Tgrande}_{\text{min}}$	**TEstándar**$_{\text{medio}}$	**TEstándar**$_{\text{grande}}$	**TEstándar**$_{\text{muy grande}}$

Tabla 2 – Base de conocimiento del modelo lógico difuso

Con las variables "Fuzzificadas", se establecen relaciones lógicas expresadas en forma lingüística. Los modelos de lógica difusa usan reglas combinando uno o más conjuntos difusos. Los conjuntos de entrada son llamados antecedentes, a los que se les asocian conjuntos difusos de salida llamados consecuentes. La regla se basa en operaciones sencillas de inferencia lógica, con las que se describe el comportamiento del sistema

usando conectores lingüísticos del tipo SI, Y, ENTONCES. Los conjuntos difusos del antecedente se asocian mediante operaciones lógicas difusas del tipo Y u O (Soriano Méndez et al., 2000; Urrutia y Sernaque, 2014). La "aritmética difusa" incluye operaciones básicas de unión, intersección y negación, aplicadas sobre conjuntos difusos (Soriano Méndez et al., 2000; Urrutia y Sernaque, 2014).

El método de "Defuzzificación" es la etapa final del procesamiento lógico difuso, que permite convertir un conjunto difuso en un número real. El proceso es posterior a la realización de la inferencia difusa, que en este caso, está basada en el método de Mamdani por mínimos (Cardona, Hoyos & Ruiz, 2009).

3. Modelo de programación lineal

El modelo de programación lineal clásico se amoldó al caso de estudio con el propósito de tener un escenario real de la producción de bicicletas. La función objetivo permitió obtener los tiempos estándar mínimo y máximo. En la selección de las variables, se consideró el comportamiento del personal en cada subproceso.

3.1. Declaración de variables

Las variables se definieron de acuerdo al entorno donde está involucrado el operario, según el subproceso *i*. Las variables que se disponen son las siguientes: $\varphi\varphi$= Factor de ponderación del operario en el subproceso *i*. $\omega\omega$= Número de fallas por operario en el subproceso *i*. Para el factor de ponderación del operario se consideró los siguientes parámetros (Berrocal Berrocal, 2016): 1.-tiempo de adaptación al puesto de trabajo; 2.-experiencia previa; 3.-responsabilidad por errores; y, 4.-toma de decisiones al momento de realizar alguna actividad.

3.2. Definición de parámetros constantes

En la formulación del modelo, se consideraron constantes los siguientes parámetros: CPL = Cantidad de producción planificada; NPRi = Número de personas requeridas en el subproceso i; DL = Días laborales; HEsp = Cantidad de horas estándar por subproceso i; TMini = Tiempo mínimo en el subproceso i; TMaxi = Tiempo máximo en el subproceso i; TSPi = SET – UP en el subproceso i; % Rdi= Rendimiento del operario en el subproceso i; y, $\delta_i\delta_i$= Número de fallas en el subproceso i. El desempeño del operario fue calculado de acuerdo al cociente entre la producción real y la capacidad productiva, para cada subproceso, dado por la ecuación 13 (Montero Vega et al., 2013).

$$\mathrm{Rd}_i = \frac{\text{Producción real}}{\text{Capacidad productiva}_i} \tag{13}$$

3.3. Restricciones

Las restricciones se plantearon de manera matemática de acuerdo a las limitaciones de la producción de bicicletas. Las restricciones para el estudio fueron las siguientes: capacidad–empleado, descrita por la ecuación 14, rendimiento laboral, modelado por las ecuaciones 15 y 16, e inventario por subproceso, dado por la ecuación 17.

$$\sum_{i=1}^{n}\left(DL * NP_{Ri} * \left(\frac{1}{HE_{spi}}\right)\right) = CPL \quad (14)$$

$$Producción\ Real \leq (CPL - \#fallas) * \%Rd \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{n} Factor\ de\ ponderación_i \leq 100\% \quad (16)$$

$$DL \leq Días\ cumplimiento\ i \quad (17)$$

Una vez planteadas las variables, parámetros constantes y restricciones de la función, se minimizó la función objetivo, según la relación operario–tiempo máximo y tiempo mínimo de cada subproceso, según las ecuaciones 18 y 19. A su vez el cálculo de la confiabilidad, fue expresado según las ecuaciones 20 y 21.

$$Min\,T_e = \sum_{i=1}^{n}(Tmin_{Ei} * \varphi_i) + \sum_{i=1}^{n}(Tmin_{Ei})/\delta_i + \sum_{i=1}^{n} TST_i \quad (18)$$

$$Min\,T_e = \sum_{i=1}^{n}(Tmax_{Ei} * \varphi_i) + \sum_{i=1}^{n}(Tmax_{Ei})/\delta_i + \sum_{i=1}^{n} TST_i \quad (19)$$

$$\omega = \left(\sum_{i=1}^{n} Tiempo\ min_i\right)/\delta \quad (20)$$

$$\omega = \left(\sum_{i=1}^{n} Tiempo\ max_i\right)/\delta \quad (21)$$

La solución del modelo matemático con programación lineal fue realizada en el complemento de Microsoft Excel "Solver", con el cual la función objetivo fue minimizada en relación al tiempo, por medio del método de resolución "Simplex LP". En la Tabla 3, se presenta un cuadro resumen de los tiempos estándar mínimos y máximos por modelo de bicicleta. Cabe mencionar que los márgenes de los tiempos estándar mínimos y máximos varían en cada modelo de bicicleta, debido a los tiempos de "set-up" de cada subproceso.

4. Modelo de lógica difusa basado en reglas de Mamdani

Para implementar el modelo lógico difuso para los tipos de bicicletas se utilizó la herramienta "Fuzzy Logic" de MATLAB, usando los valores de las variables de entrada Tmax y Tmin dados en la Tabla 3. La construcción del modelo siguió la secuencia descrita en el diagrama de la Figura 1. Se emplearon tres conjuntos difusos para caracterizar cada variable de entrada y cinco conjuntos difusos para la variable de salida (TEstandar). El modelo tipo "Mamdani" consistió de nueve reglas con la estructura SI-ENTONCES, como se presenta en la Tabla 4. Los universos de discurso asociados a los conjuntos difusos de las variables aparecen en la Tabla 5, para cada tipo de bicicleta.

Modelo de bicicleta (propuesto)	Tiempo estándar mínimo (min)	Tiempo estándar máximo (min)
Modelo bicicleta 1A	384,43	392,92
Modelo bicicleta 1B	324,62	335,29
Modelo bicicleta 2A	371,41	382,65
Modelo bicicleta 3A	420,17	432,04
Modelo bicicleta 3B	458,08	473,27
Modelo bicicleta 3D	402,47	417,05
Modelo bicicleta 3D	455,13	471,88
Modelo bicicleta 3E	376,60	392,39
Modelo bicicleta 3F	490,39	532,57
Modelo bicicleta 3G	486,18	532,92
Modelo bicicleta 3H	438,50	445,49
Modelo bicicleta 4ª	325,95	333,38

Tabla 3 – Cuadro resumen – Tiempos estándar mínimos y máximos

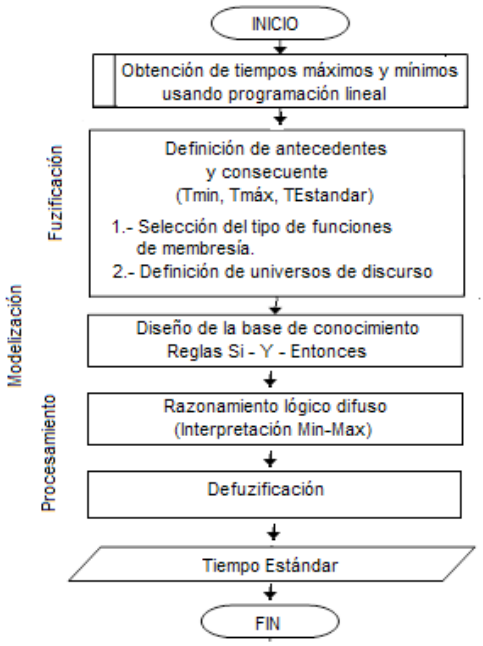


Figura 1 – Diagrama de construcción del modelo lógico difuso

	Reglas de Mamdani
1	*If (Tmin is Tpq) and (TMax is Tpq) then (TEstandar is TEmpq)(1)*
2	*If (Tmin is Tpq) and (TMax is Tm) then (TEstandar is TEpq)(1)*
3	*If (Tmin is Tpq) and (TMax is Tpq) then (TEstandar is TEmpq)(1)*
4	*If (Tmin is Tm) and (TMax is Tpq) then (TEstandar is TEpq)(1)*
5	*If (Tmin is Tm) and (TMax is Tm) then (TEstandar is TEm)(1)*
6	*If (Tmin is Tm) and (TMax is Tg) then (TEstandar is TEg)(1)*
7	*If (Tmin is Tg) and (TMax is Tpq) then (TEstandar is TEm)(1)*
8	*If (Tmin is Tg) and (TMax is Tm) then (TEstandar is TEg)(1)*
9	*If (Tmin is Tg) and (TMax is Tg) then (TEstandar is TEmg)(1)*

Tabla 4 – Reglas "Mamdani" utilizadas en el caso de estudio

	TMin			TMax		
MODELO DE BICICLETA (PROPUESTO)	Tpequeño	Tmedio	Tgrande	Tpequeño	Tmedio	Tgrande
MODELO BICI 1A	[374.9 377.3 379.6]	[376.5 379.6 383.4]	[378.5 380.9 385.4]	[380.5 384.6 388.4]	[382.5 386.6 390.4]	[385.2 389.2 393.2]
MODELO BICI 1B	[315.9 318.9 321.7]	[317.0 320.4 323.8]	[319.7 321.8 325.6]	[323.3 327.7 331.8]	[325.4 329.0 333.1]	[328.8 331.4 336.2]
MODELO BICI 2A	[362.4 365.7 368.0]	[364.9 367.3 370.6]	[366.6 369.8 372.3]	[369.9 373.3 377.8]	[372.5 376.4 380.6]	[374.9 379.0 383.1]
MODELO BICI 3A	[410.0 413.5 416.6]	[412.8 415.4 418.7]	[414.9 417.3 420.9]	[417.0 421.5 425.6]	[420.8 424.4 428.7]	[424.9 428.2 432.6]
MODELO BICI 3B	[449.4 452.1 455.0]	[451.4 453.8 455.0]	[453.8 456.0 459.2]	[457.4 461.1 465.0]	[460.4 464.6 468.3]	[465.2 469.3 473.9]
MODELO BICI 3C	[393.2 396.8 399.1]	[395.3 398.5 401.6]	[397.0 400.6 403.8]	[403.2 407.8 411.1]	[406.3 410.5 414.6]	[409.9 413.6 417.8]
MODELO BICI 3D	[446.6 449.5 452.9]	[448.3 451.0 452.6]	[450.9 453.2 456.4]	[455.6 459.5 464.0]	[458.3 462.3 466.0]	[463.0 468.1 472.6]
MODELO BICI 3E	[367.0 370.3 373.3]	[369.8 372.4 375.1]	[371.4 374.7 377.8]	[375.0 379.3 383.3]	[378.8 382.4 386.6]	[383.9 388.6 393.1]
MODELO BICI 3F	[481.3 484.6 487.2]	[483.2 485.9 488.3]	[485.3 488.1 491.7]	[519.3 523.6 527.2]	[522.0 526.1 530.3]	[525.3 529.3 533.9]
MODELO BICI 3G	[476.7 479.2 482.8]	[478.7 481.9 484.3]	[480.1 483.1 486.7]	[519.3 523.6 527.2]	[522.0 526.1 530.3]	[526.3 530.3 534.9]
MODELO BICI 3H	[429.8 432.9 435.5]	[431.1 434.2 437.2]	[433.2 436.4 439.5]	[432.8 436.9 440.5]	[434.1 438.2 442.2]	[438.2 442.4 446.5]
MODELO BICI 4A	[316.4 319.2 322.4]	[318.0 321.7 324.5]	[320.6 323.5 326.1]	[319.4 324.2 328.4]	[321.0 325.7 329.5]	[325.6 329.5 333.8]

Tabla 5 – Universo de discurso de conjuntos difusos – Tmin y TMax (minutos)

Los límites superior e inferior del universo de discurso de las variables corresponden a los valores mínimos y máximos obtenidos del modelo de programación lineal clásico. Para propósitos ilustrativos, la Figura 2 describe las funciones de pertenencia de la variable de salida para el tipo de bicicleta 1A.

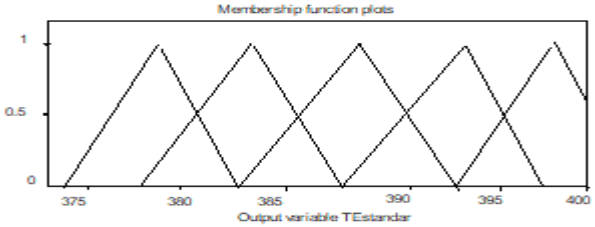


Figura 2 – Funciones de pertenencia (consecuente) del modelo de bicicleta 1A

5 Resultados

La Figura 3 muestra gráficos de un procesamiento del modelo usando MatLab hasta la obtención del valor del tiempo estándar, marcado en color rojo. Adicionalmente, en las Figuras 3a y 3b se incluyen 1) la salida del modelo de lógica difusa y 2) el estado de las reglas del modelo de lógica difusa respectivamente, para el modelo de bicicleta 1A. El resultado del tiempo estándar se basó en el método de "Defuzzificación" de tipo centroide. Como resultado, al comparar con los valores de tiempos estándar obtenidos por cronómetro, hubo un margen de error entre 5% y 9%, tal como se muestra la Figura 4.

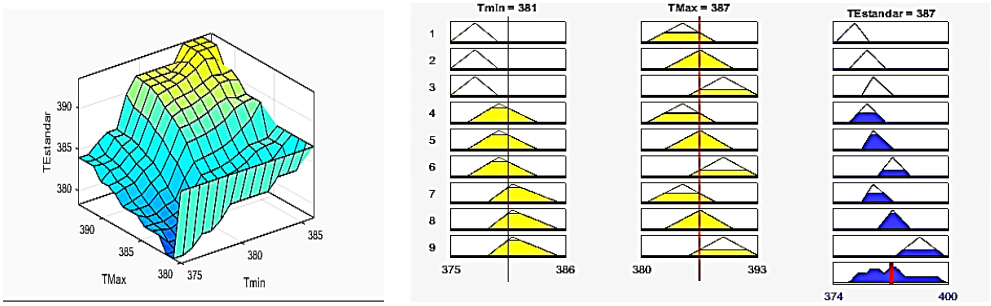


Figura 3 – Procesamiento del modelo con MatLab. Tiempo estándar marcado en rojo. (a) Salida del modelo lógico difuso. (b) Combinación de las reglas vs Salida – Método Centroide

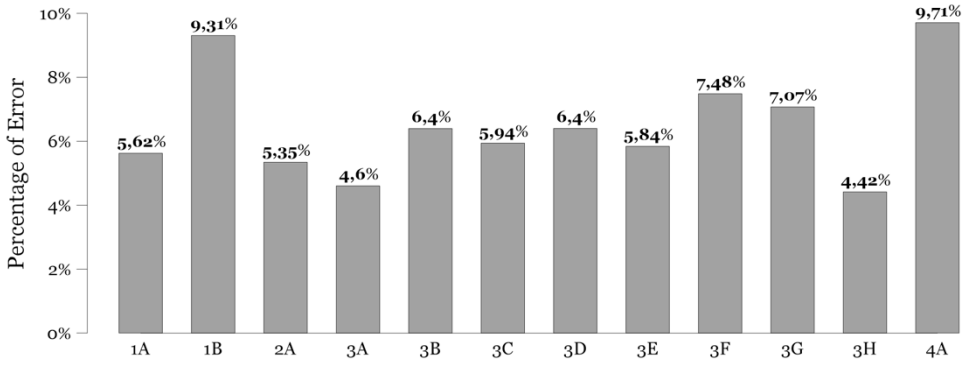


Figura 4 – Error entre modelos de tiempo estándar

El resultado de los tiempos estándar en base a cronómetro (tiempo empírico) se presentan en la Tabla 6. Este tiempo involucra una calificación de las habilidades del personal y de los suplementos, tanto constantes como variables, al realizar una actividad. La tercera columna de la Tabla 6 incluye los valores de tiempos estándar obtenidos con el modelo lógico difuso. La Figura 5 presenta una comparación entre los valores de tiempos estándar obtenidos en términos de tiempos medios observados, método del cronómetro y estimado por el modelo lógico difuso.

6. Discusión

El presente artículo mostró un método para la construcción de modelos matemáticos para la estimación de tiempos estándar en la industria de ensamble de bicicletas. El método consta de dos partes: 1.- la determinación de los tiempos mínimos y máximos en las líneas de ensamble usando un modelo de programación lineal, que considera aspectos que afectan desempeños en los subprocesos, como adaptación al puesto de trabajo, experiencia de los operarios, responsabilidad y confiabilidad operacional. 2.- la determinación de tiempos estándar usando un modelo lógico difuso cuyas entradas son los tiempos mínimos y máximos obtenidos con programación lineal.

Modelo de bicicleta	Tiempo medio observado (minutos)	Tiempo estándar por cronómetro (minutos)	Tiempo estándar MLD (minutos)
Modelo bici 1A	375,27	410,06	**387**
Modelo bici 1B	317,39	359,45	**326**
Modelo bici 2A	360,32	395,12	**374**
Modelo bici 3A	413,04	444,46	**424**
Modelo bici 3B	451,4	492,5	**461**
Modelo bici 3D	396,41	430,58	**405**
Modelo bici 3D	449,35	489,31	**458**
Modelo bici 3E	365,16	402,5	**379**
Modelo bici 3F	500,38	552,34	**511**
Modelo bici 3G	500,1	552,04	**513**
Modelo bici 3H	426,2	459,28	**439**
Modelo bici 4A	322,37	362,16	**327**

Tabla 6 – Tiempo Estándar (Método del cronómetro) vs. Tiempo Estándar (estimado).
*MLD=Modelo de Lógica Difusa

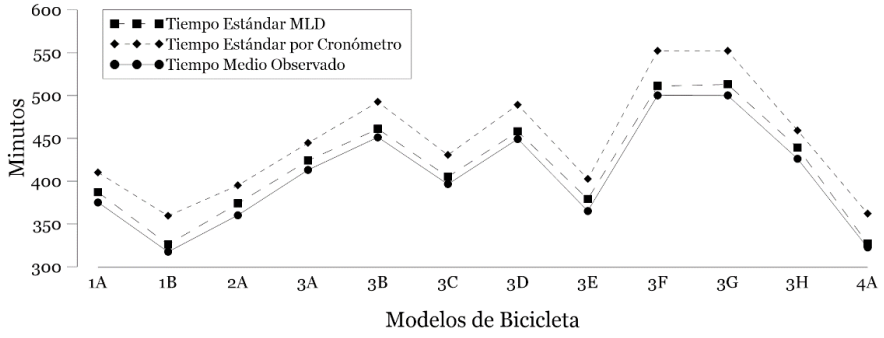


Figura 5 – Comparación de Tiempos Medio Observado (TMO), Tiempos Estándar por el Método del Cronómetro y Tiempos Estándar por Modelo Lógico Difuso

El modelo lógico difuso usa reglas del tipo Mamdani y facilita la estimación de tiempos estándar en las líneas de ensamble amalgamando factores de incertidumbre presentes cuando se utiliza otro método de cálculo, como el método del cronómetro.

7. Conclusiones

El estudio está divido por dos secciones, la primera sección analiza el marco general de la producción de bicicletas con la finalidad de conocer habilidades, entorno y ambiente de trabajo que permitan evaluar el tiempo estándar en base a mediciones de tiempos por cronómetro; la segunda parte, propone la construcción de modelos matemáticos, uno de programación lineal para estimar tiempos máximos y mínimos y otro basado en lógica difusa para estimar tiempos estándar en las líneas de ensamble.

El modelo de programación lineal fue resuelto mediante "Excel-Solver" y las variables planteadas además de estar vinculadas con el entorno del operario, pueden ser afectadas por el comportamiento de la persona y la ocurrencia de fallas operacionales. Los resultados obtenidos en el proceso "Defuzzificación" tienen un margen de error entre 5% a 9%, comparados con el tiempo estándar resuelto por el método del cronómetro. Operacionalmente, esto conduce a sugerir la reducción de recursos operativos/ ambientales del entorno de producción y del trabajador.

Agradecimientos: Este trabajo es parte del proyecto "Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos en la Industria de Ensamblaje", ganador del XV Concurso Universitario de Proyectos de la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca. Los autores agradecen a los directivos de la empresa caso de estudio, así como brindan un especial agradecimiento a los miembros del equipo del proyecto.

Referencias

Berrocal Berrocal, F. (2016). *Análisis comparativo de tres métodos de valoración de puestos de trabajo* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. Recuperado de https://eprints.ucm.es/38833/

Bouza, A., y Alimenti, O. (2010). Microcontroladores Estándar en el Desarrollo de Sistemas de Lógica Difusa, 1–16.

Cáceres Cárdenas, D., Reyes Vásquez, J. P., García Carrillo, M. G., y Sánchez Rosero, C. H. (2015). Modelo de programación lineal para planeación de requerimiento de materiales. *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, *28*(2), 24–33.

Cardona, J. E., Hoyos, J. G., & Ruiz, C. C. (2009). Fuzzy state control of a 2GdL helicopter. *Scientia et Technica*, *1*(41), 69–74.

Castro Cambizaca, J., Rodas Gavilanes, J., Colina-Morles, E., Siguenza-Guzman, L., y Arcentales Carrión, R. (2019). Levantamiento de procesos en industrias de ensamblaje de bicicletas usando BPMN e ISO. En *Libro de Memorias del VI Congreso de la Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y Posgrados* (pp. 970–978). Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Recuperado de https://www.utn.edu.ec/jornadasinvestigacion/index.php/libro/

Chase, R. B., Jacobs, F. R., y Alquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* (Duodécima edición). México: McGraw Hill.

García Criollo, R. (1998). *Estudio del trabajo: medición del trabajo*. México: McGraw-Hill Interamericana.

García Enríquez, I. J., Ramírez Cortés, J. M., Ibarra Bonilla, M. N., y Gómez Gil, M. del P. (2008). Seguimiento Autónomo de la Posición de un Objeto por Visión y Control Neuro- difuso en MATLAB (pp. 335–340). Presentado en 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering Research.

Kouro, S., y Musalem, R. (2002). Control mediante lógica difusa. *Técnicas modernas automaticas,(1-7)-7*, 1–7.

Montero Vega, J. C., Díaz Rangel, C. A., Guevara Trujillo, F. E., Cepeda Rugeles, A. H., y Barrera Herrera, J. C. (2013). *Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en Planta de Beneficio* (Boletín Técnico No. 33). Bogotá, Colombia: Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma.

Niebel, B. W., y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (Duodécima edición). México: McGraw-Hill.

Silva, C. W. de. (2018). *Intelligent Control: Fuzzy Logic Applications*. CRC Press. DOI: 10.1201/9780203750513

Soriano Méndez, J. J., González Melo, O. L., Munar Fontecha, F. V., y Ramos Acosta, A. A. (2000). Propuesta de Concresor basado en Relaciones Booleanas | Ingeniería. *Ingeniería*, *6*(2), 42–50. DOI: 10.14483/23448393.2701

Unuigbe, A. I., Unuigbe, H. A., Aigboje, E. O., & Ehizibue, P. A. (2016). Assembly Line Balancing Using Fuzzy Logic: A Case Study of a Tricycle Assembly Line. *Open Journal of Optimization*, *5*(2), 59–70. DOI: 10.4236/ojop.2016.52008

Urrutia, M., y Sernaque, B. (2014). Lógica Difusa Y Sistemas De Control. *Universidad Señor de Sipan*, 26.

Wu, X., Zhao, J., & Tong, Y. (2018). Big Data Analysis and Scheduling Optimization System Oriented Assembly Process for Complex Equipment. *IEEE Access*, *6*, 36479–36486. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2852791

Zohoori, B., Verbraeck, A., Bagherpour, M., & Khakdaman, M. (2019). Monitoring production time and cost performance by combining earned value analysis and adaptive fuzzy control. *Computers & Industrial Engineering*, *127*, 805–821. DOI: 10.1016/j.cie.2018.11.019

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 15/12/2018
Aceitação/Acceptance: 17/01/2019

Dispensador médico de control y monitoreo para el Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl" de la cuidad de Atuntaqui (Ecuador)

María T. Encalada-Grijalva[1], Sandra K. Narváez-Pupiales[2], Ana C. Umaquinga-Criollo[3], Luis E. Suárez-Zambrano[4], Diego H. Peluffo-Ordóñez[5a,5b]

mtencalada@utn.edu.ec, sknarvaez@utn.edu.ec, acumaquinga@utn.edu.ec, lesuarez@utn.edu.ec, dpeluffo@yachaytech.edu.ec

[1,2,3,4] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

[5a] Universidad Yachay Tech, 100115, Urcuquí, Ecuador.

[5b] Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, 520004, Pasto, Colombia.

Pages:595–607

Resumen: El envejecimiento es una etapa de vida del ser humano que presenta cambios psicológicos, sociales, fisiológicos, así como el deterioro de sus capacidades físicas. En el Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl" de la ciudad de Atuntaqui (Ecuador), los adultos mayores toman medicinas para tratar enfermedades como: la hipertensión arterial, artrosis, osteoporosis, deterioro cognitivo, depresión, hipotiroidismo, gastritis, anemia, entre otras. El personal médico al no llevar un registro de la posología de medicamentos en los horarios preestablecidos ha ocasionado retrasos, omisiones en los mismos y recaídas en su estado de salud. La presente investigación diseña y desarrolla un sistema embebido para controlar y monitorear el suministro de medicinas mediante dos tipos de notificaciones al departamento médico: en primera instancia por el envío de mensajes de texto vía GSM; al no existir respuesta se emite la segunda notificación por medio de una llamada de voz a la enfermera de turno con la finalidad de precautelar la ingesta adecuada de medicina y cumplir a cabalidad con los tratamientos prescritos por el médico y mejorar la calidad de vida del adulto mayor.

Palabras-clave: Dispensador Electrónico; Base de Datos; Arduino; MySQL; Adultos mayores.

Medical dispenser of control and monitoring services for the elderly health care institute Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl" from Atuntaqui (Ecuador)

Abstract: Aging is a stage of life of the human being that presents psychological, social, physiological changes, as well as the deterioration of their physical capacities. Elderly Home "San Vicente de Paúl" of the city of Atuntaqui (Ecuador), older adults take medicines to treat diseases such as high blood pressure, osteoarthritis, osteoporosis, cognitive deterioration, depression, hypothyroidism, gastritis, anemia, among others. The medical staff, because they do not keep a record of the dosage of medications in the pre-established hours, has caused delays, omissions in the same

and a decline in their health status. The present research designs and develops an embedded system to control and monitor the supply of medicines through two types of notifications to the medical department: in the first instance, by sending text messages via GSM; in the absence of a response, the second notification is issued by means of a voice call to the nurse on duty in order to safeguard the adequate intake of medicine and comply fully with the treatments prescribed by the doctor and improve the quality of life of the adult higher.

Keywords*:* Electronic Dispenser; Database, Arduino; MySQL; Elderly.

1. Introducción

La calidad de vida de las personas, sobre todo del adulto mayor, se encuentra relacionada directamente con su estado de salud, lo que deriva en la capacidad para realizar todas aquellas actividades necesarias para su convivencia por sí solas. El envejecimiento es una etapa de la vida en donde los individuos experimentan numerosos cambios, tales como psicológicos, sociales y fisiológicos (Alvarado García y Salazar Maya, 2014), bioquímicos, funcionales (Hernández Martínez-Esparza, Barquín Arribas, Mundet Riera, Royano Reigadas y García Calderón, 2006) que deterioran sus capacidades físicas. Factores como el estatus social, los aspectos corporales y familiares también influyen en el proceso de deterioro gradual del organismo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015).

Las enfermedades más comunes que presentan las personas adultas mayores son: cardiopatías, cáncer, enfermedades articulares y óseas (Barragán, Mejía y Gutiérrez, 2007), afecciones cerebrovasculares, demencias y enfermedades osteomusculares (Durán, Valderrama, Uribe, Gonzáles y Molina, 2009), hipertensión, artrosis o reumatismo y osteoporosis (Calero, Díaz, Caiza, Rodríguez, y Analuiza, 2013). La hipertensión arterial, osteoporosis, diabetes, artritis, enfermedades cognitivas, cardiovasculares y cerebrovasculares son consideradas como enfermedades crónicas y comunes (Durán et al., 2015).

Según el informe de la Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública (2016), las principales causas de morbilidad en las personas mayores de 65 años son: rinofaringitis aguda, trastornos del sistema urinario, hipertensión esencial primaria, dorsalgia, entre otras. Por tal motivo, se ve reflejado que estas personas son las más vulnerables a padecer enfermedades y discapacidades de alguna índole. En un momento dado, debido a sus situaciones físicas, psicológicas, sociales de estas personas, incluso son confiadas a centros de atención para personas adultas o mejor conocidos como geriátricos.

La Industria Farmacéutica, Ingeniería Genética, Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), Robótica e Informática han contribuido significativamente en la reducción de riesgos y automatización del área de salud, así como en la transformación e incorporación de nuevas habilidades del personal sanitario, tanto en el manejo de información como en la relación de atención con sus pacientes, debido al uso de la tecnología (Rodríguez Pérez, 2018).

La presencia de la tecnología en el ámbito de la salud aporta una diversidad de soluciones, a nivel electrónico y de telecomunicaciones en la prevención de accidentes de infantes (Chico Morales, Narváez Pupiales, Umaquinga Criollo & Montalvo Rosero, 2017) que

puede ser adaptado para edades adultas. Mientras que la Informática Farmacéutica definida como el uso e integración de datos, información, conocimiento, tecnología y automatización de los procesos de uso de medicamentos con la finalidad de mejorar los resultados en salud (Rodríguez Pérez, 2018), ha conllevado la automatización de los sistemas de dispensación de medicamentos por dosis unitaria, que pretenden aportar como una medida efectiva para la disminución de errores existentes en el proceso de administración de medicamentos en pacientes hospitalizados y para una farmacoterapia segura (Rodríguez Pérez, 2018) (Codina, Castellá, & Ribas, 2011). En cuanto a la seguridad del paciente con respecto a la ingesta de medicamentos existen estudios sobre los errores de Medicación (EM) en los hospitales (Vélez Díaz-Pallarés, 2013), así como normas internacionales de uso seguro de los dispositivos de dispensación automatizados (American Society of Health-System Pharmacists [ASHP], 2010).

Los dispensadores de medicamentos -o a*utomated dispensing machines*- son máquinas dispensadoras de medicamentos, sistemas semiautomáticos de dispensación o, simplemente, armarios de dispensación, también llamados sistema armario de seguridad, puesto que permite alojar los medicamentos en varios cajetines que son controlados a través de un sistema informático (Codina et al., 2011). Existen varios tipos de dispensadores como son: los sencillos, mecánicos, automáticos e inteligentes, pero todos permiten cumplir con su principal objetivo de proveer el producto en un determinado tiempo y en una cierta cantidad. Estos pueden agruparse de acuerdo con su capacidad y presentación en dosificadores unipersonales y de gran capacidad (Michael, 2016).

En el Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl" (HASVP), ubicado en la ciudad de Atuntaqui (Ecuador), los adultos mayores toman medicinas para combatir diferentes enfermedades, entre ellas: hipertensión arterial, artrosis, osteoporosis, deterioro cognitivo, depresión, hipotiroidismo, gastritis o anemia. En la institución, actualmente no existe un registro del suministro de medicamentos, lo que ha provocado inadvertencia del personal médico, provocando la ingesta de estos, en otros horarios, que causan recaídas en sus enfermedades.

Esta institución geriátrica cuenta con el contingente de dos enfermeras y una auxiliar de enfermería, las mismas que tienen horarios rotativos y son las responsables de los estados de salud de sus habitantes. Al identificar cierta dolencia o enfermedad, acuden con el paciente inmediatamente a los distintos centros médicos para ser examinados con mayor minuciosidad y, dependiendo de su diagnóstico, posteriormente proceden a la administración de medicamentos. Es por ello que, pensando en el bienestar de estas personas, y en conjunto con el HASVP, se detectó la necesidad de implementar un dispensador electrónico que permita alertar al personal médico a la hora en la que deben proporcionar las medicinas a los adultos mayores. Este prototipo se comunica con un teléfono móvil para su respectiva alerta, y a un ordenador que aloja una aplicación que registra la actividad en una base de datos, la cual contiene información del paciente, horarios y tipo de medicación prescritos por un profesional de la salud. Llegado el momento del suministro de la medicina se emite una notificación al personal de enfermería para que se acerque al dispensador y accione un mando para la entrega automática de la o las pastillas. De la misma manera, se registra y almacena esta acción en la base de datos con el afán de que el departamento médico pueda observar estos reportes, evitando inconvenientes al momento de realizar los cambios de turno y sobre todo precautelando la salud de los internos.

2. Materiales y métodos

En este apartado se describe el proceso de diseño y construcción, a nivel de *hardware* y *software* del dispensador médico de control y monitoreo para el Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl", así como la definición de los requerimientos para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema, conformado por el dispensador de medicinas, el mecanismo de comunicación vía GSM y una base de datos MySQL.

2.1. Componentes de *hardware* y *software*

El dispensador médico, como principio, establece un control y monitoreo de la administración de medicamentos por parte del personal de enfermería hacia los adultos mayores del Hogar del Anciano "San Vicente de Paúl", y está constituido por los siguientes componentes:

- Arduino Mega: Tarjeta de desarrollo Open-Source. Contiene varios pines de entrada y salida, analógicos y digitales, y permite integrar todos los elementos electrónicos controlados mediante el código generado.
- Arduino Ethernet: Placa compatible con Arduino Mega que provee el conector Ethernet estándar RJ45 para la conexión en red local entre el dispositivo y el servidor que aloja el sitio web o aplicativo.
- Módulo GSM/GPRS: Envía los mensajes de texto y realiza llamadas telefónicas, acoplándose a la placa Arduino Mega, para el envío de notificaciones hacia el usuario, en este caso, al personal de enfermería.
- Servomotor: Mediante el sistema de regulación, permite controlar, tanto la posición como la velocidad del dispensador, suministrando automáticamente la medicina del paciente.
- Fotorresistencia: Este componente actúa acorde a la intensidad de la luz. Para este caso en específico, es el componente de la placa contadora que utiliza un *led* que emite una señal de luz en dirección hacia la fotorresistencia, si esta señal es opacada por una pastilla (proceso de suministro medicamento), la placa contadora se encarga de actualizar la información.
- Reloj DS3231: Sincroniza la hora en tiempo real mediante la incorporación de medición y compensación de la temperatura garantizando precisión, comunicándose a través de del bus I2C hacia el sistema y la base de datos.
- Alimentación del Sistema: Constituye la alimentación de los distintos circuitos del dispensador electrónico suministrando de energía para todo el sistema.
- Arduino IDE: Es el entorno de desarrollo programado para enviar, procesar y receptar datos a los componentes electrónicos de acuerdo con los comandos ingresados.
- MySQL: Maneja bases de datos utilizando aplicaciones web, además de asociar elementos electrónicos, especialmente como el Arduino, para la interacción del envío de datos.
- Sitio web: Aplicativo alojado en un servidor local que trabaja en conjunto con la base de datos. Facilita la visualización del registro de suministro de

medicamentos, número de pastillas, datos informativos, contactos y detalles de los servicios de la institución.

2.2. Programación del sistema

La programación de la placa de control del dispositivo se desarrolla en el software IDE (*Integrated Development Enviroment*) de Arduino y el diseño del sitio web en lenguaje PHP (*PHP Hypertext Preprocessor*). Cabe señalar que estos dos sistemas están comunicados entre sí. En la Figura 1 se presenta el proceso de funcionamiento del sistema, que se encuentra distribuido en tres bloques.

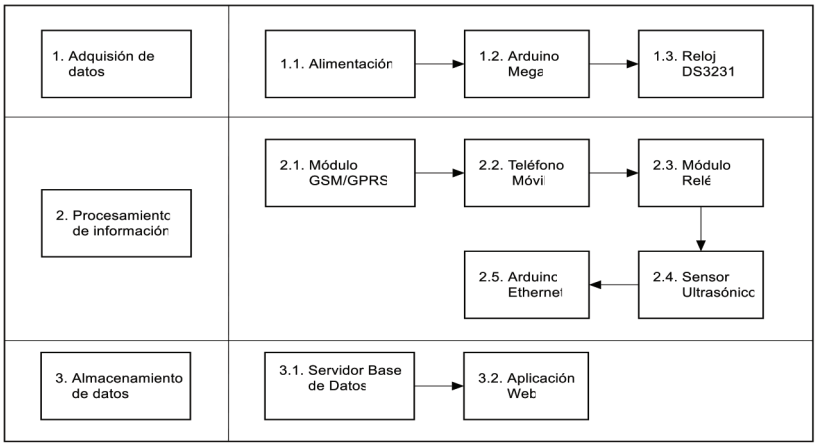


Figura 1 – Diagrama de flujo del sistema

2.3. Construcción del dispensador médico

Previo a la construcción del dispensador médico, es conveniente considerar varios elementos sustanciales como parte del diseño, entre ellos, el alojamiento de las pastillas y la estructura interna y externa de la caja dispensadora. La interacción entre el dispensador electrónico y el sitio web es posible a través de la funcionalidad del Arduino Ethernet que procesa los datos y los envía a la base de datos; mientras que el módulo GSM/GPRS es el encargado del envío de las notificaciones al personal de enfermería, en primera instancia a través de mensajes de texto a los *smartphones*, por tres ocasiones, luego de lo cual, al no existir respuesta o suministro de medicamento, el sistema activa una llamada telefónica.

- Circuito de conexión del sistema: La Figura 2 presenta las conexiones realizadas entre los componentes electrónicos para el funcionamiento eficiente del dispensador: Arduino Mega, modulo GSM/GPRS, Arduino Ethernet, sensor ultrasónico, servomotores, pantalla LCD, reloj DS3231, entre otros elementos.

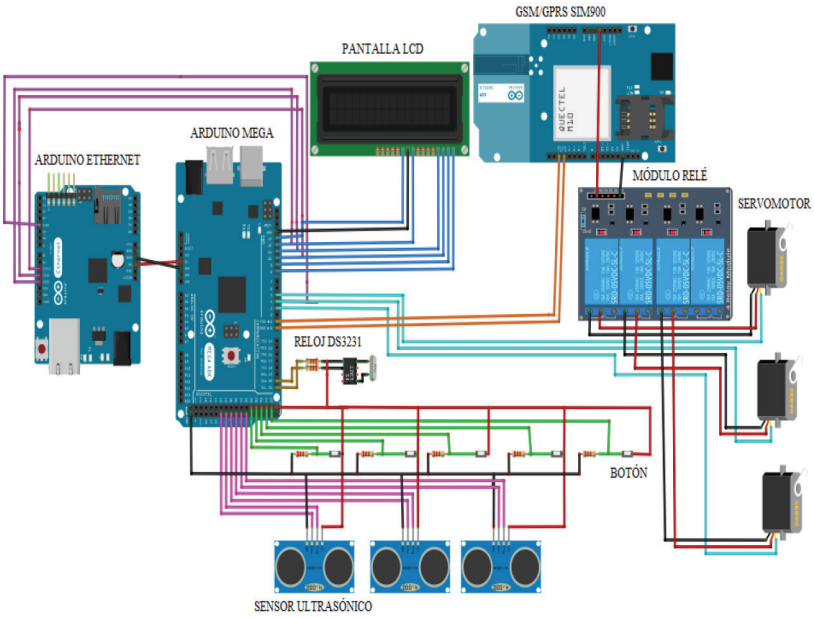


Figura 2 – Esquema de conexión de los componentes de hardware

- Circuito contador de pastillas: Los componentes que incluyen esta placa son: fotorresistencias, *leds* y los pines para la conexión con el Arduino Mega (Figura 3). La programación del contador de pastillas trabaja en función del comportamiento del *led* incorporado con la fotorresistencia, en dos instancias: una en condiciones de luz y la otra sin luz. De manera que se establece un rango entre 300 a 800 V para asegurar que las pastillas sean registradas de manera correcta y realizar el conteo de las mismas, este proceso se debe a la ausencia de luz por la opacidad que genera el medicamento al interponerse entre el led y fotorresistencia.

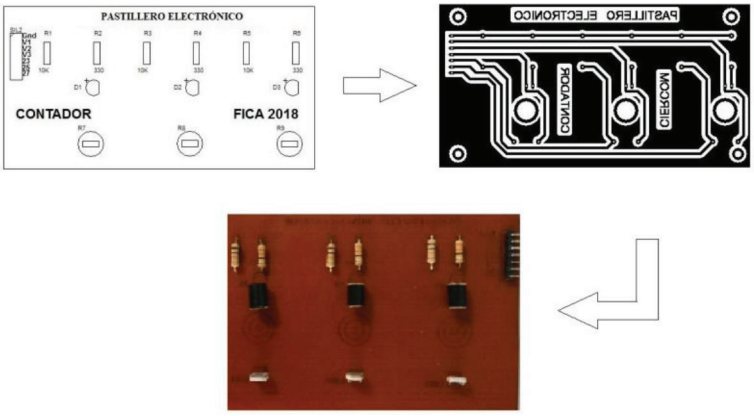


Figura 3 – Diseño de la placa del circuito contador y pieza en 3D

- Circuito dispensador**:** Uno de los componentes más importantes del circuito dispensador es el Arduino Mega, cuya funcionalidad es la de transmitir los datos de los pacientes que deben ingerir la pastilla en la hora establecida. El módulo GSM/GPRS recepta los datos y envía la notificación (nombre y medicamento) a un teléfono móvil del personal de enfermería; por consiguiente, al enviar la notificación el módulo relé se habilita para que la enfermera de turno se acerque hacia el dispensador, y el sensor ultrasónico, al captar la aproximación al dispositivo, suministra el medicamento y, de manera inmediata, se notifica por medio de Arduino Ethernet a la base de datos de la acción realizada (Figura 4). Cabe resaltar que puede ocurrir que las alertas de mensajes no sean atendidas con prontitud, de forma que el sistema del dispensador notifica a través de una llamada telefónica.

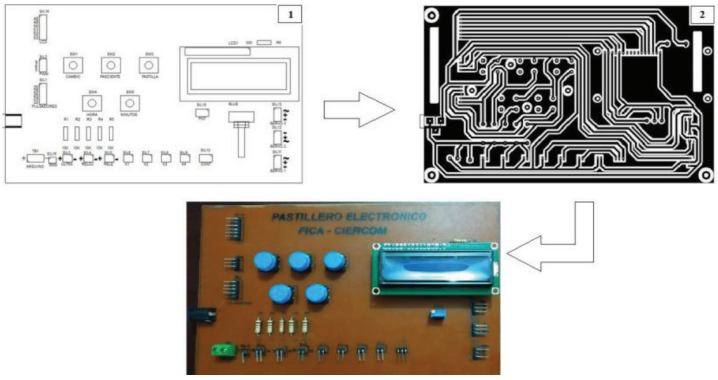


Figura 4 –Diseño de la placa del dispensador

- Almacenamiento de datos: La Base de Datos con interfaz GUI, además de brindar la interacción y registro de las actividades de suministro de medicinas, contiene información general del Hogar del Anciano “HASVP” (ver Figura 5).

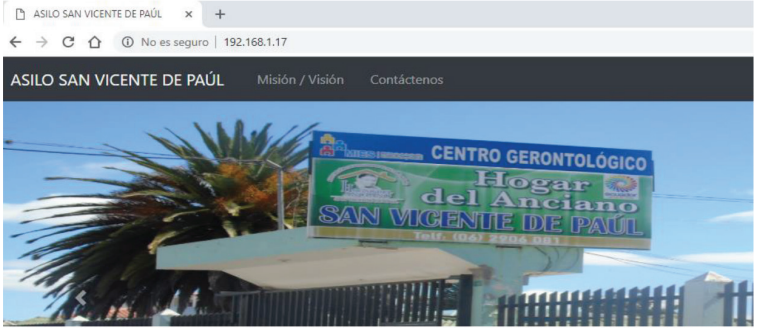


Figura 5 – Base de Datos e interfaz GUI

En la parte inferior de la interfaz GUI, existen cuatro opciones que permiten: *registrar* los datos informativos del adulto mayor, *consultar* los datos ingresados (registro

histórico), *eliminar usuarios*, y acceder al *registro de suministro de pastillas*, siendo la más relevante la opción Consultar (Figura 6).



Figura 6 – Opciones interfaz GUI

El HASVP ampara en la actualidad a 32 adultos mayores, en edades comprendidas desde los 65 años (20 mujeres y 12 hombres), y de acuerdo con los datos obtenidos en la institución (Tabla 1), se tiene información acerca las enfermedades o dolencias más concurrentes en este centro.

Enfermedades adulto mayor HASVP	**Adultos mayores que la padecen**
Hipertensión Arterial	15
Cardiovasculares	7
Presión	5
Hipotiroidismo	4

Tabla 1 – Dolencias frecuentes adultos mayores en el HASVP

La Tabla 2 muestra información de las medicinas frecuentemente utilizadas para aliviar y controlar las dolencias (Tabla 1), además de los horarios y la cantidad de personas que las deben ingerir, bajo la supervisión del personal de enfermería.

Nombre del Medicamento	**Horario de Ingesta**								**No. personas**
	06:00	**07:00**	**08:00**	**09:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**19:00**	
Omeprazol (20 mg)	x								2
Losartam (100mg)			x						3
Eutirox (50mg)	x								2
Antiplac							x		4
Enalapril (10mg)			x						2
Losartan (50mg)			x						4
Sinvastantina								x	4

Tabla 2 – Medicamento de acuerdo al horario y número de personas

Por lo tanto, de acuerdo a este análisis y como primera fase, el dispensador trabaja con registros de tres usuarios y proporciona sumunistro o entrega de tres tipos de medicamentos: *Antiplac* (control de presión), *Losartan* (contrarrestar problemas cardiovasculares) y *Sinvastantina* (control de colesterol), que son los más frecuentes y mayormente utilizados en el HASVP. La Figura 7 muestra la interfaz GUI, en la opción PASTILLAS-Consultar-LOSARTAN, el registro histórico de administración de este medicamento.



LOSARTAN

Fecha	Cerón	Bonilla	Espinoza
2019-01-21 21:40:37	si	si	si
2019-01-21 21:41:20	no	si	no
2019-01-21 21:52:28	no	no	no
2019-01-21 22:09:26	si	no	no
2019-01-21 22:10:53	no	no	no
2019-01-21 22:27:28	si	no	si
2019-01-21 22:28:30	si	si	no

Figura 7 – Registro de medicamentos a los adultos mayores en la base de datos

Diseño de la estructura: La Figura 8 presenta la estructura de la caja dispensadora donde se alojarán todos los elementos electrónicos. En la parte superior habrá orificios para el ingreso de las pastillas, y en la parte frontal, se observa la distribución de los pulsadores con la pantalla LCD.

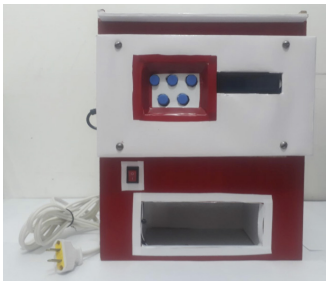


Figura 8 –Diseño del dispensador médico

Notificaciones: Las alertas se realizan mediante mensajes de texto vía GSM (tres ocasiones), en concordancia con el registro y los datos de horarios ingresados en el sistema del dispensador (Arduino Mega), de manera que se notifica al personal de enfermería

que un adulto mayor en específico debe ingerir cierta medicina anteriormente prescrita por un médico. La Figura 9 muestra este tipo de notificación.



Figura 9 – Envío de notificación mensaje de texto vía GSM

La notificación por llamada telefónica (Figura 10) es generada cuando se omiten los mensajes de texto durante tres minutos, lapso establecido como tiempo para que la enfermera de turno se acerque al dispensador a retirar la medicina. Esta llamada tiene una duración de alrededor de 30 segundos y su actuación es principalmente el de una alarma sonora.



Figura 10 – Llamada telefónica a personal de enfermería

3. Resultados

En el proceso de implementación se realizaron pruebas de funcionamiento que involucran el mecanismo de trabajo interno y externo del sistema dispensador: mecánica

de suministro de medicinas, interacción Arduino Mega-componentes (sensores, Arduino Ethernet, módulo GSM/GPRS, servomotores, entre otros), para garantizar que todos los elementos que lo conforman, trabajen integral y eficientemente. Este sistema dispensador cuenta además con un circuito contador de pastillas que fue analizado en dos escenarios: el primero, con la adquisición de luz, y el otro, sin luz por lo cual, dependiendo de la lectura de estos dos estados, se estableció la condición para la lectura del conteo y correcto funcionamiento.

También este trabajo incluye pruebas relacionadas con el envío de notificaciones mediante un mensaje de texto vía GSM, analizando el retardo o *delay* generado por las diferentes operadoras celulares (sentido dispensador-teléfono celular-enfermera de turno). La Tabla 3 muestra esta comparativa, llegando a la conclusión de que al utilizar los servicios de las operadoras Tuenti y Movistar, existe un retardo de 3,17 segundos siendo el menor y mejor tiempo para la recepción de notificaciones.

Operadora	**Tiempo de retardo del envío de mensajes de texto (segundos [s])**
Claro – CNT	7,96
Claro – Tuenti	5.34
Claro – Claro	5.45
Tuenti - CNT	6.11
Tuenti - Claro	7.04
Tuenti -Movistar	3,17

Tabla 3 – Análisis de operadoras para el envío de notificaciones vía GSM

4. Conclusiones y recomendaciones

El dispensador médico de control y monitoreo para el Hogar del Anciano “San Vicente de Paúl” consta de un sistema que permite alertar o notificar la hora en que el personal médico debe suministrar las pastillas a los adultos mayores. Se desarrolló mediante un sistema de alerta de notificaciones para el departamento médico, que permite notificar a un teléfono móvil, la hora en que cierto usuario debe suministrar un medicamento. La notificación mediante mensaje de texto tendrá un máximo de tres notificaciones y, en caso de no haberse acercado al pastillero y si de la misma manera en un lapso al no ser adquirida la pastilla, se procederá a la segunda notificación con una llamada. De esta manera contribuirá al departamento médico para evitar posibles olvidos y recaídas en el estado de salud de los adultos mayores.

Pero el sistema, al no tener autonomía eléctrica, necesita estar siempre conectado a una toma de 110 voltios. Por otro lado, de acuerdo con el análisis del consumo energético, de todos los elementos electrónicos conectados es recomendable equilibrar las cargas y, si es posible, realizar una conexión maestra-esclavo para que todos los dispositivos funcionen correctamente.

Referencias

Alvarado García, A. M., y Salazar Maya, A. M. (2014). Análisis del concepto de envejecimiento. *Gerokomos, 25*(2), 57-62. DOI: 10.4321/S1134-928X2014000200002.

American Society of Health-System Pharmacists. (2010). ASHP Guidelines on the safe use of automated dispensing devices. *Am J Health-Syst Pharm*, 67-74. Recuperado de https://www.ashp.org/-/media/assets/policy-guidelines/docs/guidelines/safe-use-of-automated-dispensing-devices.ashx

Barragán, A., Mejía, S., y Gutiérrez, L. M. (2007). Dolor en adultos mayores de 50 años: prevalencia y factores asociados. *Salud Pública Mex, 49*(S4), 488-494. Recuperado de http://www.medigraphic.com/pdfs/salpubmex/sal-2007/sals074h.pdf

Calero, S., Díaz, T., Caiza, M., Rodriguez, A., y Analuiza, E. (2013). Influencia de las actividades físico-recreativas en la autoestima del adulto mayor. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 35*(4), 1. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03002016000400007&script=sci_arttext&tlng=pt

Chico Morales, I. J., Narváez Pupiales, S. K., Umaquinga Criollo, A. C., & Montalvo Rosero, P. D. (2017). Wearable Textil for Accident Prevention for Babies in Crawl Phase. In *2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)* (pp. 66–72). DOI: 10.1109/INCISCOS.2017.55

Codina, C., Castellá, M., & Ribas, J. (2014). Máquinas dispensadoras de medicamentos. ¿Previenen los errores? *Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria*. Recuperado de https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/erroresmedicacion/021.pdf

Durán, A., Valderrama, L., Uribe, A., Gonzáles, A., & Molina, J. (2015). Enfermedad crónica en adultos mayores. *Sistema de Informacion Científica*, 17-18.

Hernández Martínez-Esparza, E., Barquín Arribas, M. J., Mundet Riera, I., Royano Reigadas, L., y García Calderón, M. I. (2006). La necesidad de un informe de enfermería al alta o traslado en una residencia geriátrica. *Gerokomos, 17*(3), 132-139. Recuperado de http://scielo.isciii.es/pdf/geroko/v17n3/132rincon.pdf

Marqués, M. (2014). Bases de Datos. *Universitat Jaume I*. Recuperado de http://www3.uji.es/~mmarques/apuntes_bbdd/apuntes.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2015). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. *Estados Unidos de América*. Avenue Appia, Ginebra, Suiza. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/186466/9789240694873_spa.pdf;jsessionid=E7D2B5DDDEB4E576F19F9C017C4F971E?sequence=1

Rodríguez Pérez, C. C. (2018). Cumplimiento de las buenas prácticas de dispensación de la Farmacia Nueva Vida Trujillo. *Informe de prácticas preprofesionales para optar al título profesional de Químico Farmacéutico*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10731/Rodriguez%20Perez%20Carol%20Christina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vélez Díaz-Pallarés, M. (2013). Análisis modal de fallos y efectos en el proceso de preinscripción, validación y dispensación de medicamentos. [Tesis doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de https://eprints.ucm.es/18151/1/T34263.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 14/12/2018
Aceitação/Acceptance: 16/02/2019

Machine Learning for Computer Vision: a review of Theory and Algorithms

Marco E. Benalcázar

marco.benaalcazar@epn.edu.ec

Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

Pages:608–618

Abstract: The Computer vision is a problem that belongs to the field of artificial intelligence. The problem of computer vision consists of designing algorithms that allow computers to simulate the ability of humans to see the world. The three main problems that computer vision deals with include image segmentation, image classification and object detection. In this paper, we present a brief and technical review of the theory and algorithms of machine learning that can be applied to these three problems of computer vision. Specifically, we present a formal definition of each of these three problems, review the theory of machine learning for designing classifiers under the context of random processes, and then describe the most popular algorithms of machine learning applied to computer vision including feed-forward artificial neural networks, convolutional neural networks and deep learning. Finally, we hope that the self-contained material of this paper provides to the readers with enough information to start using machine learning for solving certain problems of computer vision.

Keywords*:* machine learning, computer vision, image segmentation, image classification, object detection.

1. Introduction

Computer vision systems are ubiquitous in modern technology from areas such as medicine, food industry, robotics, internet, review of the quality of products, self-driving cars, and unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones (Russell & Norvig, 2010; Jähne & Haußecker, 2000; Zhang et al., 2014; Santos, Gomes & Rodrigues Leta, 2012; Janaia et al., 2017; Szeliski 2010; Rao, Goutham Gopi & Maione, 2016). Particularly, applications of computer vision for UAVs include agriculture (Zhang & Kovacs, 2012), monitoring, and management of natural disasters: volcanic, flood and fire (Chou et al., 2010; Erdelj & Natalizio, 2016), traffic surveillance (Ke et al., 2016; Puri, 2005) drug bust (Engberts & Gillissen, 2016), delivery services (Motlagh, Taleb & Arouk, 2016), among others. The number of applications keeps increasing as the technology of both UAVs and computer vision systems become more reliable and efficient. Computer vision techniques can also be used to help UAVs maneuver using visual information (Campoy, 2009; Nonami et al., 2010).

Computer vision is a problem that belongs to the field of artificial intelligence (Russell & Norvig, 2010). This problem consists of designing algorithms that allow computers

to simulate the ability of humans to see the world. The three fundamental problems that computer vision deals with include image segmentation, image classification, and object detection (Gonzalez & Woods, 2008; Otsu, 1979; Murphy, 2013). In this paper, we present a brief, self-contained and technical review of the theory and algorithms of machine learning that have been applied to the problems of image segmentation, image classification and object detection. Specifically, in this work we present a formal definition of each of these three problems, review the theory of machine learning for designing classifiers under the context of random processes, and finally we also describe the most popular algorithms of machine learning applied to computer vision including feed-forward artificial neural networks, convolutional neural networks and deep learning. Finally, we hope that the material of this paper provides to the readers with enough information to use machine learning for solving certain problems of computer vision.

2. Theory and definitions

In this section, we present formal definitions of binary, grayscale and multichannel images. Then we describe the problem of image segmentation and its types.

2.1. Formal definitions of images

Let the function O: $\boldsymbol{E} \to L$ be a *grayscale image*, where $\boldsymbol{E} \subseteq \mathbb{Z}^2$ and $L = \{0, 1, \ldots, l - 1\}$ with $l \in \mathbb{Z}^+$. The set of all possible grayscale images from the set $\boldsymbol{E}$ to the set L is denoted by $L^{\boldsymbol{E}}$. A *pixel* t of the image O is a coordinate in $\boldsymbol{E}$ of the form $t = (x,y)$ that takes a value from the set L. Similarly, a *binary image* is a function I: $\boldsymbol{E} \to \{0,1\}$. The set of all possible binary images is denoted by $\{0,1\}^{\boldsymbol{E}}$. A *multichannel image*, or also called a *multivariate image*, is a function $\underline{O}$: $\boldsymbol{E} \to (L_1 \times L_2 \times \ldots \times L_m)$ such that $\underline{O}$ is the tuple $\underline{O} = (O_1, O_2, \ldots, O_m)$, where $O_i \subseteq L^{\boldsymbol{E}}$ is a ith channel of $\underline{O}$, with $i = 1, 2, \ldots, m$. The set of all multichannel images from $\boldsymbol{E}$ to $(L_1 \times L_2 \times \ldots \times L_m)$ is denoted by $(L_1 \times L_2 \times \ldots \times L_m)^{\boldsymbol{E}}$. A pixel t of $\underline{O}$ is a coordinate in the domain $\boldsymbol{E}$ that takes the vector $(O_1(t), O_2(t), \ldots, O_m(t))$ (Gonzalez & Woods, 2008).

2.2. Description of the problem of image segmentation

Let the input for the segmentation be a multichannel image $\underline{O} \subseteq (L_1 \times L_2 \times \ldots \times L_m)^{\boldsymbol{E}}$. The segmentation of the image $\underline{O}$ consists of obtaining a partition $S = \{S_1, S_2, \ldots, S_q\}$ of its pixels into q disjoint, homogeneous, and connected subsets (i.e., regions) S_i, with $i = 1, 2, \ldots, q$ (Gonzalez & Woods, 2008). In this partition, each subset S_i is considered as an object. Two subsets S_i and S_j, with $i \neq j$, are disjoint if $S_i \cap S_j = \emptyset$, where $\emptyset$ denotes the empty set. The union of all the subsets that compose the partition S results in the domain of $\underline{O}$: $\boldsymbol{E} = \bigcup_{i=1}^{q} S_i$. Each subset $S_i \subseteq S$ is homogeneous if its pixels have similar features of intensity, color, and texture. As a result of the segmentation of $\underline{O}$, we obtain a new image $I \subseteq L^{\boldsymbol{E}}$ of the same size as $\underline{O}$. In the image I, if the pixel (x,y) belongs to the region $S_l \subseteq S$, then $I(x,y) = i$. Note that the background should be also a region of the segmentation.

The segmentation of a multichannel image $\underline{O} \subseteq (L_1 \times L_2 \times \ldots \times L_m)^{\boldsymbol{E}}$ can be addressed as problem of classification of each of its pixels. As a result of this classification process, we obtain a new image $I \subseteq L^{\boldsymbol{E}}$ of the same size as $\underline{O}$. A *classifier* is a function y: $\mathbf{X} \to Y$ that assigns a label Y, from the set $Y = \{0, 1, \ldots, c - 1\}$, to a feature vector $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_n) \subseteq \mathbf{X}$, where usually $\mathbf{X} \subseteq \mathbb{R}^n$ (Duda, Stork, & Hart 2001).

2.3. Types of image segmentation

There are two types of segmentation under the classification approach: single-pixel and neighborhood-based segmentation. In the *single-pixel segmentation*, we have that $I(t) = y(\mathbf{X})$, where the vector $\mathbf{X}$ is the result of applying some feature extraction function F to the vector of image values $(O_1(t), O_2(t),..., O_m(t))$ at the pixel $t = (x,y)$ (Otsu,1979) (Figure 1a). In the *neighborhood-based segmentation*, we have that $I(t) = y(\mathbf{X})$, where $\mathbf{X} = (X_1, X_2,..., X_n)$ is a feature vector extracted from the pixels seen through a window W (i.e., neighborhood) centered at the pixel t of the image $\underline{O}$ (Figure 1b).

3. Segmentation using Machine Learning

In the previous section, we reduced the image segmentation problem to a classification of its pixels. For designing automatically a classifier, we can use supervised machine learning techniques (Murphy, 2013; Mostafa, Lin & Magdon-Ismail, 2012; Duda, Stork & Hart, 2001). Machine learning consists of set of techniques for building predictive models based on experience (i.e., training examples). In supervised learning, each training example is a pair $(\mathbf{X},Y)$ composed of an input $\mathbf{X} \hat{\mathbf{I}} \mathbb{R}^n$ and an output Y, both sampled from a given problem. If the output Y is a real-valued variable, the problem to solve is called *regression*; whereas, if Y is a categorical variable, the problem to solve is called *classification*. In this section, we focus on the problem of classification applied to image segmentation.

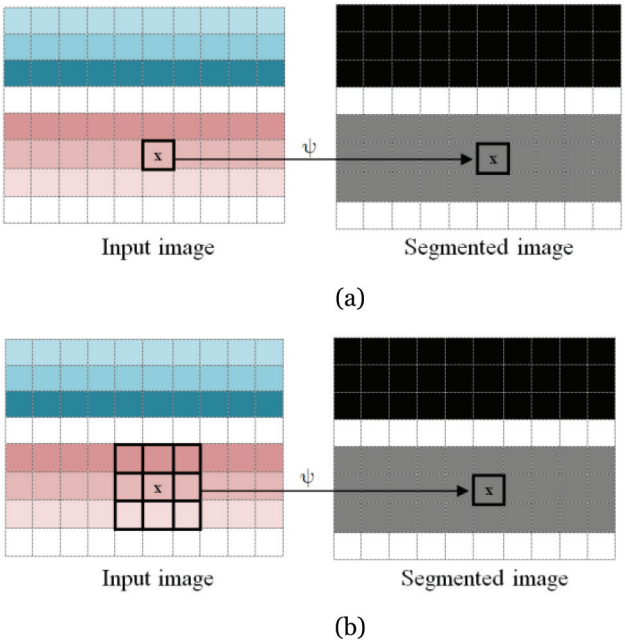


Figure 1 – Image segmentation can be addressed as a pixel classification: (a) single-pixel segmentation; and (b) neighborhood-based segmentation

3.1. Probabilistic framework for designing classifiers using Machine Learning for image segmentation

To solve the image segmentation problem using classification methods, we assume the existence of a random, strict-sense stationary, and joint process ($\underline{\mathbf{O}}$,$\mathbf{I}$) (Dougherty, 1999). The process ($\underline{\mathbf{O}}$,$\mathbf{I}$) generates independent pairs of images of the form ($\underline{O}$,I) according to the probability mass function P($\underline{\mathbf{O}}$,$\mathbf{I}$). In the pair ($\underline{O}$,I), $\underline{O}$ is a realization of the process $\underline{\mathbf{O}}$ and it is called the *observed image* (i.e., input image); whereas, I is a realization of the process $\mathbf{I}$ and it is called the *ideal image* (i.e., segmented image). Under this context, we assume to be given a training set $D_I = \{(\underline{O}_1,I_1),...,(\underline{O}_M,I_M)\}$ of M independent and identically distributed pairs of images. In practice, usually the ideal image I_i is the result of a manual segmentation of the observed image $\underline{O}_i$, with $i = 1, 2,..., M$. This manual segmentation has to be performed or assisted by experts of the field to which the problem to be solved belongs.

If for each pixel t of $\underline{O}_i \hat{I} D_I$, we extract a feature vector $\mathbf{X} = (X_1, X_2,..., X_n)$ and a label $Y = I_i(t)$, with $i = 1, 2,..., M$, we obtain a training set $D = \{(\mathbf{X}_1,Y_1),...,(\mathbf{X}_N,Y_N)\}$ composed of N examples. For a given observed image $\underline{O}$, $\mathbf{X}$ can be composed of the raw values of either just the pixel t or all the pixels observed inside a window centered at t. In both of these cases, the components of $\mathbf{X}$ are usually highly correlated. To reduce this correlation, we can use, for example, aperture filters (Benalcázar, Brun & Ballarín, 2014), principal component analysis (PCA) (Murphy, 2013), and whitening (Murphy, 2013). Additionally, we assume that the pairs ($\mathbf{X}$,Y) are independent and generated according to the distribution P($\mathbf{X}$,Y) induced by the distribution P($\underline{\mathbf{O}}$,$\mathbf{I}$).

Classifier design under the machine learning approach consists of using a learning algorithm A to find a function y that assigns a label $y(\mathbf{X})$ to $\mathbf{X}$ with minimum probability of misclassification P($y(\mathbf{X})$ ¹ Y). Note that P($y(\mathbf{X})$ ¹ Y) also corresponds to the error e(y) of y. The classifier y can be defined in the following way:

$$y(\mathbf{X}) = \underset{y\in\{0,1,...,c-1\}}{\arg\max}\ \mathbb{P}(Y = y \mid \mathbf{X}). \tag{1}$$

Based on the previous equation, we can see that learning a classifier consists of finding a function that approximates the conditional distribution P(Y|$\mathbf{X}$). In this context, the learning algorithm A takes as inputs a training set $D = \{(\mathbf{X}_1,Y_1),...,(\mathbf{X}_N,Y_N)\}$ and a hypothesis set $H = \{h \mid h: \mathbf{X} \to [0,1]^c\}$ and returns a function y such that the value of the probability P($y(\mathbf{X})$ ¹ Y), or error of the classifier y, is minimum. For a given feature vector $\mathbf{X}$, the value of $y(\mathbf{X})$ is defined based on equation (1), where P(Y=y|$\mathbf{X}$) is replaced with $h(Y=y|\mathbf{X})$. Additionally, since in practice we cannot compute the value of P($y(\mathbf{X})$ ¹ Y) because the joint distribution P($\mathbf{X}$,Y) is unknown, we have to estimate its value by using the empirical error $e_N(y) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \mathbb{I}\,(y(\mathbf{X}_i)$ ¹ $Y_i)$, where I(A) is the indicator function that returns 1 if A is true and 0 otherwise. In the process of learning the distribution P(Y=y|$\mathbf{X}$), we want to achieve the following 2 conditions: (1) (e(y) - $e_N(y)$) ® 0 and (2) $e_N(y)$ ® 0, when N grows. The first condition implies a good generalization in contrast to overfitting. This means that the empirical error $e_N(y)$ of y should be as close as possible to its true error e(y). The second condition implies finding a good classifier with low

training error. If both conditions are met, y classifies well not only the vectors from the training set D but also vectors not seen during training. In Figure 2, we summarize the process of classification design for image segmentation.

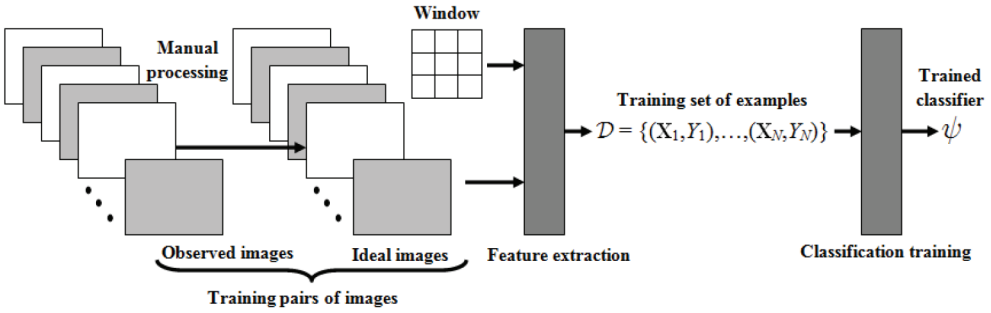


Figure 2 – Process for designing a classifier for image segmentation

3.2. Non-Parametric and parametric classifiers

Depending on the type of functions that compose the hypothesis set H, we have non-parametric and parametric classification models. For *non-parametric models*, the functions of H do not make assumptions about the form of the mapping between **X** and the interval $[0,1]^c$. Examples of non-parametric models include the plug-in rule, histogram-based classifiers, *k*-nearest neighbors, and decision trees. The main disadvantage of these models is that they might be affected by the curse of dimensionality (Murphy, 2013; Duda, Stork & Hart, 2001). This curse causes that the number N of training examples required to have a good generalization of y grows exponentially with the dimension of the feature vector **X**.

On the other hand, with *parametric models*, the form of the mapping between **X** and the interval $[0,1]^c$ is constrained to a family of functions $H_{\mathbf{b}} = \{h(\mathbf{X},\mathbf{b}) \mid h(\mathbf{X},\mathbf{b})\text{: } \mathbf{X} \text{®} [0,1]^c\}$, where **b** is a set of parameters. Usually, parametric models converge faster to a solution than non-parametric models because of the constraint in the hypothesis set. However, this constraint also limits what parametric models can learn. To train parametric models, it is common to minimize the function $-ln(P(D|\mathbf{b}))$, where $ln(\cdot)$ denotes the natural logarithm, and $P(D|\mathbf{b})$ denotes the likelihood of the training dataset D given a set **b** of parameters for the classification model. Examples of these models include logistic regression, softmax classifiers, artificial neural networks (ANNs), and support vector machines (SVMs) (Murphy, 2013; Mostafa, Lin & Magdon-Ismail, 2012).

3.3. The Vapnik-Chervonenkis Inequality

When designing classifiers, a common question is how many training examples we do need to have good generalization (i.e., to avoid overfitting). In other words, for a given problem, what is the value of N?. The answer to this question is given by the Vapnik-Chervonenkis (VC) inequality $E[e(y) - e_N(y)] \leq 8\sqrt{(VC(\mathcal{H})ln(N)+4)/(2N)}$, where E[·]

denotes the expectation computed with respect to the distribution P(**X**,*Y*) (Vapnik & Chervonenkis, 1971). It is important to point out that the VC inequality is universal, which means that it holds for any joint distribution P(**X**,*Y*). The value of VC(H) denotes the Vapnik-Chervonenkis dimension of H (Mostafa, Lin & Magdon-Ismail 2012). The value of VC(H) measures the capacity (i.e., complexity) or richness of the hypothesis set H. The VC inequality indicates that in order to have a good generalization, the number *N* of training examples must exceed significantly to the VC dimension of the classification model H used to solve a given problem. As a rule of thumb, we can use $N \gg 10\text{VC(H)}$. However, in practice, to select model complexity cross-validation (Murphy, 2013; Mostafa, Lin & Magdon-Ismail, 2012) is preferred over the VC inequality. This occurs because (1) computing the value of the VC dimension for a hypothesis set H is not a trivial task, especially for complex models such as artificial neural networks; and (2) because computing the value of *N* using the VC inequality, in some cases, might lead to too pessimistic estimates due to the universality of this inequality.

3.4. Feed-Forward Neural Networks

Currently, artificial neural networks (ANN) are perhaps one of the most popular parametric models to design classifiers. A basic feed-forward ANN is composed of 3 layers: input L^0, hidden L^1, and output L^2 (Figure 3). The set $\mathbf{b} = \{\mathbf{W}^1, \mathbf{W}^2, \mathbf{b}^1, \mathbf{b}^2\}$ contains the parameters of the ANN. The real-valued matrices $\mathbf{W}^1$ and $\mathbf{W}^2$ contain the weights of the connections between neurons of layers L^0 and L^1, and L^1 and L^2, respectively. The real-valued vectors $\mathbf{b}^1$ and $\mathbf{b}^2$ contain the biases of the neurons of layers L^1 and L^2, respectively. The functions $f^{(1)}$ and $f^{(2)}$ are usually sigmoid functions (Murphy, 2013; Mostafa, Lin & Magdon-Ismail, 2012; Benalcázar, Brun & Ballarín 2013). Feed-forward ANNs composed of only 3 layers, with a sufficient number of neurons in L^1, are capable of approximating any Borel measurable function with a desired degree of accuracy (Bishop, 2005; Farag & Lugosi, 1993) (i.e., universal approximators). Besides this nice capability of ANNs, some problems may require a prohibitively large number of neurons in L^1. Additionally, we must remember that the more neurons we have in L^1 (i.e., larger VC dimension), the larger is the value of *N* required to achieve a good generalization. ANNs are usually trained using gradient descent (Bishop, 2005), where the gradient is computed by back-propagating its error (usually the cross-entropy function for classification) (Bishop, 2005) to all the neurons that form the network.

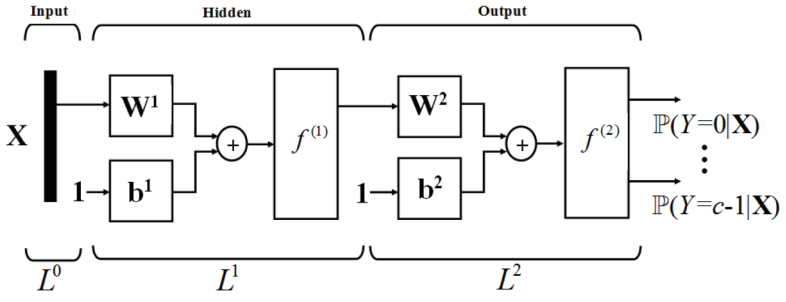


Figure 3 – Architecture of a feed-forward neural network with three layers

4. Image classification using Machine Learning

In this section, we address the problem of image classification using machine learning techniques. For this purpose, we first define the problem of image classification and then present solutions based on convolutional neural networks and deep learning.

4.1. Description of the problem of image classification

Given an observed image $\underline{O}$ and an arbitrary classification function $y: (L_1 \times L_2 \times \ldots \times L_m)^{\mathbf{E}}$ ® {0, 1,..., c - 1}, the image classification task consists of assigning a label $y(\underline{O})$Î{0, 1,..., c-1} to the image $\underline{O}$. Here, the classification is performed based on a feature vector XÎR^n extracted from all the pixels of the image $\underline{O}$. As in the segmentation case, in practice y is designed to minimize the empirical error $e_N(y)$, which estimates the probability P($y(\underline{O})$ ¹ Y), where Y is the actual label with which the image $\underline{O}$ was observed. For training the classifier y, we are assumed to be given a training set D_I = {($\underline{O}_1$,Y_1),...,($\underline{O}_N$,Y_N)} of pairs formed by an image $\underline{O}_i$ and its label Y_i, with i = 1, 2, ..., N. Using directly the raw pixel values of $\underline{O}$ to design the classifier requires models with high VC dimension. Another problem for classifier design is the high correlation between the pixel values of the images. To reduce the effect of these two problems, feature extraction methods have been proposed. Examples of these methods include local binary patterns (LBP) (Wang, 1990), histogram of gradients (HOG) (Dalal & Triggs 2005), and Haar-like features (Viola & Jones 2001). These methods allow us to represent the images to be classified in a lower dimensional feature space. However, for many problems, finding the appropriate feature extraction method can be a complicated task. Because of this issue, methods for automatic feature learning are preferred over hand-crafted features provided that we have access to enough training data. These automatic methods include the use of convolutional neural networks and deep learning.

4.2. Image classification using Convolutional Neural Networks

Convolutional neural networks (CNNs) were originally proposed for image classification (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016). In this type of networks, both the feature extraction and the classification modules are learnable. This means that the user does not have to manually design a set of features for feeding the classifier. Instead, in the CNNs one or several pairs of convolution and subsampling, or pooling, layers are used to extract feature maps and then feature vectors automatically. These features vectors are then passed to the classification layer. The classification layer is usually composed of a feed-forward ANN, a logistic regression, or a softmax classifier (Figure 4). CNNs can be trained using gradient descent combined with back-propagation.

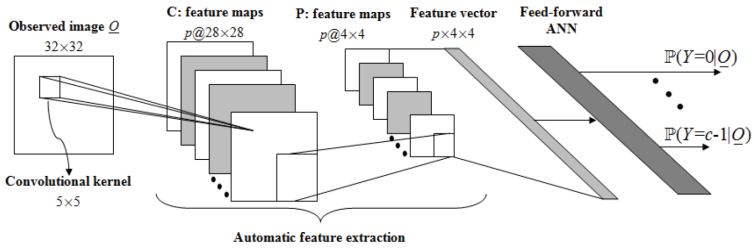


Figure 4 – Architecture of a convolutional neural network with a single convolution and subsampling layer

4.3. Image classification using Deep Learning

Deep learning is another approach to avoid the manual design of a set of features for image classification (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016; LeCun, Bengio & Hinton, 2015). Here, we use deep-feed-forward ANNs which are networks with several hidden layers. Deep architectures represent features with multiple levels of abstraction. For image classification, this feature representation scheme has demonstrated empirically to work better than shallow architectures (LeCun, Bengio & Hinton, 2015). The input of a deep neural network is a raw image. The first hidden layer usually detects edges in different orientations and locations. The second layer typically detects motifs which result from combining different edges. The third layer can detect parts of objects. The subsequent layers can detect combinations of parts of objects. The last layer is usually a feed-forward ANN, a logistic regression or a softmax classifier. Deep neural networks are trained layer by layer using auto-encoders (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016). An auto-encoder is a neural network that learns in an unsupervised way a mapping of the form $f(\mathbf{X},\mathbf{b}) \approx \mathbf{X}$, where $\mathbf{X}$ is the input of the auto-encoder, $f(\mathbf{X},\mathbf{b})$ is the response of the auto-encoder to the input $\mathbf{X}$, and $\mathbf{b}$ is the set of parameters of the auto-encoder. For training auto-encoders, we can use gradient descent and back-propagation to minimize the mean-squared-error cost function $\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{n}(f(\mathbf{X}_i,\mathbf{b})_j - X_{ij})^2$ between the response $f(\mathbf{X}_i,\mathbf{b})_j$ of the jth output neuron of the auto-encoder predicting the jth component X_{ij} of the ith feature vector $\mathbf{X}_i = (X_{i1}, ..., X_{ij}, ..., X_{in})$.

5. Object detection using Machine Learning

In this section, we address the problem of object detection, which is the third and the last problem of computer vision that we review in this paper. Like in the previous problems, we begin this section presenting its definition and then analyze the most common approach for its solution.

5.1. Description of the problem of object detection

Given an image $\underline{O}$ and a set $Y = \{0, 1,..., c - 1\}$ of c labels that represent the class of objects to detect, the problem of object detection consists of identifying the spatial location in $\underline{O}$ and the size of the objects of interest. A process of object detection returns a new image $\underline{I}$ where the objects of interest are enclosed in bounding boxes that identify the location and size of each object detected. In this case, one of the values of the set Y (usually the number 0) denotes the class non-object. This non-object class groups all the objects of the world that we are not interested in detecting. When we want to detect more than one class of objects, each bounding box in $\underline{I}$ is usually labeled with the class of the object that it contains or encloses. Examples of objects to detect are cars, pedestrians, bicycles, and motorcycles. When performing object detection, one must face different problems that include a high number of orientations and locations of the objects of interest, occlusion, and changes in scale.

5.2. Object detection using Machine Learning Classifiers

The problem of object detection can be solved using image classifiers designed using supervised machine learning. For this purpose, we define a so called canonical window

W and assume that we have an image classifier *y*. We also initialize the output image $\underline{I}$ with the content of the image $\underline{O}$. The detection starts by placing *W* on a given location $t = (x,y)$ of the observed image $\underline{O}$, thus obtaining an image patch $\underline{\mathbf{X}}$. Usually, we scan the image $\underline{O}$ from left to right, starting at the top left corner. This patch is then fed to the classifier *y*. If the label $y(\underline{\mathbf{X}})$ is different from the non-object class, then we place a bounding box, labeled with $y(\underline{\mathbf{X}})$, at *t* on the image $\underline{I}$. Otherwise, we shift *W* to $t + Dt$, where Dt controls the amount of overlapping between adjacent image patches (i.e., stride). To detect objects that have different sizes from the window *W*, we can resize the input image $\underline{O}$ and repeat the scanning and classification processes (Figure 5). Finally, a post-processing module might be added in order to delete the multiple bounding boxes, except one, that enclose the same object. The bounding box that is usually kept is the one with the highest probability or score.

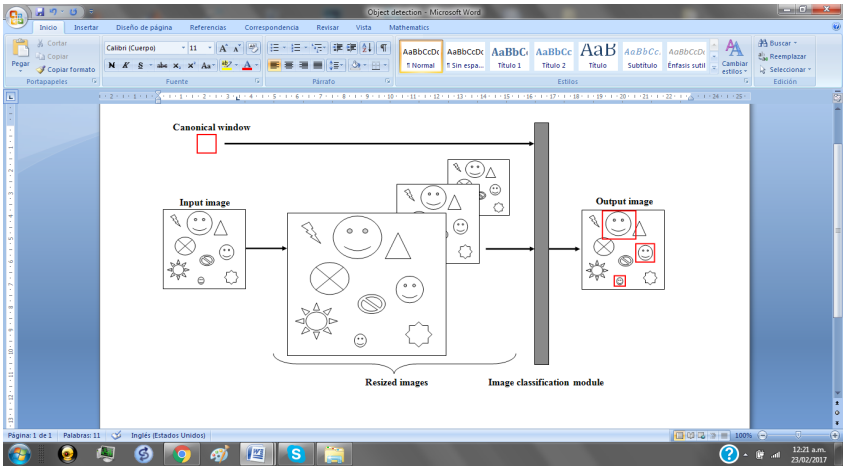


Figure 5 – Example of a scheme for face detection: the input image is resized using 3 different scales. The image patches seen through the canonical window are classified as faces and non-faces. In the output image, the faces detected are enclosed in bounding boxes

6. Conclusion

In this paper, we have reviewed briefly the theory and some algorithms of machine learning that have been applied to the following three fundamental problems of computer vision: image segmentation, image classification and object detection. For each of these three problems, we have presented its formal definition and characteristics. We have also presented a review of the theory of machine learning for designing classifiers under the context of random processes, and finally we have described the most popular algorithms of machine learning applied to computer vision including feed-forward artificial neural networks, convolutional neural networks and deep learning.

Finally, we hope that reading this paper is a good start for new people and practitioners who want to use machine learning for solving problems in the field of computer vision.

References

Benalcázar, M.E, Brun M., & Ballarín, V. (2014). Automatic Design of Aperture Filters Using Neural Networks Applied to Ocular Image Segmentation, IEEE proceedings of EUSIPCO.

Benalcázar, M.E., Brun, M., and Ballarín, V. (2013). Artificial neural networks applied to statistical design of window operators*, Pattern Recognition Letters*, *34*(9), 970–979.

Bishop, C. (2005). *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford.

Campoy, P., Correa, J. F., Mondragón, I., Martínez, C., Olivares, M., Mejías, L., & Artieda, J. (2009). Computer Vision Onboard UAVs for Civilian Tasks, *Journal of Intelligent and Robotic Systems 54*(105), 105–135.

Chou, T.Y. Yeh, M.L., Chen, Y.C. & Chen, Y.H. (2010). Disaster Monitoring and Management by the Unmanned Aerial Vehicle Technology, in: Wagner and Székely B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium.

Dalal, N., & Triggs, B. (2005). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, *1*, 886–893.

Dougherty, E. R. (1999). Random Processes for Image and Video Processing, IEEE Press, New York.

Duda, R., Stork, D., & Hart, P. (2001). Pattern Classification. New York: Wiley.

Engberts, B., & Gillissen, E. (2016). Policing from Above: Drone Use by the Police, The Future of Drone Use, Springer.

Erdelj, M., & Natalizio, E. (2016). UAV-assisted disaster management: Applications and open issues, International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC).

Farag, A., & Lugosi, G. (1993). Strong universal consistency of neural network classifiers, *IEEE Transactions on Information Theory*, *39*(4), 1146–1151.

Gonzalez, R., & Woods, R. (2008). *Digital Image Processing*. Prentice Hall.

Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

Jähne, B. & Haußecker, H. (2000). *Computer Vision and Applications: A Guide for Students and Practitioners*. Academic Press.

Janaia, J., Guney, F., Behla, A., & Geigera, A. (2017). Computer Vision for Autonomous Vehicles: Problems, Datasets and State-of-the-Art, arXiv:1704.05519 [cs.CV].

Ke, R., Li, Z., Kim, S., Ash, J., Cui, Z., & Wang, Y. (2016). Real-Time Bidirectional Traffic Flow Parameter Estimation From Aerial Videos. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 99; 1–12.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning, *Nature*, *521*(7553), 436–444.

Mostafa, Y.A., Lin, H.T., & Magdon-Ismail, M. (2012). *Learning from data*. AMLBook.

Motlagh, N., Taleb, T., & Arouk, O. (2016). Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicles-Based Internet of Things Services: Comprehensive Survey and Future Perspectives. *IEEE Internet of Things Journal*, *3*(6), 99; 1-9.

Murphy, K. (2013). *Machine Learning: a Probabilistic Perspective*. MIT Press.

Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., & Nakazawa, D. (2010). *Autonomous Flying Robots*. Springer.

Otsu, T. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, *9*, 62-66.

Puri, A. (2005). A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance, Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida.

Rao, B., Goutham Gopi, A., & Maione, R. (2016). The societal impact of commercial drones. *Technology in Society 45*, 83–90.

Russell, S. & Norvig, P. (2010). Artificial Intelligence: A Modern Approach, Pearson Education.

Santos J., Gomes & Rodrigues Leta, F. (2012). Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review, *European Food Research and Technology 235*(6), 989–1000.

Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.

Vapnik, V. & Chervonenkis, A. (1971). On the Uniform Convergence of Relative Frequencies of Events to Their Probabilities, *Theory of Probability & Its Applications*, *16*, 264–280.

Viola, P. & Jones, M. (2001). Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.

Wang, L. (1990). Texture classification using texture spectrum. *Pattern Recognition*, *23*(8), 905–910.

Zhang, C., & Kovacs, J.M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture 13*(6), 693–712.

Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., & Liu, C. (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International 62*, 326-343.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 12/11/2018
Aceitação/Acceptance: 11/01/2019

Hacia un marco conceptual para medir el impacto del pensamiento computacional en el aprendizaje de matemáticas en estudiantes universitarios

Saríah López Fierro[1], Gabriela Montenegro[2], Claudia López[3]

sllopezf@alumnos.inf.utfsm.cl, gmontene@inf.utfsm.cl, claudia@inf.utfsm.cl

[1,2,3] Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

Pages:619–631

Resumen: Por años se ha planteado que el pensamiento computacional puede favorecer el aprendizaje en matemáticas. Programas como, los Sistemas Algebraicos Computacionales han sido usados para ello. Sin embargo, estas tecnologías no han logrado atraer la atención necesaria de los estudiantes, manteniéndose, además, una percepción negativa de ellos con respecto a esta asignatura. El presente artículo propone un marco conceptual para estudiar sistemáticamente el uso de SCRATC, como una herramienta alternativa del pensamiento computacional, para acelerar el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de primer año de universidad. El enfoque propuesto y su evaluación se basan en las teorías de motivación y Cognitiva Social. Además, se definen los lineamientos de estudios experimentales que busquen dar soporte y/o refutar el marco conceptual propuesto. Los resultados de este trabajo intentan marcar implicaciones en las áreas de educación, psicología y sistemas de información.

Palabras-clave: pensamiento computacional; SCRATCH; matemáticas; teorías de la motivación; teoría Cognitiva Social.

Towards a conceptual framework to measure the impact of computational thinking on college students' mathematics learning

Abstract: For years it has been suggested that computational thinking can favor learning in mathematics. Programs such as Computational Algebraic Systems have been used for this. However, these technologies have failed to attract enough attention to achieve the expected learning goals. Also, a negative perception of the students with respect to this subject still exists. This article proposes a conceptual framework to systematically study the use of SCRATCH as an alternative tool for the development of computational thinking to accelerate the learning of mathematics in first-year university students. The proposed approach and its evaluation are based on the Motivation and Social Cognitive Theories. In addition, guidelines for experimental studies that seek to support and/or refute the proposed conceptual framework are defined. The results of this work aim to have implications in the areas of education, psychology and information systems.

***Keywords*:** computational thinking; SCRATCH; mathematics; theories of motivation; Social Cognitive theory.

1. Introducción

Las matemáticas son parte de las ciencias más antiguas estudiadas por la humanidad. Los primeros registros formales fueron encontrados entre los períodos de 4000 a 3500 a. C., en remanencias de las que fueron las civilizaciones Mesopotamia y Egipto. Otros aportes significativos fueron documentados, aproximadamente, dos milenios más tarde, en los años 1000 a. C. a 500 d. C. por los griegos (Struik, 2012). Después de ellos, existieron pocas investigaciones importantes hasta el siglo XVII de esta era, en la que, nuevas aplicaciones relevantes a esta ciencia, fueron incorporadas por figuras prominentes como Newton, Descartes, Gauss, entre otros (Bell, 2014). Congruente con su historia, las ciencias matemáticas han sido colocadas como el centro principal de enseñanza en todas las etapas de la educación formal. El autor, Davis (1990) sostuvo que tienen la característica de proveer marcos en la realidad y, en las acciones, de cambiar la percepción de las personas; además, aseveró que eran esenciales debido a que "yacían en las culturas tecnológicas y humanistas a la vez".

Sin embargo, encuestas prueban que existe una percepción negativa general de los estudiantes con respecto a esta asignatura (Kadzer, 2012). En una publicación en base al Q Guide[1], de la Universidad de Harvard, se colocó al curso de matemáticas "Math 55a: Álgebra Abstracta" como la segunda asignatura de mayor complejidad, siendo etiquetada por el 81% de encuestados como "muy difícil" (Kadzer, 2012).

Entonces, siendo las matemáticas tan importantes para nuestra educación, ¿por qué es una de las asignaturas con mayor percepción negativa a nivel universitario?, ¿existen limitaciones pedagógicas al momento de enseñarlas?, o ¿es explicada de forma ineficaz para ser fácilmente entendida?

El pensamiento computacional ha sido aceptado como una rama del computacionalismo, el cual podría otorgar estructuras de pensamiento lógico y también humanista en las personas (Shi, Liu & Hendler, 2014). El presente artículo es la primera etapa de una investigación sobre cómo el pensamiento computacional podría, por medio de factores como la autoeficacia, la emociones y las motivaciones, otorgar a los maestros una nueva herramienta para mejorar en los alumnos la comprensión de tópicos formales que se incluyen en las matemáticas. Este estudio recopila marcos teóricos que pueden ser de beneficio para los desarrolladores de aplicaciones educativas, debido a que muestra referentes con los que se podrían evaluar tecnologías en un entorno académico; además de que se resaltan factores pertinentes a la psicología, los que contribuirían para diseñar herramientas útiles, efectivas y de fácil aceptación por los estudiantes.

2. Trabajo relacionado

Se considera que el término pensamiento computacional (también conocido como CT, por su origen en el inglés: Computational Thinking) fue referido por primera vez en el año 1980 por el matemático y educador, Seymour Papert, en su libro "Mindstorm" (Papert, 1980). En esta publicación, él describe cómo mejoró en los niños la comprensión de los

[1] Q Guide es un portal guía para los estudiantes de la Universidad de Harvard. En este se registran los resultados de las encuestas aplicadas a los alumnos, en los que evalúan su percepción de los cursos que fueron parte (Harvard Q, 2009).

conceptos abstractos de las matemáticas al relacionarlos con objetos; consecuentemente, comparando a los computadores como **"**objetos-con-los-cuales-pensar**"**. Además destacó cómo estos "podrían ser los transportadores de grandes ideas y las semillas de cambios culturales, ayudando a las personas a crear nuevas relaciones con el conocimiento". A esta idea, la llamó "pensamiento computacional".

Papert usó, nuevamente, el término CT en 1996 (Papert, 1996), donde destacó el rol de los computadores en la educación y las formas en las que las matemáticas debían ser enseñadas. Desde entonces, han surgido varias definiciones sobre el significado de CT. Entre ellas, una habilidad que desarrollan los individuos para crear soluciones mediante el uso de técnicas computacionales (García-Peñalvo, 2016); una forma de describir conceptos abstractos, en elementos más *legibles* y fáciles de comprender por los humanos (Figueiredo & García-Peñalvo, 2017). Entre las definiciones más aceptadas se encuentra la aportada por Jeannette M. Wing, en el año 2006, donde lo define como "métodos y modelos que ayudan a diseñar soluciones para resolución de problemas" (Wing, 2006).

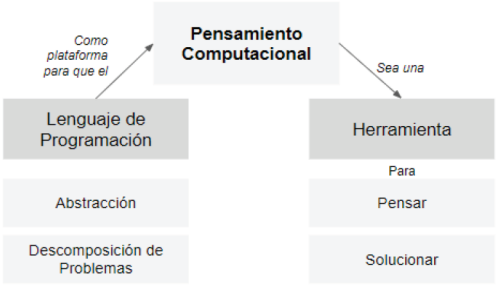


Figura 1 – Relación de un lenguaje de programación con el pensamiento computacional

Aunque Wing recalcó que CT no incluye programar, en otras publicaciones se lo ha definido como la habilidad de "pensar como un científico de la computación" (Grover & Pea, 2013; Grover & Pea, 2018); y por ello, se consideró que la programación debe de verse como una plataforma especial para enseñar el CT, logrando que éste sea una herramienta para pensar y solucionar, por medio de la característica de los lenguajes de programación, en cuanto a descomponer problemas y representar la abstracción (revisar Figura 1). Esto, debido a que involucra conceptos y prácticas, y además ayuda a las tareas cognitivas que son inherentes a las competencias computacionales.

A través del tiempo, las matemáticas han sido colocadas como uno de los principales campos de enseñanza en todas los niveles de educación (Graaf, Segers & Verhoeven, 2018). Aún así, existen opiniones que sugieren que es una de las asignaturas "más difíciles" en el período universitario (Kadzer, 2012). Esta percepción de dificultad podría ser un generador de baja autoeficacia (Hughes & Riccomini, 2011), y por lo tanto, causar mal desempeño académico (Bandura, 1993). La baja autoeficacia hace referencia a la percepción de no tener la capacidad cognitiva para realizar cierta tarea (Bandura, 1993). Este tipo de convicción hace que las personas sientan poca motivación para prepararse, dediquen menos tiempo a entrenarse y eviten de esta forma, superar dificultades (Margolis

& McCabe, 2004). Para poder impulsar la mejora de la autoeficacia en los alumnos, se han desarrollado diferentes métodos, modelos, e instrumentos educacionales (Learning Mathematics for Teaching Project, 2011), los cuales podrían apoyar a estudiantes con tensión y estrés, a causa de su ansiedad por esta asignatura (Gürefe & Bakalim, 2018).

Uno de los métodos empleados para enseñar matemáticas es, precisamente, el *p*ensamiento computacional. En base a la descripción dada por Papert (Papert, 1996), programas matemáticos especializados como los sistemas tipo CAS (Computer Algebra Systems), entre los cuales podemos nombrar Wolfram Mathematica, Maple, MatLab, MathCAD, o R, podrían ser considerados ejemplos de herramientas que responden al concepto de pensamiento computacional. Esto es debido a que, estas herramientas computacionales apoyan a los alumnos en la resolución y comprensión de problemas, además permiten "crear un ambiente que maximiza en los participantes oportunidades para aprender" (The Australian Association of Mathematics Teachers Inc., 2008). Pero, a pesar de que estudios han demostrado que el aprendizaje de conceptos matemáticos con la ayuda de CAS es más efectivo en comparación a los métodos tradicionales (Pierce, 1999), existen otros hallazgos que confirman resistencia de los involucrados hacia estos sistemas (Sevimli, 2016). Por ejemplo, algunos estudiantes aumentan su nivel de ansiedad en las clases, debido a que su desafío no solo se encuentra en el entender ciertos tópicos de las matemáticas, sino también, en el dudar si podrán dominar la herramienta usada para la enseñanza de éstas (Meagher, 2012). Por ende, a pesar del desarrollo de instrumentos tecnológicos, con el fin de apoyar la enseñanza de las matemáticas en los últimos años, se infiere que al usar CAS no se estaría logrando obtener la atención suficiente, ni generando un sentido de autoeficacia en algunos de ellos, lo que podría afectar negativamente el nivel de aprendizaje (Pajares & Miller, 1994).

Otro tipo de herramienta que responden al concepto de pensamiento computacional es SCRATCH. Este es un lenguaje de programación visual, que representa su código por medio de bloques que incluyen sentencias, ordenadas de forma secuencial con el fin de crear historias o aplicaciones. Fue desarrollado en el 2003 por miembros de MIT Media Lab[2], con el objetivo de contribuir con una plataforma "entretenida" para enseñar y motivar a programar, especialmente a adolescentes y jóvenes, de 8 a 16 años. Actualmente, existen más de 34 millones de usuarios registrados, abarcando personas desde los 4 hasta los 80 años de edad[3]. Estudios sobre esta herramienta concluyeron que los *usuarios* "aprenden a pensar de forma creativa, a razonar sistemáticamente y a trabajar colaborativamente"[4] luego de diseñar y programar historias. SCRATCH también permite "experimentar y producir diferentes tipos y niveles de proyectos que otorgan conocimientos clave de ideas computacionales" (Resnick et al., 2009).

Una investigación para evaluar a SCRATCH, como una herramienta para enseñar programación en la universidad, demostró que el 76% de los alumnos de primer año, que lo usaron, lo identificaron como una influencia positiva en su aprendizaje, logrando despertar interés, mientras abarcaban conceptos básicos de programación (Malan & Leitner, 2007). Estos resultados fueron predecesores de la actual involucración de

[2] scratch.mit.edu/about

[3] scratch.mit.edu/statistics/

[4] scratch.mit.edu/info/faq

SCRATCH en el currículo académico de la clase introductoria de programación en la Universidad de Harvard.[5] Además, otros artículos han destacado que esta herramienta podría acelerar el aprendizaje de cualquier persona por su forma más clara (Van Zyl, Mentz & Havenga, 2016; Naz et al., 2017), moderna (Taylor, Harlow & Forret, 2010), y motivante (Yukselturk & Altiok, 2017; Wang, Huang & Hwang, 2014) de enseñar tópicos de diversas áreas; alegando la causa de sus efectos no convencionales a despertar emociones positivas en el aprendizaje de conceptos formales. Por ejemplo, una reciente investigación, documenta como SCRATCH, fue aplicado para enseñar matemáticas en una escuela, logrando despertar una actitud positiva entre los niños, quienes describieron las actividades como "divertidas" (Gadanidis et al., 2017).

Este artículo busca proponer y evaluar el uso de SCRATCH como herramienta de desarrollo del CT para enseñar matemáticas a estudiantes universitarios. Consecuente a esto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿usar SCRATCH como herramienta del pensamiento computacional aumenta el interés y, por lo tanto, fortalece la comprensión en tópicos de las matemáticas de alumnos universitarios?

3. Marco teórico

En la presente sección se revisará el Marco teórico de nuestra propuesta y su evaluación. Nuestro enfoque se basa en considerar las herramientas de desarrollo de pensamiento computacional como sistemas de información, cuyas características influyen en la toma de decisiones de los usuarios y el impacto, en objetivos, tales como los factores del aprendizaje.

Las teorías que se revisarán han sido ampliamente usadas en la disciplina de sistemas de información para modelar y predecir el uso y apropiación de tecnologías (Momani & Jamous, 2017). Se comenzará con teorías de la motivación y luego se explicará la teoría Cognitiva Social.

3.1. Teorías de la motivación para el uso de tecnologías

La teoría de la Motivación propone dos principales constructos que influyen en las personas al momento de decidir: motivaciones extrínsecas y motivaciones intrínsecas. Estas motivaciones son explicadas por la teoría de la Autodeterminación como factores que promueven en estudiantes un interés en el aprendizaje, una valoración de la educación y una confianza en sus propias capacidades y atributos (Deci et al., 1991). Las motivaciones extrínsecas se pueden definir como la fuerza identificada que nos hace actuar; y se clasifica en cuatro tipos que se ejemplifican en la Tabla 1 (Deci & Ryan, 1985). Las motivaciones intrínsecas están más relacionadas a regulaciones íntimas y se pueden definir como la fuerza inherente que nos hace actuar.

Algunos estudios, efectuados entre alumnos de escuelas y colegios, han expuesto cómo la motivación intrínseca se correlaciona con un buen desempeño académico (Gottfried, 1985; Gottfried, 1990; Haywood & Burke, 1977; Lloyd & Baxenblatt, 1984). Así también, otras investigaciones, han revelado cómo los estudiantes con gran motivación intrínseca

[5] http://scratched.gse.harvard.edu/resources/harvard-cs50-introduction-programming-and-scratch

y regulaciones identificadas (por ejemplo, cuando comprenden el propósito de la asignatura que están estudiando) manifiestan satisfacción con sus escuelas y expresan emociones positivas en los salones de clase (Vallerand et al., 1989).

Nuestra propuesta empleará esta teoría para modelar las motivaciones asociadas al uso de SCRATCH, como tecnología del pensamiento computacional y su potencial impacto en el aprendizaje de matemáticas.

Motivación	**Motivación Extrínseca**			
Estilos Regulatorios	**Regulaciones Externas**	**Introyectada**	**Identificada**	**Integrada**
¿Cuál es la fuente de la Motivación?	*Externa*	*Algo Externo*	*Algo Interno*	*Interna*
¿Qué regula la motivación?	Conformidad Premios externos Castigo	Auto-control Ego Premios internos Castigo personal	Importancia personal Valoración Consciente	Congruencia Consciencia Síntesis con uno mismo
Motivación	**Motivación Intrínseca**			
Estilos Regulatorios	Regulación Intrínseca			
¿Fuente de la Motivación?	*Interna*			
¿Qué regula la motivación?	Interés Placer Satisfacción inherente			

Tabla 1 – Teoría Motivacional: tipos de motivaciones (Ackerman & Tran, 2019)

La teoría Cognitiva Social (SCT) propone que el aprendizaje en las personas está relacionado con observar, imitar y mejorar lo que se ha percibido (comportamiento modelado) (Gibson, 2004). Además de que, la manera de actuar de ellas, es también influida por experiencias previas que hayan vivido (Momani & Jamous, 2017), el confiar en la capacidad de realizar algo (auto-eficacia) y la expectativa relacionada con los resultados que tendrían (Bandura, 1986). En otras palabras, su característica principal yace en la influencia social, experiencias personales y expectativas. Por ejemplo, las experiencias negativas de un estudiante con un programa de matemáticas influirían no sólo en sus pocos esfuerzos y escasas expectativas ante una nueva oportunidad de aprender en esta herramienta, sino que también podría afectar negativamente el comportamiento de sus compañeros, aunque no hayan trabajado directamente en ese sistema.

Compeau y Higgins adaptaron las definiciones de SCT para estudiarlas en el contexto del entrenamiento que se da a los usuarios, previo al uso de ciertos sistemas informáticos (Compeau & Higgins, 1995). En esta investigación, encontraron que la autoeficacia sí influye en el rendimiento de las personas, ya que desarrollan expectativas de resultados positivos. Se ven a sí mismas como capaces, y logran, al final, un mejor rendimiento en comparación con quienes dudan de sus habilidades. También hallaron que es posible

alterar la autoeficacia y el rendimiento de las personas por medio del aprendizaje por observación o comportamiento modelado. En su experimento, presentaron a los sujetos un vídeo con dificultades comunes que los usuarios tienen con ciertos sistemas informáticos, lo que les incitó a desarrollar un sentido sólido de su capacidad, mejorando su propio rendimiento. La Figura 2 resume la relación de los constructos hallados en la SCT.

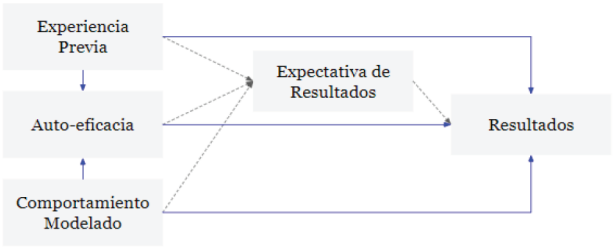


Figura 2 – Relación de los constructos en la SCT (Compeau & Higgins, 1995)

En base a las conclusiones de Compeau y Higgins (1995), se propone adaptar la SCT para aplicarla en el estudio de la aceptación de SCRATCH como herramienta para enseñar matemática. En esta evaluación, se incluirán tres componentes clave para influir en el comportamiento de los estudiantes: la eficacia personal, la expectativa de los resultados y el comportamiento modelado (Momani & Jamous, 2017).

4. Propuesta

Este trabajo propone aplicar conceptos pertenecientes a las teorías de motivaciones y SCT en el uso de SCRATCH, como herramienta para enseñar matemáticas en el primer año de universidad.

Se propone que SCRATCH puede afectar, positivamente, la comprensión de tópicos pertenecientes a las matemáticas, debido a sus características técnicas de fácil visualización y presentación de flujo de procesos, los cuales pueden estimular emociones positivas y propiciar un alto nivel de autoeficacia entre los participantes, contribuyendo de esta forma a motivaciones intrínsecas y extrínsecas, como se ejemplica en Figura 3. Casos publicados por Resnick et al. (2009); Malan & Leitner (2007); Tanrikulu et al. (2011); y Gadanidis et al. (2017), como por ejemplo, la revisión de alcance de sus características por expertos en programación, justifican el uso de esta herramienta en la construcción de prototipos que puedan abarcar los niveles de matemáticas vistos en las universidades.

En base a lo propuesto, se define la siguiente hipótesis de trabajo: estimular a los estudiantes mediante el uso de SCRATCH, como herramienta del pensamiento computacional, eleva la autoeficacia a través de emociones positivas, reforzando las motivaciones para el aprendizaje, acelerando, así, la comprensión en alumnos universitarios en tópicos de las matemáticas.

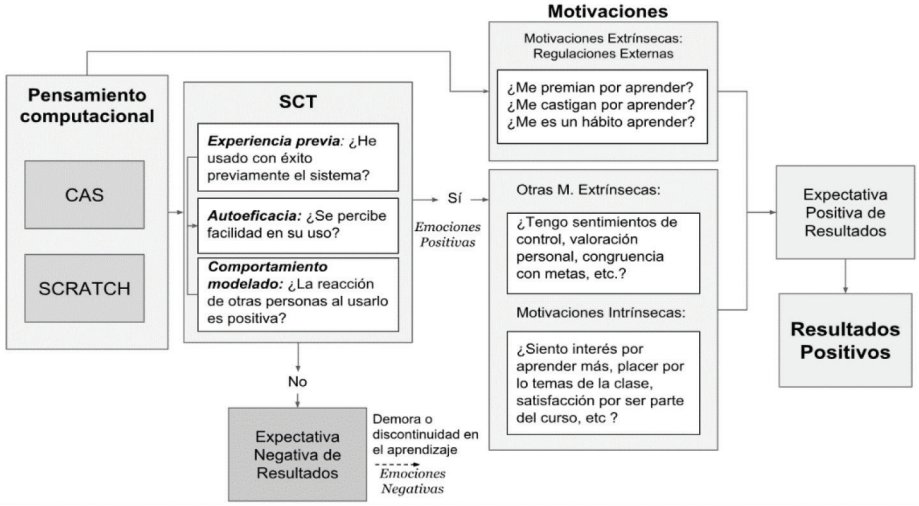


Figura 3 – Propuesta de cómo las teorías de motivaciones y la SCT podrían justificar el uso de SCRATCH para enseñar matemáticas

4.1. Métodos para validar hipótesis

Para validar la hipótesis, y debido a la interdisciplinariedad que enfoca el presente estudio, a continuación se citan algunos de los métodos que podrían aplicarse para obtener resultados de acuerdo al área de interés.

Existen diferentes métodos que permitirían medir características particulares en el área de la psicología social. Por ejemplo, análisis e identificación de problemas por medio de la observación sistemática del comportamiento de los estudiantes (Bakeman, 2000); formas en las que los estudiantes procesan información sobre la relación que están teniendo con los demás, al aplicar entrevistas codificadas y semiestructuradas (Bartholomew, Henderson & Marcia, 2000); evaluación de desarrollo, influencia social y productividad de los grupos (pequeños) que estén aprendiendo matemáticas por medio de SCRATCH (Kerr, Aronoff & Messé, 2000).

Para evaluar la influencia emocional-cognitiva que esta herramienta tendría en los estudiantes, se pueden aplicar técnicas funcionales de neuroimagen, tal como EEG, que permitirían medir la dinámica eléctrica del cerebro al momento de responder ante una tarea cognitiva o emocional. Por medio de esta técnica, se obtienen mediciones relacionadas, también, a la consolidación y retención de la memoria y el contenido emocional (Tyng et al., 2017).

Diseños experimentales y *cuasi* experimentales pueden ser usados para definir, planificar, evaluar y analizar estudios que permita comparar y medir el desempeño de dos grupos de estudiantes (de control y experimento). Diversos ensayos, permitirían aplicar también metodologías estadísticas para extraer ideas valiosas sobre los fenómenos psicológicos-sociales (Cook & Campbell, 1976; Winer, 1962).

4.2. Lineamientos para estudio experimental

Para un primer acercamiento, destinado a evaluar nuestra hipótesis, se propone un diseño experimental "entre-sujetos" ("*between-subjects*[6]"). Los sujetos del grupo experimental y control serían estudiantes de primer año de educación universitaria, lo que implica que serán de género masculino y femenino, y de edades entre 17 a 20 años.

El grupo experimental trabajará con la herramienta SCRATCH. Previo a la ejecución del experimento, al tutor del grupo experimental se le dará el material a usar en la clase con ejercicios matemáticos, ya programados en SCRATCH; por ejemplo, una historia, por medio de la descomposición en bloques, para explicar el proceso de las integrales. A los docentes involucrados en el grupo experimental, se les capacitará sobre cómo usar este material y los métodos de enseñanza pertinentes que les sea permitido incluir en los tópicos a tratarse en la clase.

El segundo grupo es identificado como el grupo de control. El grupo de control recibirá, de parte del tutor, clases de manera tradicional sobre los mismos tópicos en matemática que el primer grupo.

Con el fin de medir los aspectos referidos por la teoría Motivacional y SCT, se propone realizar tres encuestas durante el experimento, que deberán aplicarse antes, durante y después del mismo. Previo al inicio de los cursos de tutoría, se aplicará la primera encuesta, que incluiría consultas sobre la motivación para estar en el curso, sus expectativas, su calificación personal y su evaluación de autoeficacia, en cuanto a los temas que estudiará; esto, en conjunto con una evaluación cognitiva inicial de tópicos previos a la asignatura de matemáticas y sus habilidades en informática. Además, se consultará por factores demográficos como: edad, género y experiencia previa en matemática e informática, para controlar, por los efectos de estas variables, en el análisis. En la mitad del período de clases, se aplicará la segunda encuesta a ambos grupos con el fin de evaluar nuevamente aspectos como: autoeficacia en ese momento*;* percepción utilidad sobre los tópicos de matemáticas revisados con SCRATCH, y el nivel de interés actual por los tópicos revisados, a parte de la motivación para continuar con las clases. Al finalizar el curso, se aplicará la tercera encuesta. Será similar a las anteriores, pero añadiendo también una evaluación cognitiva. Esto, para confirmar el entendimiento de los tópicos y recopilar opiniones referentes a la percepción de los participantes con respecto al cumplimiento de los objetivos del curso. También se podrá visualizar, por medio de los resultados de la encuesta, si el uso de SCRATCH, como apoyo a la enseñanza, realmente afectó positivamente a la misma, en comparación con el grupo de control.

Se sugiere llevar un control del tiempo que toma el enseñar un tópico. En este tipo de registro, se debe incluir la estructura en la que fue organizada la clase; y observaciones si el uso de SCRATCH generó continua interacción de los estudiantes. Estos datos podría ser útiles para concluir si existen diferencias con respecto al tiempo que toma la enseñanza en ambos grupos.

[6] Diferentes personas prueban cada condición, de modo que, cada una, solo está expuesta a una única interfaz de usuario.

Y, finalmente, se propone que, en el análisis, se diferencie si existen variaciones en los resultados después de clasificar a los sujetos por edad, género y experiencia previa en matemáticas e informática; ya que, estudios han probado que dichas características, junto con diferencias psicológicas, podrían ser constructos significativos al momento de concluir sobre los resultados obtenidos (Tyng et al., 2017).

Como justificación para todo lo expuesto, previo a la propuesta del experimento, con el fin de validar los procesos del mismo, se ejecutó una prueba piloto con dos estudiantes de 16 años. En esta, se enseñó, por medio de SCRATCH, las sumatorias, que es un tópico de las matemáticas que todavía no habían sido incluidos en sus programas académicos. Luego, se evaluó no solo su comprensión del tema, sino también se identificó la percepción que tuvieron de la herramienta. La prueba, en su totalidad, tomó un tiempo aproximado de 20 minutos. En este piloto se dio soporte al hecho de que sí es posible que el sentido de la autoeficacia genere interés en los estudiantes para continuar avanzando en otros temas más especializados, en efecto, por medio del mismo instrumento tecnológico.

5. Discusión y conclusiones

El presente estudio justifica, teóricamente, que el pensamiento computacional, por medio de herramientas como SCRATCH, podría ser una metodología adecuada para enseñar matemáticas. Las características gráficas de SCRATCH lograrían otorgar un sentido de autoeficacia por la percepción de fácil usabilidad, debido a sus características técnicas de sencilla visualización y presentación en el flujo de procesos.

Además, se ha planteado un escenario sobre cómo las teorías de la motivación son modelos adecuados en la identificación de razones del por qué una herramienta tecnológica puede ser aceptada y/o rechazada por estudiantes, permitiendo a los maestros reconocer cómo adaptar las mismas y, así, responder mejor a las necesidades de los alumnos.

Para la evaluación de la propuesta se sugieren lineamientos de procesos experimentales en base a las metodologías expuestas en la sección 4.

La complejidad de tópicos escogidos y la población considerada son factores clave para generar interés entre otros investigadores y, por lo tanto, nuestra propuesta puede influir en nuevos enfoques que respalden a SCRATCH, u otras herramientas que motiven al aprendizaje, para acelerar la comprensión de matemáticas en alumnos de universidad.

Referencias

Bakeman, R. (2000). Behavioral observation and coding. *Handbook of research methods in social and personality psychology*, 138–159.

Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action*. Englewood Cliffs: NJ.Prentice-Hall.

Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational psychologist, 28*(2), 117–148

Bartholomew, K., Henderson, A. J. & Marcia, J. E. (2000). Coded semistructured interviews in social psychological research. *Handbook of research methods in social and personality psychology*, 286–312.

Bell, E. T. (2014). *Men of mathematics*. Simon and Schuster.

Compeau, D. R., & Higgins, C. A. (1995). Application of social cognitive theory to training for computer skills. *Information systems research, 6*(2), 118–143.

Cook, T. D. & Campbell, D. T. (1976). The design and conduct of quasi-experiments and true experiments in field settings, en M. Dunnette (Ed.), *Handbook of industrial and organizational psychology*.

Davis, P. (1990). The Humanistic Aspects of Mathematics and Their Importance. *Humanistic Mathematics Network Journal, 1*(5), 1-2. doi:10.5642/hmnj.199001.05.03

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum.

Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G. & Ryan, R. M. (1991). Motivation and education: The self-determination perspective. *Educational psychologist, 26*(3–4), 325-346.

Figueiredo, J., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Improving Computational Thinking Using Follow and Give Instructions. In *Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (3). ACM.

Gadanidis, G., Cendros, R., Floyd, L. & Namukasa, I. (2017). Computational thinking in mathematics teacher education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *17*(4), 458–477.

García-Peñalvo, F. J. (2016). What Computational Thinking Is. *Journal of Information Technology Research, 9*(3), v-viii.

Gibson, S. K. (2004). Social learning (cognitive) theory and implications for human resource development. *Advances in Developing Human Resources, 6*(2), 193–210.

Gottfried, A. E. (1985). Academic intrinsic motivation in elementary and junior high school students. *Journal of Educational Psychology, 20*, 205–215.

Gottfried, A. E. (1990). Academic intrinsic motivation in young elementary school children. *Journal of Educational Psychology, 82*, 525–538.

Graaf, J., Segers, P. C. J. & Verhoeven, L. T. W. (2018). Experimentation abilities in kindergarten children with learning problems. *European Journal of STEM Education*, *3*(3).

Grover, S. & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher, 42*(1), 38–43.

Grover, S. & Pea, R. (2018). Computational Thinking: A competency whose time has come. *Computer Science Education: Perspectives on Teaching and Learning in School, 19*.

Gürefe, N. & Bakalim, O. (2018). Mathematics Anxiety, Perceived Mathematics Self-efficacy and Learned Helplessness in Mathematics in Faculty of Education Students.

Harvard Q. (2009). The Q Evaluations. *Harvard Q*. Recuperado de https://q.fas.harvard.edu/qguide.htm

Haywood, H. C. & Burke, W. P. (1977). Development of individual differences in intrinsic motivation. In *I. C. Uzgiris & F. Weizmann (Eds.), The structuring of experience* (235-263). New York: Plenum.

Hughes, E. M. & Riccomini, P. J. (2011). Mathematics motivation and self-efficacy of middle school students. *Focus on Middle School, 24*(1), 1-6.

Kadzer Danai. (2012). The 10 Hardest (& Easiest) Classes At Harvard University. *Hercampus*. Recuperado de https://www.hercampus.com/life/academics/10-hardest-easiest-classes-harvard-university.

Kerr, N. L., Aronoff, J. O. E. L., & Messé, L. A. (2000). Methods of small group research. Handbook of research methods in social and personality psychology. *Cambridge University Press*, 160-189.

Learning Mathematics for Teaching Project. (2011). Measuring the mathematical quality of instruction. *Journal of Mathematics Teacher Education*, *14*, 25-47.

Lloyd, J. & Baxenblatt, L. (1984). Intrinsic intellectuality: Its relation to social class, intelligence, arid achievement. *Journal of Personality and Socid Psychology, 46*, 646-654.

Malan, D. J. & Leitner, H. H. (2007). SCRATCH for budding computer scientists. *ACM Sigcse Bulletin 1*(39), 223-227.

Margolis, H. & McCabe, P. P. (2004). Self-efficacy: A key to improving the motivation of struggling learners. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, *77*(6), 241-249.

Meagher, M. (2012). Students' Relationship to Technology and Conceptions of Mathematics while Learning in a Computer Algebra System Environment. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, *19*(1).

Naz, A., Lu, M., Zackoski, C. R., & Dingus, C. R. (2017). Applying SCRATCH programming to Facilitate Teaching in K-12 classrooms. In *2017 ASEE Annual Conference & Exposition*.

Pajares, F., & Miller, M. D. (1994). Role of self-efficacy and self-concept beliefs in mathematical problem solving: A path analysis. *Journal of educational psychology*, *86*(2), 193.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Nueva York: Basic Books.

Papert, S. (1996). An exploration in the space of mathematics educations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, *1*(1), 95-12

Pierce, R. (1999). Computer algebra systems facilitate positive learning strategies. *Making the difference*, 431-438.

Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernandez, A.,Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A.,Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B. & Kafai,Y. (2009). SCRATCH: programming for all. *Commun.ACM, 52*(11):60-67.

Sevimli, E. (2016). Do calculus students demand technology integration into learning environment? case of instructional differences. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *13*(1), 37.

Shi, W., Liu, M., & Hendler, P. (2014, 10). Computational Features of the Thinking and the Thinking Attributes of Computing:On Computational Thinking. *Journal of Software, 9*(10). doi:10.4304/jsw.9.10.2507-2513

Struik, D. J. (2012). *A concise history of mathematics*. Courier Corporation.

Tanrikulu, E. & Schaefer, B. C. (2011). The users who touched the ceiling of scratch. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 28*, 764-769.

Taylor, M., Harlow, A. & Forret, M. (2010). Using a computer programming environment and an interactive whiteboard to investigate some mathematical thinking. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *8*, 561-570.

Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in psychology, 8*, 1454.

The Australian Association of Mathematics Teachers Inc. (2008). *Standards for excellence in teaching mathematics in Australian Schools*.

Vallerand, R. J., Blais, M. R., BriBre, N. M. & Pelletier, L. G. (1989). Construction et validation de 1'Echelle de Motivation en Education [Construction and validation of the Academic Motivation Scale]. *Canadian Journal of Behavioral Sciences, 21, 323-349*.

Van Zyl, S., Mentz, E., & Havenga, M. (2016). Lessons learned from teaching SCRATCH as an introduction to object-oriented programming in Delphi. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, *20*(2), 131-141.

Yukselturk, E., Altiok, S. (2017). An investigation of the effects of programming with SCRATCH on the preservice IT teachers' self-efficacy perceptions and attitudes towards computer programming. *British Journal of Educational Technology*, *48*(3), 789-801.

Wang, H. Y., Huang, I., & Hwang, G. J. (2014). Effects of an integrated SCRATCH and project-based learning approach on the learning achievements of gifted students in computer courses. In *Advanced Applied Informatics (IIAIAAI), 2014 IIAI 3rd International Conference on* (pp. 382-387). IEEE.

Winer, B. J. (1962). *Statistical principles in experimental design*. Literary Licensing.

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33-35.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 18/12/2018
Aceitação/Acceptance: 13/02/2019

Adaptación inteligente de rutas tecnológicas para piezas simétricas con cavidades mediante Razonamiento Basado en Casos

Alexis Cordovés García[1], Arlys M. Lastre Aleaga[2], Leandro L. Lorente Leyva[3], Alexis Cordovés Rodríguez[4], Ricardo L. Ávila Rondón[5], Remberto Rodríguez Crespo[6]

alexis.cordoves@ute.edu.ec, arlys.lastre@ute.edu.ec, lllorente@utn.edu.ec, alexcordovs@gmail.com, ricardolar001@gmail.com, remberto.rodriguez@ute.edu.ec

[1,2,6] Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, 230150, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

[3] Universidad Técnica del Norte, 100110, Ibarra, Ecuador.

[4] Universidad de Holguín, 80100, Holguín, Cuba.

[5] Universidad Autónoma de Coahuila, 25280, Torreón, México.

Pages:632–644

Resumen: La presente investigación trata el problema de la concepción de rutas tecnológicas en la planificación de procesos de maquinado (CAPP) para piezas simétricas con cavidades bajo el enfoque del Razonamiento Basado en Casos (RBC). Incluye las piezas tipo árbol, buje y disco, por su uso frecuente en la industria metal mecánica. Fue creado un modelo de datos para la pieza basado en la teoría de elementos de forma, que contiene la información geométrica, dimensional y tecnológica requerida para su elaboración. Se obtuvo la ruta tecnológica de maquinado de un caso de estudio, a partir de la adaptación de la ruta de una pieza prototipo recuperada de una base de casos mediante Inteligencia Artificial (IA), basado en el índice de corte periférico (ICP-2D) y el índice de forma geométrica (IFG) que se sustenta en la teoría de los Elementos de Forma. Su aplicación se extiende a la tecnología convencional y CNC.

Palabras-clave: Razonamiento Basado en Casos (RBC); Elementos de Forma; Ruta Tecnológica; Sistemas CAD/CAPP.

Intelligent Adaptation of Technological Routes for Symmetrical Parts with Cavities by Case Based Reasoning

Abstract: This research deals with the problem of the technological conception routes in the machining process planning (CAPP) for symmetrical parts with cavities under the approach of Case Based Reasoning (CBR). It includes shaft, bushing and disc type parts because of their frequent use in the metal-mechanical industry. A data model for feature-based representation was created, which contains the geometric, dimensional and technological information required for its elaboration. The technological machining route of a case study was obtained from

the adaptation of the route of a prototype piece recovered from a base of cases by means of Artificial Intelligence (AI), based on the peripheral cutting index (PCI-2D) and the index of geometric form (IGF) that is supported by the Feature-based Representation. Its application extends to conventional and CNC technology.

***Keywords*:** Case Based Reasoning (CBR); Form Features; Technological Routes; CAD/CAPP Systems.

1. Introducción

El presente trabajo está encaminado a la formalización del conocimiento del Razonamiento Basado en Casos (RBC), aplicado a la manufactura de productos como paso previo a la concepción de un sistema de planificación de procesos asistido por computadoras CAPP para piezas rotacionalmente simétricas, específicamente un *Hybrid Process Planning*, basado en la tecnología de grupo (TG), lo que permite la *adaptación* de la ruta tecnológica *recuperada* de una base de "casos" mediante la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA). Estos sistemas pueden comprender solo la generación de la ruta corte (Givehchi, Haghighi & Wang, 2015; Ji, Wang, Haghighi, Givehchi & Liu, 2016), o también su integración con el *scheduling*, análisis de costos (Chougule, Kumar & Raval, 2014), y otras funciones de producción así como, la aplicación de la realidad virtual (RV) integrado con la Planificación de Procesos Distribuida en la nube (Cloud-DPP) (Fletcher, Ritchie, Lim & Sung, 2013; Givehchi, Haghighi & Wang, 2017).

Las técnicas de RBC permiten resolver problemas nuevos mediante la adaptación de soluciones previas usadas en problemas similares (Bergmann, Muñoz & Veloso, 2000). Diferentes tipos de conocimiento dan lugar a diferentes tipos de sistemas basados en el conocimiento, entre ellos los sistemas basados en reglas (Peng, Chen, Wu, Xin & Jiang, 2011), los sistemas basados en probabilidades (Castillo, Gutiérrez & Hadi, 1997), sistemas expertos conexionistas o redes expertas (Hilera y Martínez, 1995) y los sistemas basados en casos CBS (*Case-Based Systems*) (Naranje & Kumar, 2017).

Esta técnica de IA se basa en modelos con una gestión eficiente de datos en los que los Elementos de Forma Primitivos (EFP) han encontrado gran aplicación (Givehchi et al., 2015; Ji et al., 2016). Un elemento de forma puede contener información sobre su funcionalidad, ubicación, representación, material, sus dimensiones con las desviaciones límites, la rugosidad superficial y su relación con otros elementos a través de las exigencias de forma y posición. A las que se le pueden añadir propiedades no geométricas tales como: prioridad de la operación tecnológica para su manufactura, herramientas y máquinas herramienta en las cuales se puede fabricar (Ávila-Rondón et al., 1997).

Constituyen atributos claves utilizados en la presente investigación para los EFP la semejanza geométrica, la que es dependiente de las operaciones de corte; las dimensiones y forma de la pieza en bruto, que definen el tipo de fijaciones. La descripción dimensional con las dimensiones y campo de tolerancia lineales, diametrales, de forma y posición, así como, el valor de la rugosidad superficial, que fijan el tipo de elaboraciones consecutivitas

a realizar; el material, que influye en la selección de las herramientas de corte y en los regímenes de corte y el tratamiento térmico, que influye en el orden de las operaciones.

2. Estructura para la representación del caso en la base datos

En general, un caso consiste en la descripción de un problema y su solución (historia del caso). En la presente investigación, un caso es la descripción geométrica y dimensional de una pieza rotacionalmente simétrica y su ruta tecnológica. La representación de un caso deberá abarcar las tres funciones indicadas en la Figura 1.

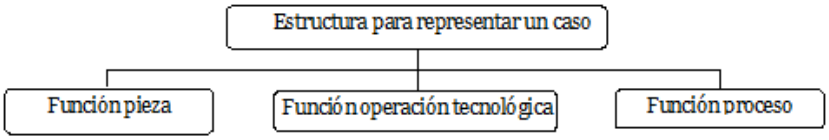


Figura 1 – Estructura para la representación de un caso en la base de casos

2.1. La función pieza

Las piezas son modeladas paramétricamente, mediante los elementos de forma, asignándoles un código denominado *código del elemento de forma primitivo* (EFP). A cada elemento de forma de la geometría del producto, le corresponde los datos siguientes: dimensiones geométricas, tolerancia y acabado superficial (ver Figura 2). Para lograrlo se necesitará tener una librería de elementos de forma paramétricos que permita la representación de la pieza terminada.

En las Figuras 3 y 4 se muestra una librería de Elementos de Forma Primitivos para superficies exteriores e interiores de piezas rotacionalmente simétricas. Los EFP se identifican con un sistema de codificación que inicia con la letra "E" para significar que es elemento de superficies exterior, y con letra "I" para superficie interior, seguido de una o dos letras cuyo significado es: C-Cilíndrico; R-Roscado; A-Agujero; E-Estrías; CH-Chaveteros, etc. Seguido a la zona de letras se ubica la zona numérica en la que se indica un número de orden a partir del nodo padre formando una estructura arbórea hasta llegar a los nodos hijos.

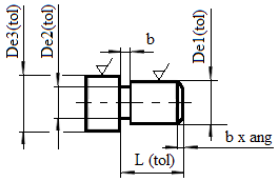


Figura 2 – Representación paramétrica de un elemento de forma primitivo (EFP)

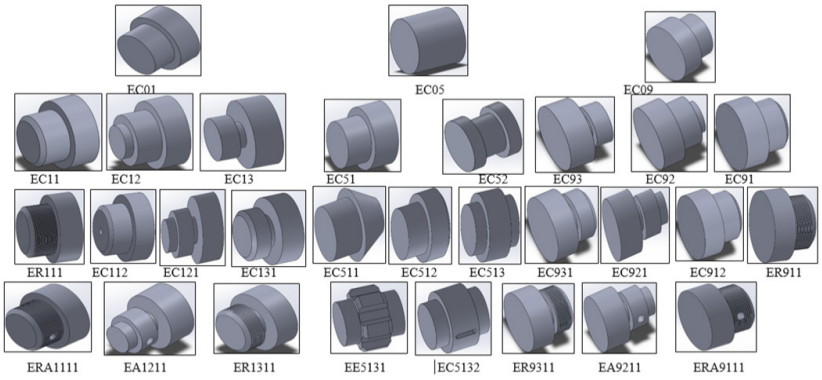


Figura 3 – Librería de Elementos de Forma Primitivos de superficies exteriores de piezas rotacionalmente simétricas

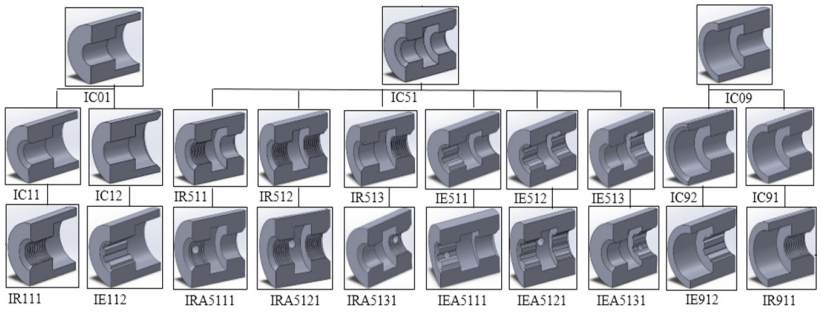
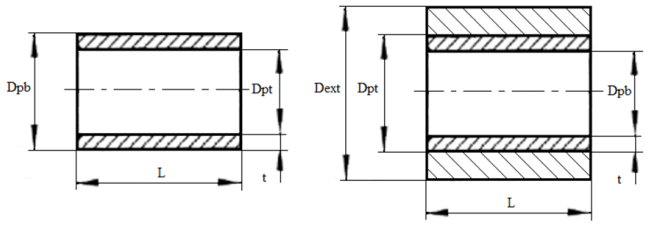


Figura 4 – Librería de Elementos de Forma Primitivos de superficies interiores de piezas rotacionalmente simétricas

2.2. La función operación tecnológica

Las operaciones de corte son consideradas como el conjunto de acciones sucesivas de eliminación de material a un elemento de forma (EFP). Son suficientemente básicas y reciben un único código llamado *código de operación* (CO). En la Figura 5 se muestra la operación básica de cilindrado identificada con el código CO1.



(a) (b)

Figura 5 – Código de la operación de corte periférico: a) Superficie exterior; b) Superficie interior

En la Figura 6 se representa, en la primera fila, las operaciones simples que se realizan en las superficies exteriores de las piezas con simetría axial, y en la segunda fila, las correspondientes a las elaboraciones interiores a este tipo de piezas.

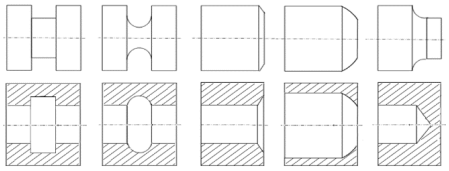


Figura 6 – Códigos de operaciones: a) CO2 (ranura), b) CO3 (ranura con arco), c) CO4 (bisel), d) CO6 (radios de redondeo) e) CO5 (radio de acuerdo y perforado)

También se codifica la forma de colocación y fijación (ver Tabla 1). El cambio de colocación se indicará al especificar una nueva forma de colocación.

Formas de colocación	Código de colocación
Al plato	F01
Entre plato y punto	F02
Entre plato y luneta	F03
Entre puntos	F04

Tabla 1 – Síntesis de la codificación de formas de colocación de las piezas

2.3. La función proceso

Mediante el código de EFP se puede representar simbólicamente, cada estado intermedio del proceso, unido a los *códigos de operación* y a las condiciones de colocación. Cada paso en el proceso de corte se compone de una pieza antecedente, una operación de corte, su colocación y una pieza descendente (ver Figura 7).

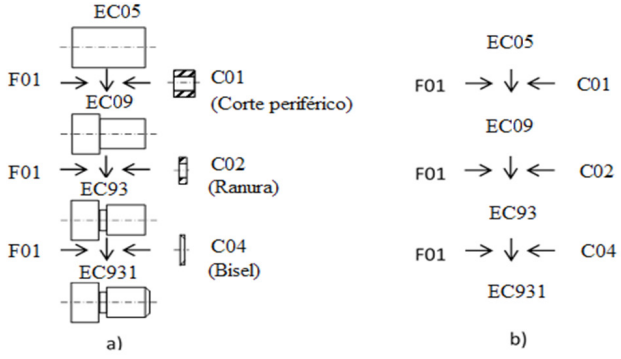


Figura 7 – Representación de proceso de corte con los pasos intermedios

En esta estructura se representa el proceso de corte de una sección de barra laminada fijada en el plato de la máquina herramienta, que constituye el nodo padre o inicial (EC05) al que le son practicadas operaciones de corte sucesivas identificadas por su *Código de operación,* hasta obtener el estado final del EFP o nodo hijo (EC931).

En la Figura 7 se observa que la pieza en bruto representada en este caso por el Código EC05 (nodo padre) es el punto de partida para alcanzar el estado intermedio EC09 (nodo hijo). De esta forma se puede decir que EC05 es el EFP sobre el que se aplica la operación de corte CO1 para alcanzar el elemento EC09. A su vez sobre este último se aplica la operación de corte CO2 de ranurado para alcanzar el estado intermedio EC93 y luego la operación de corte CO4, de biselado, para llegar al estado último del elemento de forma EC931. Así, se infiere que un nodo hijo (forma descendiente) se obtiene a partir de un nodo padre (forma antecedente) al que se le realiza una operación de corte. Siguiendo un recorrido inverso (ascendente), al eliminar cada vez el último dígito del EFP se llega al estado anterior, pudiéndose conocer el estado de elaboración del elemento en cada etapa de tránsito hasta el estado inicial de la pieza en bruto.

En la Tabla 2 se muestra el contenido de las posibles operaciones de corte que se realiza a la pieza en bruto para obtener la pieza terminada.

Operación	**Pasos tecnológicos**
Torneado	Cilindrar en desbaste, cilindrar en acabado, refrentar, taladrar centro, taladrar agujero, escariar, avellanar, biselar, ranurar, perfilar radio, perfilar cono en desbaste, perfilar cono en acabado, perfilar rosca, roscar agujero.
Fresado	Ranurar, fresar superficie plana, tallar dientes, tallar estrías, refrentar, taladrar centro
Mandrinado	Refrentar, taladrar centro, taladrar agujero axial, taladrar agujero coaxial, escariar, avellanar, ampliar orificio, roscar.
Taladrado	Taladrar, barrenar, escariar, avellanar, roscar agujero
Tallado	Tallar dientes, tallar estrías
Rectificado	Rectificar escalón cilíndrico, rectificar escalón cónico

Tabla 2 – Operaciones de corte con su contenido

2.4. Los índices de identificación de un caso en la base de datos

La indexación del caso posibilita la accesibilidad a los datos en la base de casos. Un índice en una librería de casos es, en su implementación más elemental, un puntero a un caso.

Generalmente, cada pieza es fabricada del mismo material y se compone de varios escalones, a su vez, a cada uno le corresponden atributos de forma geométrica, tolerancias, acabado y exigencias de forma y posición. Por lo tanto, en este trabajo se propone la representación de la pieza mediante tres tipos de índices (ver Figura 8):

1. Índice del caso **(IC)**, que será un índice único (ID) para identificar cada caso almacenado en la base de casos.
2. Índice de forma geométrica (**IFG)**, que corresponde a la geometría de la pieza y está formado por la lista de los códigos de EFP que la componen en su dirección

axial, de izquierda a derecha. Iniciando por los EFP exteriores y luego los interiores separados por el carácter "-"

3. Índice secundario **(IS)**, que corresponde a los atributos de la pieza: material, dureza del material, tratamiento térmico y forma y tipo de pieza en bruto.

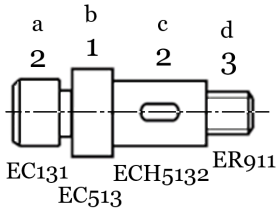


Figura 8 – Indexación de un Caso de acuerdo a su índice principal y secundario

Índice del caso (IC): **CASO01**

Índice de forma Geométrica (IFG): **EC131_EC513_ECH5132_ER911**

Índice secundario (IS): Material Pb (Acero), HD (197 HB), Forma Pb (Laminado redondo), Tratamiento térmico (Normalizado)

El caso, identificado con el código (IC), es la descripción de la pieza y de su ruta tecnológica. La geometría de la pieza terminada está compuesta por los EFP_i (i = 1,2,...n) que forman el índice de forma geométrica IFG. Cada elemento de forma con su descripción dimensional contiene: la rugosidad superficial (Rz_i), tolerancias (IT) de dimensiones lineales, diametrales, de forma y posición.

La pieza en bruto (PB) incluye sus dimensiones (D_{pb}) expresadas en la relación L/D, la dureza (HD), el material (T_m) y su forma (F_{pb}). Dentro de las operaciones se encuentran el Tratamiento Térmico (TT), los pasos tecnológicos (P) y los pasos auxiliares (A). En adición a índices de identificación del caso en la base de datos se usa el Indice de Corte Periférico para establecer la secuencia de corte de la pieza:

Índice de Corte Periférico (ICP-2D). La disposición de los escalones respecto al de mayor diámetro influirá en el orden en que se efectúen los pasos tecnológicos. Basado en esta observación, se crea el (ICP-2D) en base a los diámetros y su disposición relativa. Así, el índice ICP-2D: 2-1-2-3 corresponde a la pieza de la Figura 8, el diámetro mayor con valor (1), tiene una posición intermedia. A cada elemento de forma le corresponde un dígito, el valor (3), seguido del (2), indica que el escalón (c) se elaborará primero que el (d) a partir del escalón de mayor diámetro (b). Se procedió similarmente en el escalón ubicado a la izquierda del escalón (b), el escalón (a) y (c) al no ser contiguos tienen el mismo dígito (2), y pueden tener la misma prioridad al maquinarse según las variantes, (b-c-d) o (b-a). Por razones de carácter tecnológico normalmente se maquina primero según la variante (b-a) para preparar la base tecnológica (a) y maquinar así el mayor tiempo posible en condiciones de más rigidez, con mayor masa de material, lo que permite incrementar el valor de los regímenes de corte.

3. Modelo de organización de los datos de la base de casos

La eficiencia y calidad de los resultados que entregue el sistema CAPP dependerá de la estructura de datos y del algoritmo de gestión de la información utilizado. Un caso se representa como la suma de la información de la pieza y su ruta tecnológica. A su vez, la pieza contendrá información de sí misma y de su pieza en bruto

La representación del Caso será:

Caso = Pieza + Ruta Tecnológica

Pieza = Pieza terminada + Pieza en bruto

Pieza terminada = {(ICP-2D, (EFP_i, ($D_{i,p}$; $L_{i,p}$; $Rz_{i,p}$; $IT_{i,p}$))); (ICP-2D, (EFP_j, ($D_{j,q}$; $L_{j,q}$; $Rz_{j,q}$; $IT_{j,q}$)))} “ $_p$ Î I_i ; $_i$ =1,..., it; “ $_q$ Î I_j ; $_j$ =1,..., jt;

I_i: Conjunto de los elementos de formas primitivas del contorno exterior

I_j: Conjunto de los elementos de formas primitivas del contorno interior

Pieza en bruto = {Mtt, HB, Tm, Fpb, Dm}

Ruta Tecnológica = {MH_i ($BasTec_{m,n}$ ($P_{1,m;}$ $P_{2,m;}$ $P_{k,m}$))} “ $_m$ Î I_k ; k=1,..., kt; “ $_n$ Î I_m ; m=1,...,mt;

I_m: Conjunto de bases tecnológicas necesarias para la elaboración de la pieza

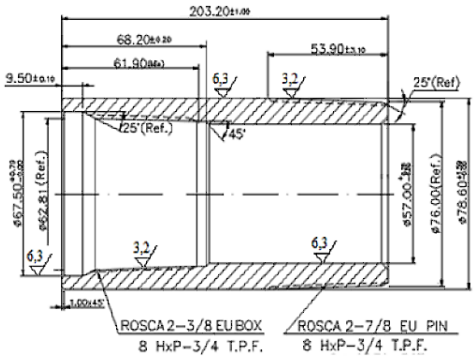
Donde: ICP-2D: Índice de Corte Periférico 2D; D: diámetro; L: longitud de elaboración; Rz: Rugosidad; IT: Exactitud; Mtt: Tratamiento térmico; HB: Dureza; Tm: Material; Fpb: Forma de pieza en bruto; Dm: Relación largo-ancho Pb; MH: Máquina herramienta; BasTec: Base tecnológica; P: Paso tecnológico.

4. Caso de estudio

Para la realización del caso de estudio se asume que se cuenta con una base de casos formada por piezas rotacionalmente simétricas y sus correspondientes rutas tecnológicas de fabricación por maquinado. Cada pieza contiene asociado su modelo 3D con información sobre su forma geométrica y de la pieza en bruto como: el material, dureza, las operaciones de maquinado, los pasos tecnológicos intermedios en la fabricación, las tolerancias y la rugosidad superficial de cada elemento de forma que la componen. A las piezas que conforman la base de casos se le denominan conjunto de piezas prototipo.

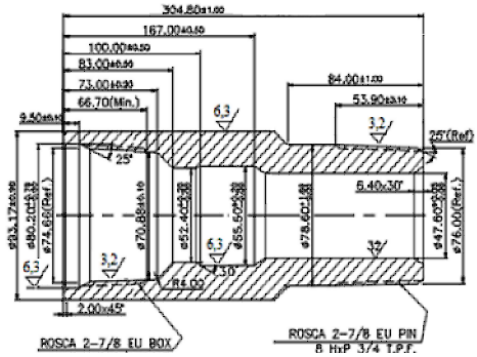
Del conjunto de piezas prototipo se conoce, además, el índice de forma geométrica (IFG) y el índice de corte periférico (ICP-2D). En la base de casos se tiene la estructura jerárquica de los procesos de corte de cada (EFP), la que se utilizará para determinar el proceso de corte para la nueva pieza.

Se pretende generar la ruta tecnológica nueva para la pieza que se muestra en la Figura 9. Con este fin se asume, que al cumplirse la fase de recuperación en el sistema de RBC se extrajo de la base de casos la pieza prototipo (ver Figura 10) más semejante a la nueva pieza. Luego, al cumplirse la fase de adaptación, se obtendrá el esquema de ruta tecnológica para la nueva pieza.



IC: Nueva pieza
IFG: EC00_ER911—IC11_IR111_IC91
ICP-2D: 1_2—1_2_3
Material: SAE 1045
Pieza en bruto: Tubo calibrado
Dureza de suministro: 197 HB
Tratamiento térmico: Normalizado

Figura 9 – Dibujo de la nueva pieza a fabricar, con su descripción dimensional



IC: Pieza prototipo
IFG: EC00_ER911—IC11_IR111_IC05_
IC91
ICP-2D: 1_2—1_2_3_4
Material: SAE 1020
Pieza en bruto: Tubo calibrado
Dureza suministro:150 HB
Tratamiento térmico: Normalizado

Figura 10 – Dibujo de la pieza prototipo recuperada de la base de casos, con su descripción dimensional

4.1. Definición de la estructura jerárquica de los procesos de corte

A partir del EFP de cada escalón de la pieza se determinarán los EFP antecedentes (nodos padres) recorriendo de forma ascendente la estructura mostrada en la Figura 11. Se destaca en color naranja los nodos de EFP que corresponden a la nueva pieza. En las Tabla 3 y 4 se muestran la estructura de EFPs de la nueva pieza y de la pieza prototipo respectivamente.

EFP antecedentes			IFG de la nueva pieza	ICP-2D
			Superficie exterior	
			EC00	1
EC00	EC09	EC91	**ER911**	2
			Superficie interior	
IC00	IC01		**IC11**	1
IC00	IC01	IC11	**IR111**	2
IC00	IC09		**IC91**	3

Tabla 3 – Secuencia de nodos padres y sus antecedentes en los EFP de la nueva pieza

EFP antecedentes			IFG de la pieza	ICP-2D
			Superficie exterior	
			EC00	1
EC00	EC09	EC91	**ER911**	2
			Superficie interior	
IC00	IC01		**IC11**	1
IC00	IC01	IC11	**IR111**	2
IC00			**IC05**	3
IC00	EC09		IC91	4

Tabla 4 – Secuencia de nodos padres y sus antecedentes en los EFP de la pieza prototipo

Adaptación de la ruta recuperada

Se procederá a efectuar los cambios requeridos en el orden de ubicación de los EFP para obtener la nueva pieza a partir de la pieza prototipo, este es un paso previo para elaborar la ruta tecnológica de la nueva pieza. Existe gran correspondencia en los ICP-2D como se ve en las Tablas 3 y 4, con cinco dígitos coincidentes de los 6 que tiene la pieza prototipo. En la superficie exterior en ambos casos se cuenta con una superficie cilíndrica EFP – EC00 que constituye el diámetro exterior del tubo laminado y el mismo elemento roscado en el extremo derecho de ambas piezas EFP - ER911, elaborado a partir del diámetro exterior EFP - EC00. En las superficies interiores se parte en ambos casos del escalón cilíndrico de diámetro mayor ubicado a la izquierda de la pieza EFP – IC11, seguido del escalón roscado IR111, estas superficies son coincidentes en posición y en tipo de EFP, hasta el momento no se requiere de modificación alguna.

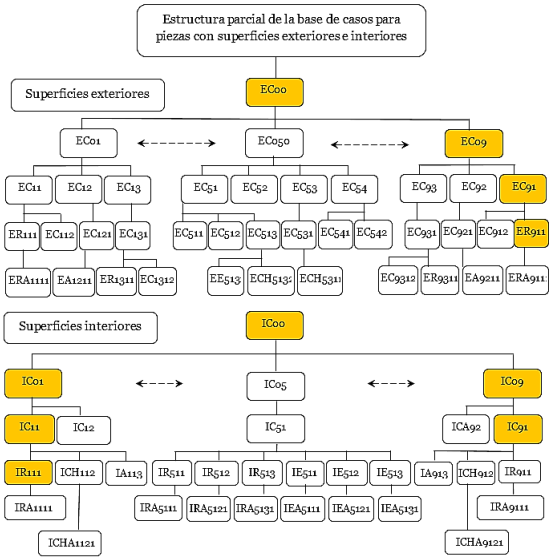


Figura 11 – Estructura jerárquica parcial de los procesos de corte en la base de casos para superficies exteriores e interiores

Al recorrer los EFP del prototipo recuperado y los de la nueva pieza, la primera no coincidencia se produce entre los EFP IC05 del prototipo y el EFP IC91 de la nueva pieza. El escalón cilíndrico EFP - IC05 tiene una posición al centro de la pieza y el EFP – IC91 se ubica en el extremo derecho de la nueva pieza, por lo que se precisa de una acción de sustracción y habrá que recorrer el árbol de antecedentes del EFP - IC05 de la pieza recuperada hasta encontrar el EFP común más cercano a la nueva pieza, este elemento es EFP – IC00 y es precisamente la pieza en bruto, el tubo laminado. De esta manera hay que eliminar el EFP – IC05 del prototipo para incluir, mediante una operación de adición, los EFPs – IC09 e IC91, quedando así modificada la secuencia de EFP del prototipo recuperado en la secuencia de la nueva pieza. En la Figura 12 se ilustra el proceso de adaptación correspondiente y en la Tabla 5 se muestra la ruta tecnológica para la nueva pieza elaborada a partir de la ruta tecnológica del prototipo recuperado.

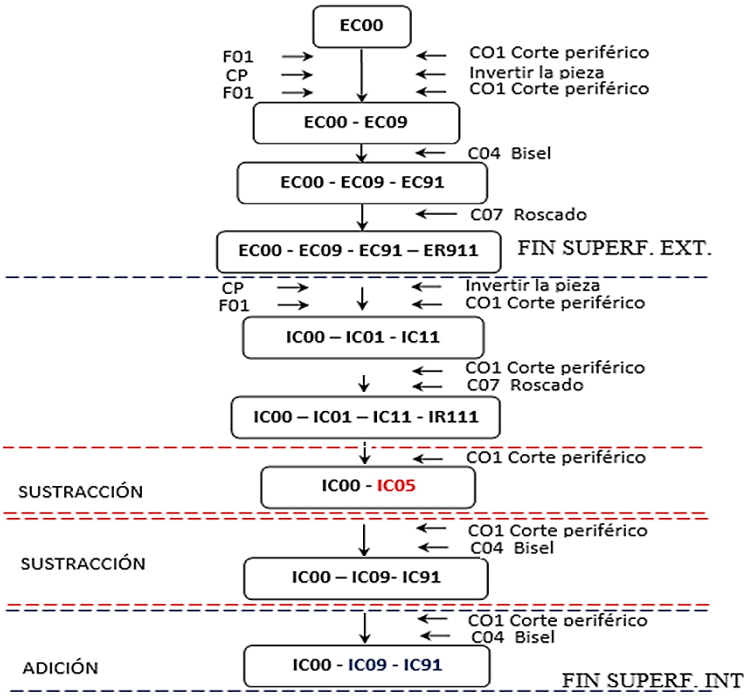


Figura 12 – Representación del proceso de adaptación del caso recuperado CASO02 a la nueva pieza

5. Análisis y discusión de resultados

Se observó un alto nivel de coincidencia entre las rutas tecnológicas de la pieza recuperada y la obtenida para la nueva pieza. Ello fue posible gracias a sus grandes coincidencias geométricas (igual cantidad y distribución de los escalones) así como, en sus semejanzas tecnológicas, lo que corrobora la relación existente entre los EFP y los procedimientos tecnológicos para su obtención.

Al adaptar la ruta tecnológica de la pieza prototipo a la nueva pieza (ver Tabla 5), fue preciso realizar dos operaciones de sustracción para eliminar los EFPs IC05 correspondiente a la entalladura del escalón intermedio de la pieza prototipo y el IC91 correspondiente al escalón interior roscado y una operación de adición correspondiente al escalón interior roscado IC91 en la nueva pieza (ver también la Figura 12). Del código ICP-2D de la pieza prototipo: 1_2-1_2_3_4, fue eliminado el dígito 4 correspondiente al IFG IC91, por no tener su equivalente en el código ICP-2D de la nueva pieza: 1_2-1_2_3.

Las modificaciones en los índices de forma geométrica (IFG) de la pieza prototipo y de la nueva pieza corroboran estos cambios como se observa a continuación:
Operación de sustracción: IFG Prototipo: EC00_ER911—IC11_IR111_**IC05_IC91**
Operación de adición: IFG de la Nueva Pieza: IC00_ER911—IC11_IR111_**IC91**

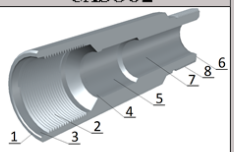
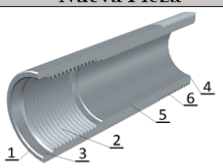
Pasos tecnológicos de la ruta recuperada	Ruta tecnológica CASO02 	Sustraer	Pasos tecnológicos de la nueva ruta generada	Ruta tecnológica Nueva Pieza 	Adicionar
COL-A	***Colocar la pieza***		***COL-A***	***Colocar la pieza***	
IC01-1	Refrentar superficie 1		IC01-1	Refrentar superficie 1	
IC01-2	Elaborar bisel exterior 1		IC01-2	Elaborar bisel exterior 1	
IC11	Cilindrar superficie 3		IC11	Cilindrar superficie 3	
IR111-1	Cilindrar-conificar superficie 2		IR111-1	Cilindrar-conificar superficie 2	
IC05-1	Cilindrar superficie 4	➡	IR111-2	Roscar superficie 2	
IC05-2	Entallar superficie 5	➡			
IR111-2	Roscar superficie 2				
COL-B	***Invertir pieza***		***COL-B***	***Invertir pieza***	
IC91-1	Refrentar superficie 6		IC91-1	Refrentar superficie 4	
IC91-2	Cilindrar superficie 7		IC91-2	Cilindrar superficie 5	
IC91-3	Elaborar bisel superficie 7		IC91-3	Elaborar bisel superficie 5	
EC09	Cilindrar-conificar superficie 8	➡	EC09	Cilindrar-conificar superficie 6	⬅
EC91	Elaborar bisel superficie 8	➡	EC91	Elaborar bisel superficie 6	⬅
ER911	Roscar superficie 8	➡	ER911	Roscar superficie 6	⬅

Tabla 5 – Obtención de la ruta tecnológica de la nueva pieza a partir de la ruta recuperada

6 Conclusiones

Se presentó un modelo de datos para el almacenamiento de la información en la base de casos, que abarca la información geométrica y dimensional de cada caso con su pieza en bruto, y la ruta tecnológica para su elaboración con toda la información tecnológica asociada.

Puede definirse la geometría de piezas con superficies exteriores e interiores, independientemente a su complejidad, si es posible desmembrarse en Elementos de Forma Primitivos elementales, organizados a partir del Índice de Corte Periférico (ICP-2D), y del Índice de Forma Geométrica (IFG) sustentado en la teoría de los Elementos de Forma.

Mediante el Razonamiento Basado en Casos aplicado al proceso de manufactura de piezas con cavidades, se obtuvo la ruta tecnológica de una nueva pieza, a partir de la adaptación de la ruta tecnológica de maquinado de una pieza prototipo recuperada de una base de casos.

Referencias

Ávila-Rondón, R.L., et. al. (1997). CAPP based on form features. In *13th ISPE/IEE International Conference on CAD/CAM Robotics & Factories of the Future'97*. Pereira, Colombia.

Bergmann, R., Muñoz, H., & Veloso, M. (2000). General-Purpose Case-Based Planning: Methods and Systems. University of Kaiserslautern, Germany, and Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.

Castillo, E., Gutiérrez, J. M., & Hadi, A. S. (1997) Expert Systems and Probabilistic Network Models. Springer, New York. Versión Española editada por la Academia Española de Ingeniería. DOI: 10.1007/978-1-4612-2270-5

Chougule, P. D., Kumar, S., & Raval, H. K. (2014). Relating Product Manufacturing Decisions to Environmental and Cost Performance Using CAPP. *Procedia Materials Science*, 6, 476-481. DOI: 10.1016/j.mspro.2014.07.061

Fletcher, C., Ritchie, J., Lim, T., & Sung, R. (2013). The development of an integrated haptic VR machining environment for the automatic generation of process plans. *Computers in Industry*, 64(8), 1045–1060. DOI: 10.1016/j.compind.2013.07.005

Givehchi, M., Haghighi, A., & Wang, L. (2015). Generic machining process sequencing through a revised enriched machining feature concept. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 564–575. DOI: 10.1016/j.jmsy.2015.04.004

Givehchi, M., Haghighi, A., & Wang, L. (2017). Cloud-DPP for distributed process planning of mill-turn machining operations. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 47, 76–84. DOI: 10.1016/j.rcim.2016.11.007

Hilera, J., & Martínez, V. (1995). Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones. Addison-Wesley.

Ji, W., Wang, L., Haghighi, A., Givehchi, M., & Liu, X. (2016). A reachability based approach for machining feature sequencing. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 96-104. DOI: 10.1016/j.jmsy.2016.06.006

Naranje, V., & Kumar, S. (2017). Knowledge-Based System for Design of Deep Drawing Die for Axisymmetric Parts. In *AI Applications in Sheet Metal Forming* (pp. 93–119). Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-10-2251-7_5

Peng, G., Chen, G., Wu, C., Xin, H., & Jiang, Y. (2011). Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 26–38. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.05.084

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 15/11/2018
Aceitação/Acceptance: 14/01/2019

Análisis de la existencia de lógica abductiva en el desarrollo de *software*: estudio de caso

César Felipe Henao Villa[1], David Alberto García Arango[2], Jovany Arley Sepúlveda-Aguirre[3], Yeimmi Parra Bohórquez[4], Óscar Andrés Cuéllar Rojas[5], Luis Fernando Garcés Giraldo[6]

chenao@coruniamericana.edu.co, dagarcia@coruniamericana.edu.co, jasepulveda@americana.edu.co, yparrab7@gmail.com, ocuellar@coruniamericana.edu.co, lgarces@americana.edu.co

[1,2,4,5,6] Corporación Universitaria Americana, 050012, Medellín, Colombia.

[3] Corporación Universitaria Americana, 050032, Bello, Colombia.

Pages:645–657

Resumen: Cuando un desarrollador inicia la toma de requisitos del desarrollo de un *software* del cual poco conoce su naturaleza, se ve abocado inexorablemente a una indagación que pasa por procesos lógicos que se encuentran sometidos a procesos de verificación y validación de la coherencia entre el modelo y la esencia misma del sistema (abierto o cerrado) que desea emularse. La labor del que toma los requisitos es en doble sentido, puesto que se acerca al objetivo observable de funcionalidad del sistema (relación entrada/salida) mediante el estudio de patrones de interacción. Se realizó el estudio de encuestas y análisis de percepciones de los desarrolladores, lo cual arrojó como resultado el planteamiento de estructuras para visualizar la injerencia del razonamiento abductivo en el desarrollo.

Palabras-clave: Abducción; desarrollo de *software*; sistema biométrico.

Analysis of the existence of abductive logic in software development: case study

Abstract: When a developer initiates the taking of requirements of the development of a software of which he does not know so much, it will go inexorably committed to an inquiry that goes through logical processes of verification and validation of the coherence between the model and the very essence of the system (open or closed) that he want to emulate. The work of the requirements-taker is two-fold since it approaches the observable objective of system functionality (input/output relationship) by studying patterns of interaction.

Keywords*:* Abduction; software development; biometric system.

1. Introducción

Cada vez que un desarrollador inicia el proceso de analizar los requisitos para la elaboración de un *software*, se encuentra con la ardua tarea de reconstruir casi que a un nivel indicial las futuras experiencias del usuario con base en representaciones lingüísticas de las interrelaciones experienciales que el usuario como sujeto/cliente identifica a tenor del mayestático papel de la esfera discursiva en la cual se inscribe el proyecto de desarrollo. En la búsqueda de esclarecer este proceso de construcción se resalta el esfuerzo de establecer casos de uso (Jacobson, 1992) que de una forma indirecta generan enunciaciones relacionadas con el objetivo mismo que pretende el software que se ha de desarrollar.

Vale la pena considerar que, desde los inicios de la inteligencia artificial, se ha buscado desentrañar, entre muchas otras cosas, el proceso creativo de la toma de requisitos mediante la construcción de estructuras algebraicas que den cuenta de la forma en que razona el ser humano. Tales esfuerzos han permitido la incursión en avances para sistemas expertos y modelos dinámicos en sistemas complejos que emulan procesos naturales y se acercan a la concepción de pensamiento y aprendizaje humano desde el punto de vista de la máquina. Aquellos impulsos se observan también en la utilización de una estructura Kripke (Alur, Courcoubetis & Dill, 1993) en la verificación de modelos, desde la cual se pretende verificar la correlación entre los estados iniciales de un modelo y la lógica de una propiedad deseada.

El abordaje de estos estudios ha encontrado frutos en la consideración del razonamiento abductivo como acercamiento a la inferencia lógica del caso mediante la relación de indicios o síntomas con estructuras hipotéticas. Peirce, en su obra traducida al español titulada S*obre la clasificación natural de los argumento*s (1988), resalta la existencia de una tríada de razonamiento lógico a saber: razonamiento deductivo, razonamiento inductivo y razonamiento abductivo donde pone especial énfasis en el razonamiento abductivo como la lógica natural de aproximación al objeto de estudio, una aproximación dotada de acercamientos diferenciales que se pulen en la medida en que se reconocen dimensiones del objeto a medida que el sujeto interactúa con él.

Es por tal motivo que, para suscitar una aproximación a estas conceptualizaciones en el campo del desarrollo de *software*, se considerará el estudio del proceso de construcción de un sistema de información que busca resolver un tema relacionado con el control a la asistencia de los docentes y estudiantes a cada una de las asesorías de los proyectos integradores formativos que se desarrollan en la Facultad de Ingeniería de la Corporación Universitaria Americana. Se ha elegido el estudio del desarrollo de este *software,* puesto que obedece a la necesidad social de llevar distintos registros de las actividades realizadas. Por tal motivo, los registros de asistencia se han impreso desde hace siglos y durante ese mismo tiempo, se ha almacenado la información de forma física.

Para tal efecto, se describe mediante entrevista física, cómo se ha desarrollado el proyecto y como han influenciado las subjetividades en las etapas de desarrollo. Igualmente, mediante encuestas se identificaron diversos escenarios relacionados con las perspectivas de desarrollo del sistema para posteriormente contrastarlo con las versiones de construcción del diagrama de flujo en la reconstrucción del proceso de la

aplicación que utilizarían estudiantes, docentes, y personal encargado (administrador). Finalmente, se identificaron las conclusiones a las que se llegó con el desarrollo del proyecto desde la identificación de la presencia de procesos abductivos en las etapas de diseño y posterior desarrollo del *software,* para de esta forma, presentar opciones metodológicas para la identificación de patrones por la vía abductiva.

2. Materiales y métodos

El método utilizado fue en principio un estudio de caso, el cual, según Yin (1989), debe utilizar múltiples fuentes de datos para el cumplimiento del principio de triangulación. Para la presente investigación, esta se realizó en primer lugar considerando un análisis discursivo con enfoque hermenéutico de diferentes listas de chequeo de verificación de requerimientos tanto a nivel nacional como internacional. De esta forma se identificaron aspectos en común para este conjunto de listas respecto a lo que se identifica como una hipótesis plausible del resultado de una interacción; en segundo lugar, se obtuvieron rasgos de lógica abductiva en los resultados obtenidos de una encuesta realizada a la comunidad educativa respecto a la necesidad del software de control biométrico para asesorías de proyectos integradores (el caso que se ha de estudiar).

Mediante la comparación de rasgos similares, se identificaron los componentes que, a la luz de la teoría de abducción basada en lógica, intervinieron en el desarrollo del *software*. En tercer lugar, se establece si efectivamente los rasgos aquí identificados se correlacionan con el diagrama de flujo del *software*. Para tal efecto, se analizaron los cambios históricos del diseño y cómo estos impactan en la descripción directa o indirecta del objetivo del *software*. De esta forma, siguiendo el enfoque expuesto por Yin (1989), en Martínez (2006), se planteó un diseño de investigación basado en las preguntas de investigación, las proposiciones teóricas, la(s) unidad(es) de análisis, la vinculación lógica de los datos proposicionales y los criterios para la interpretación de datos.

Como proceso resultante, se describieron los subconjuntos impropios de las hipótesis, manifestaciones, casos y teorías que subyacen a la descripción de los casos de uso y que dejarían entrever la acción la lógica abductiva en el proceso de desarrollo de la solución a una problemática que se ha evidenciado en la toma de asistencia en las asesorías a los proyectos integradores, método que presenta varios problemas técnicos y físicos; por ejemplo, la manipulación de la papelería por parte de los asesores o del personal encargado de recibir cada una de las planillas para su manejo documental y de archivo. En este proceso se pueden presentar pérdidas, daños en la papelería, fraude en el momento del registro de los datos, o no llenar la información completa de las planillas, dejando al registro de la asesoría con vacíos.

Es así como en el presente trabajo se plantea como hipótesis que para el análisis de los casos de uso del caso de estudio en cuestión, se utiliza la abducción para identificar suposiciones (casos) de comportamientos del sistema que permitan la inferencia de observaciones de estados del sistema, desde una descripción dada del sistema. Lo cual implica "buscar el caso que, ajustado a unas reglas, se asocia a un resultado" (d'Avila Garcez, Russo, Nuseibeh & Kramer, 2003).

3. Aproximaciones teóricas a la toma de requerimientos

Con la finalidad de enfocar más adecuadamente el estudio de las características de la toma de requerimientos para el *software* en cuestión, se identificaron referentes nacionales e internacionales en la toma de requerimientos.

A nivel internacional, se identifica que, según IEEE, un requerimiento es "una sentencia que traduce o expresa una necesidad y sus restricciones y condiciones asociadas" (ISO/IEC/IEEE, 2011). Igualmente, se considera "la ingeniería de requerimientos como "una función interdisciplinaria que media entre los dominios del adquisidor y el proveedor para estabilizar y mantener los requerimientos que se deben alcanzar por el sistema, *software* o servicio de interés". Se distinguen como labores de gestión de requerimientos todas aquellas actividades relacionadas con su descubrimiento, elicitación, documentación, mantenimiento, comunicación y trazabilidad. En principio, los requerimientos no son identificados como tal, son más bien necesidades, metas u objetivos del adquisidor, los cuales bajo el uso de operaciones de software se transforman en requerimientos del sistema.

Respecto al concepto de elicitación de requerimientos, Zowghi & Coulin (2005) lo definen como "el proceso de buscar, descubrir, adquirir y elaborar requerimientos para sistemas basados en computador". Los autores plantean la actividad de elicitación de requerimientos como un proceso complejo que como tal implica el relacionamiento con entes con propiedades de conexión, interdependencia, diversidad, adaptabilidad, dependencia de la ruta elegida y emergencia (no reducible a sus partes individuales). El estudio de Zowghi & Coulin identifica un relacionamiento ente las técnicas y aproximaciones para diversas actividades de elicitación de la forma propuesta en la Tabla 1.

Actividad	Entrevistas	Análisis del Dominio	Grupo de trabajo	Etnografía	Prototipado	Metas	Escenarios	Puntos de vista
Comprensión del dominio	X	X	X	X		X	X	X
Identificación de fuentes de requerimientos	X	X	X			X	X	X
Análisis de los interesados (stakeholders)	X	X	X	X	X	X	X	X
Selección de técnicas y aproximaciones	X	X	X					
Elicitación de requerimientos	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 1 – Técnicas y aproximaciones para actividades de elicitación. (Zowghi & Coulin, 2005)

Tal y como puede observarse, las técnicas utilizadas son derivadas de procesos de investigación principalmente cualitativa. De esta forma puede inferirse que efectivamente, el mecanismo funcional de la ingeniería de requisitos es en principio de corte cualitativo para, posteriormente generar indicadores preferiblemente cuantitativos del desempeño

del sistema. No está de más resaltar que las dos actividades para las cuales, la tabla anterior plantea el posible uso de todas las técnicas son "Análisis de los interesados" y "Elicitación de requerimientos". Lo cual sugiere una interesante relación subjetiva en la toma de requerimientos. Respecto a la educción de requisitos se resalta también el trabajo de Carrizo & Ortiz (2016), en el cual se plantea esta como "una actividad dentro del proceso de la Ingeniería de Requisitos que recupera información relevante acerca del dominio del problema y de las necesidades de los *stakeholders* para la conformación de los requisitos del producto *software*".

Es realmente interesante analizar cómo se realizan intercambios entre las palabras elicitación y educción respecto a la teoría existente. La primera trata desde la relación intersubjetiva de dos o más persona, y la segunda está relacionada con el "sacar" algo de otra cosa (RAE, 2017). Si bien es cierto que la segunda es más general y asociada a la deducción, la primera da cuenta de un proceso subjetivo y consecuentemente más cercano al razonamiento abductivo. De hecho, Granhag, Kleinman, & Oleszkiewicz (2015) proponen que el objetivo de la elicitación de información tiene como meta "recolectar información de tal forma que la fuente ignore el verdadero propósito del intercambio de información. Mas precisamente, la meta es obtener información de tal forma que la fuente 1) subestime su propia contribución en términos de nueva información, y 2) no conozca los objetivos de información del entrevistador". Es así como el proceso de elicitación puede asociarse a la forma en que un médico identifica el caso asociado a los síntomas que menciona un paciente.

Respecto a las tareas propuestas para la elicitación de requisitos, Durán Toro & Bernárdez Jiménez (2000), proponen una serie de tareas relacionadas con la elicitación de requisitos que se concretan en un producto denominado *Documento de Requisitos del Sistema* (DRS). Las tareas que proponen son:

- Tarea 1: Obtener información sobre el dominio del problema y el sistema actual.
- Tarea 2: Preparar y realizar las reuniones de elicitación/negociación.
- Tarea 3: Identificar/revisar los objetivos del sistema.
- Tarea 4: Identificar/revisar los requisitos de almacenamiento de información.
- Tarea 5: Identificar/revisar los requisitos funcionales.
- Tarea 6: Identificar/revisar los requisitos no funcionales.
- Tarea 7: Priorizar objetivos y requisitos.

Se identifica que, si bien es cierto, las tareas están relacionadas con la intencionalidad del productor de software, requieren de la información que provee el adquisidor de *software*. Por otro lado, Raghavan, Zelesnik, & Ford (1994), proponen que la elicitación de requisitos comprende el proceso en el cual "los interesados descubren, articulan y entienden los requisitos de *software*". Posteriormente, Zapata, Giraldo & Mesa (2010) retoman el concepto, pero desde la palabra educción, y añaden:

> *Por otra parte, la ingeniería de requisitos es la primera etapa en la construcción de software y es una de las más cruciales. En esta etapa se captura la información relevante del dominio (conocido como el dominio del problema) y se levantan los requisitos que debe cumplir el software.*

Es inevitable entonces pensar en la importancia de la elicitación de requisitos para la toma de requisitos del sistema e incluso para el mismo ciclo de vida del *software*.

Respecto a las posibles consecuencias de las falencias en el proceso de elicitación de *software*, se presenta la incompletitud como uno de los graves problemas (Kontoya & Sommerville, 1998; Loucopoulos & Karakostas, 1995; Firesmith, citado en Hadad, 2012). Para referencias a fracasos paradigmáticos en proyectos de *software* debidos a fallas en la propiedad de completitud, ver, por ejemplo, Gibbs (1994), GAO (1994), Finkelstein & Dowell (1996) y Breitman, Leite & Finkelstein (1999).

Se puede identificar, respecto al concepto de completitud, las diferencias presentadas por el estándar internacional IEEE std 830 (IEEE, 1998) respecto al ISO/IEC/IEEE29148. En el primero se asocia la completitud con un documento de requisitos en el cual se establecen todos los requisitos significativos, una definición de las respuestas del sistema a todas las situaciones posibles y referencias completas a todas las figuras, tablas y diagramas. En el segundo, se aboga por un mejoramiento de la completitud respecto a buenas prácticas, como incluir todos los tipos de requerimientos, tomar requerimientos en todas las etapas del ciclo de vida e involucrar a todos los interesados en la actividad de elicitación de requerimientos; incluso se considera como buena práctica, involucrar todos los "TBx" (To be o por ser), es decir, una definición del alcance futuro del *software*.

Respecto a los diagramas aplicados a la elicitación de requisitos, Zapata & Carmona (2009), ISO/IEC/IEEE (2011), Carrizo & Ortiz (2016) resaltan los casos de uso como una de las técnicas útiles de representación. Durán Toro & Bernárdez Jiménez (2000) resaltan la utilización de "entrevistas, el *Joint Application Development* (JAD) o Desarrollo Conjunto de Aplicaciones, el *brainstorming* o tormenta de ideas y la utilización de *escenarios,* más conocidos como *casos de uso".*

> *Un caso de uso es un documento narrativo que describe la secuencia de eventos cuando uno o más actores utilizan un sistema para llevar a cabo un proceso. Debido a esto, la identificación de los casos de uso es una de las técnicas más convenientes para la determinación de requerimientos. La principal ventaja de su utilización es que particionan al sistema en un conjunto de piezas lógicas mínimamente relacionadas. Cada una de estas piezas describe una o varias de las funciones que realizará el sistema (Fernández Benassati & Estévez, 2004).*

4. Análisis de datos en la búsqueda de rasgos abductivos en el caso de estudio

Respecto a la toma de datos se implementaron entrevistas a los desarrolladores, encuestas a los interesados (*stakeholders*) y análisis de los diagramas de flujo y de casos de uso del software, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1. Entrevista a los desarrolladores

Con la finalidad de establecer relaciones abductivas, se desarrollaron entrevistas a los desarrolladores que tomaron los requisitos, los cuales, respecto a las características del *software* y su proceso de desarrollo respondieron lo siguiente.

En la Facultad de Ingeniería era necesario hacer seguimiento a las asesorías de proyectos formativos. Por eso se planteó una solución que busca mayor seguridad, eficiencia y eficacia, que brindará un resultado estadístico acertado para la universidad, para los

estudiantes y docentes. Lo que se buscaba era implementar esta tecnología ya existente, pero modificada, integrando un desarrollo en el *software* y diseñando una plataforma diferente a la que maneja la Corporación Universitaria Americana, que sea amigable y agradable al usuario final, en este caso los docentes y estudiantes.

Se plantearon varias etapas para la realización del proyecto de investigación para llevar a cabo el desarrollo de un prototipo viable, cabe destacar que hubo modificaciones al proyecto inicial después de haberse presentado una propuesta al personal encargado de la Corporación Universitaria Americana, para aprobación el proyecto de grado y que luego de algunos cambios se debió realizar modificaciones completas a gran parte del proyecto con el que se había iniciado, como se detalla a continuación:

- Planificación: Se realizaron varias reuniones de grupo en las que se definió y planeó la manera como se abordaría la problemática del control de asistencia en las asesorías de los proyectos integradores, cuáles eran las ventajas y desventajas del método actual, y cuáles serían las del control que se va a implementar; también se definió cómo se desarrollará el proyecto, qué puntos serían los más importantes en cubrir y como se llevaría a cabo cada uno de los procesos de investigación y desarrollo.
- Toma de requerimientos: Para tener más clara la mecánica de las asesorías en los procesos integradores, se realizaron dos reuniones en las que se evidenció puntos específicos por corregir en relación con el proceso, pero cuya mejora se verá implementada en el prototipo.
- Cronograma de trabajo: Se determinaron fechas específicas para las asesorías necesarias de seguimiento del proyecto, en común acuerdo con el asesor asignado para el proyecto se determinaron las fechas de cada asesoría y corrección de inconsistencia, adicional las fechas de pruebas del prototipo para la toma registros.
- Cronogramas personales: Cada integrante del grupo tiene unas tareas asignadas según su función dentro del mismo, para así cumplir con las fechas de entrega de correcciones o tareas pendientes.
- Recursos: Se indagó en los recursos más adecuados para el desarrollo del proyecto y realizar un estudio de presupuesto para asignarle al desarrollo del prototipo.
- Asesoría especializada: El apoyo constante de los docentes especializados en cada área del conocimiento requeridos para el desarrollo adecuado de la investigación y prototipo, son un factor muy importante y que nos garantiza altos estándares de calidad en nuestro proyecto.
- Pruebas e implementación: Se realizaron unas pruebas al dispositivo para definir fechas de entrega y sustentación del proyecto. Es la última etapa antes de hacer la presentación del proyecto de investigación.

4.2. Entrevistas a los interesados (*stakeholders*)

En el diagrama de caso de uso elaborado, se construyeron cuatro perfiles con los que el sistema interactúa (*Estudiante, Asesor encargado* y *Administrador*), quienes deben iniciar sesión en el sistema para que este pueda validar sus datos y autenticarlos como usuarios existentes. Los usuarios *Alumno, Encargado* y *Asesor*, no tienen permisos para

modificar información, por lo que solo pueden hacer consultas. En el caso del *Alumno*, puede ver sus asistencias y semestres y su récord de asistencia en cada una de ellas; por su parte el *Encargado* puede realizar consultas sobre las asistencias de cada asesoría en cada uno de los semestres, pero no solo de su asistencia a las mismas sino también a la de los alumno que tiene inscritos en cada una de ellas. El asesor aparte de realizar consultas, también puede generar informes de cada asesoría y presentarlos al usuario encargado, también puede consultar las asistencias de los alumnos que tiene a cargo en cada uno de los proyectos; de otra manera funciona el perfil de *Administrador* ya que, si bien también tienen que estar registrados en el sistema para poder interactuar con él, sí pueden modificar algunos tipos de información dentro del mismo obvio con las limitantes administrativas de la institución y las políticas de cada departamento. El administrador puede consultar, registrar y modificar las asistencias de los estudiantes y asesores, en cada uno de los semestres.

En la Figura 1, se puede observar un diagrama de flujo como representación gráfica de un algoritmo, el diagrama de flujo que corresponde a la imagen, comienza con un inicio, que es el punto de partida de la interacción del usuario con la plataforma y luego continúa con el ingreso del usuario y la contraseña indicados para poder acceder a la información, lo que se evidencia en el cuadro (Autenticación Usuario del Sistema) en donde se valida los datos con que el usuario pretende acceder y que de no ser autenticados de forma correcta finalizaría la interacción y lo dejaría de nuevo en el punto de inicio para ingreso de usuario; por otra parte si el usuario se autentica de forma adecuada en el sistema, podrá seguir interactuando con este hasta realizar su consulta.

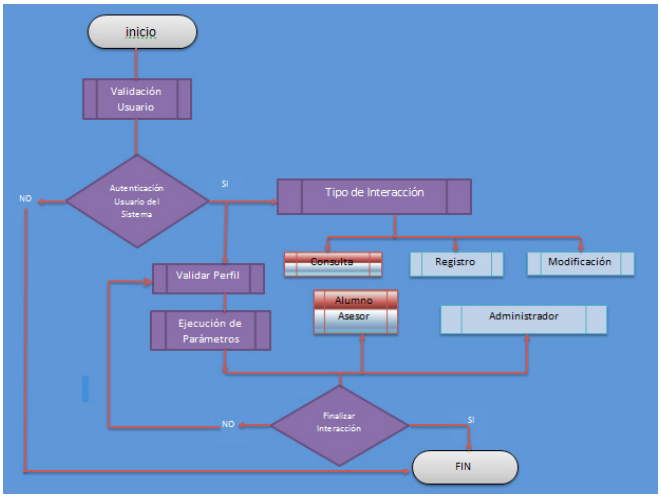


Figura 1 – Diagrama de flujo. Representa un resultado de la abducción puesto que se extrae el caso con base en resultados que se asocian a teorías existentes

El sistema valida la información comparando los datos ingresados por el usuario con los registros de la base de datos y al encontrar la coincidencia de los mismos verifica el tipo de perfil que corresponde al usuario (Validar Perfil) y automáticamente activa las posibles consultas que el usuario puede realizar dentro del sistema ejecutando parámetros de permisos según el perfil de usuario sea, *Asesor, Alumno* o *personal administrativo* de la plataforma. (Ejecución de parámetros). Después de realizar las consultas pertinentes, el usuario puede finalizar la interacción con el sistema, cerrando su sesión o continuar con nuevas consultas. En la Figura 2 se toma solo la operación de un perfil y se explicará el proceso al detalle, sus errores cuando se ingresa alguna información errada lo cual deriva en la abducción. La Tabla 3 presenta la matriz de rastreabilidad que permite evaluar los resultados obtenidos para abducir el caso en el requerimiento.

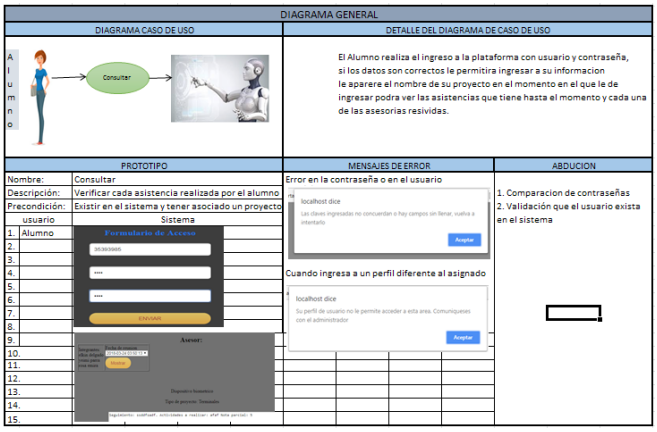


Figura 2 – Diagrama de operación de un perfil donde a través de resultados se abducen casos asociados a la teoría existente

Mediante la planilla de requisitos funcionales de la Tabla 2 y la matriz de rastreabilidad de seguimiento de resultados de la Tabla 3, es posible identificar las relaciones que proponen a la lógica abductiva como un proceso intermedio entre la deducción y la inducción que posibilita de una forma complementaria un enriquecimiento de las jerarquías de requerimientos de tal forma que el proceso en su totalidad sea concebido como un bucle en continua realimentación. La jerarquía de requerimientos se concibe de esta manera como una medida de la capacidad de establecimiento de la relación existente entre los requerimientos operacionales y los requerimientos técnicos, esta relación da cuenta de requerimientos de desempeño como indicadores del conglomerado funcional que vincula lo solicitado por el usuario y lo efectivamente desarrollado, esto se expresa más adelante en la Figura 3.

Requisito Funcional	Objetivos asociados	Requisitos asociados	Descripción	Precondición	Postcondición
RF 01. Consulta en el sistema	OBJ 01. Verificar las asistencias	RQ 01. Existir en el sistema	El sistema debe validar la información suministrada por el Usuario y compararla para saber si es la correcta	PR 01. debe tener permisos asignados	POST 01. debe existir asociación entre el usuario y el proyecto
RF 02. Crear Usuarios	OBJ 02. Ingresar un nuevo usuario	RQ 02. Pertenecer a la Universidad y a una de las facultades de ingeniería	Crear un nuevo usuario en el sistema validando que no exista en el sistema	PR 01. debe tener permisos asignados	POST 02. El usuario nuevo a registrar no tiene que haber estado registrado anteriormente
RF 03. Crear Registros de Asesorías	OBJ 03. ingresar los registros después de cada asesoría	RQ 01. RQ 03. permisos de edición	después de cada asesoría se tiene un límite de tiempo para que el asesor ingrese sus registros	PR 01. debe tener permisos asignados	POST 01. debe existir asociación entre el usuario y el proyecto
RF 04. Editar información de usuarios y asesorías	OBJ 04. corregir información solicitada con antelación por los usuarios del sistema, o sobre alguna asesoría mal reportada	RQ 01. RQ 03.	realizar una verificación previa antes de realizar la corrección de un usuario o asesoría ya que esto puede incurrir en fraude	PR 01. debe tener permisos asignados	
RF 05. Generar reportes	OBJ 05. crear reportes para el seguimiento y evaluación de los proyectos integradores y sus asesorías	RQ 01.	El personal encargado de realizar seguimiento a las asesorías será el único que realiza los reportes para la decanatura	PR 01. debe tener permisos asignados	

Tabla 2 – Planilla de requisitos funcionales de almacenamiento para la matriz de rastreablidad

El desarrollo de la matriz de rastreabilidad, relaciona los requisitos con las operaciones para verificar si se está llevando a cabo una relación funcional de cumplimiento de acciones para obtener resultados acordes con las necesidades del usuario y de esta forma ajustarse paulatinamente a las reglas de negocio de la organización o del cliente final.

Matriz de Rastreabilidad					
Requisitos / Operaciones	**RQ 01**	**POST 02**	**PR 01**	**POST 01**	**RQ 03**
RF 01	X		X	X	
RF 02	X	X	X		X
RF 03	X		X	X	X
RF 04	X		X		X
RF 05	X		X		

Tabla 3 – Matriz de rastreabilidad para el seguimiento de resultados

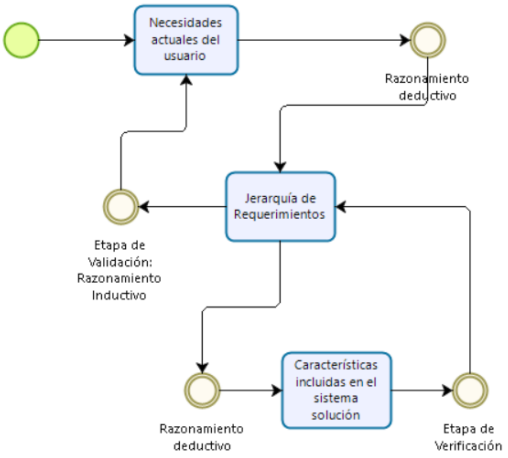


Figura 3 – Articulación de niveles de razonamiento en el ciclo de vida de desarrollo

5. Conclusiones

El proyecto articuló los conceptos aplicados en forma secuencial como modelos de negocio, conceptual, dominio, y los casos de uso y la elicitación de requisitos combinados, con la aplicación del método de abducción, los cuales especifican casos adicionales que ejercen controles en el proceso o reglas de negocio, seguidas de procesos de validación y verificación de requisitos para darle un mejor manejo a la manera de llevar el control de asistencia estudiantil, dando un enfoque diferente a los métodos actuales dentro de la Corporación universitaria Americana.

Se contempló la matriz de rastreabilidad como una evidencia de la coherencia entre los requisitos (funcionales, no funcionales) y los objetivos planteados permitiendo de esta forma la participación asertiva de los *stakeholders* en las diferentes etapas del proceso de análisis del desarrollo del software control biométrico para la Corporación Universitaria Americana.

La lógica abductiva en el desarrollo de *software* en su naturaleza implicó el establecimiento una función cada vez más ajustada de la relación entre un conjunto de hipótesis (H) del quehacer del usuario para explicar unas salidas o manifestaciones (M) que presentaría el sistema a la luz de un dominio de conocimiento (T). La función resultante del conjunto A, formado por la elección de hipótesis posibles de la existencia del observable con $A \subseteq H$ se convertiría en una extracción del caso que responde a la necesidad del usuario. En este texto se abordó la visualización del concepto de abducción en un desarrollo de software biométrico de control de asistencia diseñado para la Corporación Universitaria Americana. Como método se consideró el estudio del problema proposicional de abducción P que consiste en una tupla de la forma $\langle V, H, M, T \rangle$ con V un conjunto finito de variables proposicionales.

Referencias

Alur, R., Courcoubetis, C., & Dill, D. (1993). Model-Checking in Dense Real-Time. *Journal of Information and Computation - Special issue: selections from 1990 IEEE*, 2–34.

Breitman, K. K., Leite, J., & Finkelstein, A. (1999). The World's a Stage: A Survey on Requirements Engineering using a Real-Life Case Study. *Journal of the Brazilian Computer Society, Sociedade Brasileira de Computacao, 6*(1), 13–37.

Carrizo, D., & Ortiz, C. (2016). Modelos del proceso de educción de requisitos: Un mapeo sistemático. *Ingeniería y desarrollo*, 184–203.

d'Avila Garcez, A. S., Russo, A., Nuseibeh, B., & Kramer, J. (2003). Combining Abductive Reasoning and Inductive Learning to Evolve Requirements Specifications. *IEEE Proceedings - Software*, 25–38.

Durán Toro, A., & Bernárdez Jiménez, B. (2000). *Metodología para la Elicitación de Requisitos de Sistemas Software*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Fernández Benassati, M., & Estévez, E. (2004). Utilización de Casos de Uso durante el Proceso de desarrollo de software. *VI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* (pp. 312–317). Neuquén: Universidad Nacional de Comahue.

Finkelstein, A., & Dowell, J. (1996). A comedy of Errors: The London Ambulance Service Case Study. *IWSSD'96, 8th International Workshop on Software Specification and Design*. Alemania: IEEE Computer Society Press.

Firesmith, D. (2005). Are Your Requirements Complete? *Journal of Object Technology*, 27–43.

GAO. (1994). *New Denver Airport: Impact of the Delayed Baggage System*. GAO/RCED. 95–35BR.

Gibbs, W. W. (1994). Trends in computing: Software's Chronic Crisis. *Scientific American*, 72–81.

Granhag, P. A., Kleinman, S. M., & Oleszkiewicz, S. (2015). The Scharff Technique: On How to Effectively Elicit Intelligence from Human Sources. *International Journal of Intelligence and CounterIntelligence*, 132–150.

Hadad, G. D. (2012). Completitud en la Ingeniería de Requisitos. *UBit - Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática*, 1–3.

IEEE. (1998). *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications (ANSI)*. Nueva York: IEEE.

ISO/IEC/IEEE. (2011). *29148-2011 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering -- Life cycle processes --Requirements engineering*. Nueva York: IEEE.

Jacobson, I. (1992). *Object-Oriented Software Engineering: a Use Case Driven Approach*. Wokingham: Addison-Wesley.

Kontoya, G., & Sommerville, I. (1998). *Requirements Engineering: Process and Techniques*. John Willey et Sons.

Loucopoulos, P., & Karakostas, V. (1995). *System Requirements Engineering*. Londres: McGraw-Hill.

Martínez, C. P. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*, 165–193.

Peirce, C. S. (1988). Reproducido con el permiso de José Vericat. Esta traducción se publicó originalmente El hombre, un signo (El pragmatismo de Peirce), José Vericat (trad., intr. y notas). *Crítica*, 175–99.

Peirce, C. S. (1988). *Sobre la clasificación natural de los argumentos - Traducción al español de "On the Natural Classification of Arguments" (1867).* (P. Castrillo, Trad.) Madrid: Alianza Universidad.

RAE. (2017). Elicitación. *Real Academia de la Lengua Española*. Recuperado de http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=educci%C3%B3n

Raghavan, S., Zelesnik, G., & Ford, G. (1994). *Lecture Notes on Requirements Elicitation*. Pennsylvania: Research Showcase @ CMU.

Yin, R. K. (1989). *Case Study Research: Design and Methods, Applied social research Method Series*. Newbury Park, C.A.: Sage.

Zapata, C. M., & Carmona, N. (2009). Un modelo de diálogo para la educción de requisitos de software. *Dyna,* (164), 209–219.

Zapata, C. M., Giraldo, G. L., & Mesa, J. E. (2010). UNA PROPUESTA DE METAONTOLOGÍA PARA LA EDUCCIÓN DE REQUISITOS. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26–37.

Zowghi, D., & Coulin, C. (2005). *Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Approaches, and Tools*. New York: Springer.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 26/12/2018
Aceitação/Acceptance: 25/02/2019

Sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos empleando realidad virtual para rehabilitación de las extremidades superiores en pacientes con daño cerebral adquirido (DCA)

Bryan Guevara[1], Azucena Martínez[2], Andrés Gordón[3], Patricia Constante[4]

bsguevara@espe.edu.ec, awmartinez@espe.edu.ec, amgordon@espe.edu.ec, pnconstante@espe.edu.ec

[1,2,3,4] Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), 171103, Sangolquí, Ecuador.

Pages:658–670

Resumen: Se presenta el desarrollo de un sistema inmersivo basado en realidad virtual que pretende contribuir a las terapias de rehabilitación que realizan personas con deficiencia motriz en extremidades superiores debido a un accidente cerebrovascular (ACV) o ictus. Los ejercicios motrices seleccionados fueron validados por un profesional fisioterapeuta, posterior a lo cual, estos ejercicios fueron adaptados al sistema inmersivo para rehabilitación de la extremidad superior. La arquitectura del sistema la conforman dos elementos fundamentales: el primero lo constituye el modelado 3D del ambiente virtual y del brazo y mano del paciente; y el segundo, el sistema de sensores gestuales y controles de tacto que permite la interactividad del usuario con los ejercicios en el mundo virtual. Este sistema ha sido probado en pacientes que han sufrido ictus.

Palabras-clave: Realidad virtual; Modelado 3D; Reconocimiento gestual; Déficit motriz; Rehabilitación física.

Immersive system of recognition and control of gestures using virtual reality for rehabilitation of the upper extremities in patients with acquired brain injury (ABI)

Abstract: This investigation presents the development of an immersive system based on virtual reality that aims to contribute to rehabilitation therapies performed by people with motor impairment in upper limbs due to a cerebral vascular accident or stroke. The selected motor exercises were validated by a professional physiotherapist after which these exercises were adapted to the immersive system for rehabilitation of the upper limb. The architecture of the system consists of two fundamental elements: the first is the 3D modeling of the virtual environment and the arm and hand of the patient, and the second is the system of gestural sensors and touch controls that allows the user to interact with the exercises in the virtual world. This system has been tested on patients who have suffered stroke.

Keywords*:* Virtual Reality; 3D Modeling; Gestural Recognition; Motor Deficit; Physical Rehabilitation.

1. Introducción

La recuperación de la capacidad motriz de la extremidad superior es uno de los mayores retos a los que se enfrentan los pacientes con secuelas sensitivo-motoras después de sufrir un accidente cerebrovascular (ACV) o llamado también ictus (Martin-Martin, Cuesta-Vargas y Labajos-Manzanares, 2015). Las tecnologías actuales pretenden contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de estas personas, mejorando los procesos de rehabilitación que realizan. En los últimos años, la realidad virtual (RV) se ha constituido en una alternativa en el contexto clínico que podría ayudar en procesos de rehabilitación (Wade & Winstein, 2011; Monge Pereira et al., 2014) dirigidos a algunos pacientes con ACV (Ballester et al., 2015), por lo que numerosos estudios se están desarrollando para aportar evidencias científicas que apoyen el uso de esta herramienta en la rehabilitación de la extremidad superior parética (Viñas-Diz y Sobrido-Prieto, 2016).

La RV es una tecnología basada en computador que permite a los usuarios interactuar con un entorno simulado multisensorial y recibir retroalimentación en tiempo real sobre su desempeño (Desai, P. R., Desai, P. N., Ajmera & Mehta, 2014). Los ejercicios de RV tienen el potencial de aplicar conceptos relevantes de neuroplasticidad (Lee & Chun, 2014), a la vez que el usuario obtiene experiencias similares a actividades y eventos que pueden desarrollarse en la vida real (Monge Pereira et al., 2014).

La convergencia de la tecnología de RV con un sistema de control gestual conduce a una nueva plataforma de servicios en la que el usuario puede controlar objetos localizados en un entorno virtual e interactuar con ellos mediante su extremidad superior. Estas dos tecnologías se encuentran aún en desarrollo y tienen productos comerciales que se enfocan en desarrolladores, sin embargo, aquellos dispositivos que con el tiempo aparezcan de esta convergencia, apuntan a mercados masivos con una tecnología emergente en el transcurso de los próximos años.

2. Desarrollo del sistema de rehabilitación virtual

El sistema de RV debe considerar tres características básicas: inmersión, presencia e interactividad; pero para contribuir a la rehabilitación de pacientes, es importante considerar otros tres elementos adicionales: repetición, realimentación y motivación (Martin-Martin et al., 2015; Monge Pereira et al., 2014). Los elementos clave para el sistema de rehabilitación (Figura 1) son la Oculus Rift y una Leap Motion.

La Oculus Rift es una especie de gafas que bloquea el entorno y permite al usuario entrar en el juego, mirar en cualquier dirección y ver todo el entorno virtual en lugar de usar una pantalla plana (Desai et al., 2014), es decir, el monitor se encuentra muy cerca de los ojos (Katchhi & Sachdeva, 2014).

La Leap Motion permite el reconocimiento y seguimiento de gestos de las manos mediante el uso de imágenes infrarrojas (Chifor & Stefanut, s.f.; Huang & Bailey, 2016). Es compatible con los diversos sistemas operativos de Windows, Linux y Apple y tiene distintas Interfaces de Programación de Aplicaciones (API) para poder programar con este dispositivo en C++, Java, C# y Python, también tiene compatibilidad con diversos motores gráficos como Unity.



a) Oculus Rif b) Leap Motion

Figura 1 – Equipos utilizados en el sistema

2.1. Modelado 3D

Se puede definir el proceso de modelado geométrico tridimensional como el encargado de crear modelos consistentes que puedan ser manejados algorítmicamente en un computador. Este proceso de construcción se aborda en diferentes etapas, partiendo típicamente de entidades básicas y aplicando una serie de operadores sobre ellas. Estas entidades básicas pueden ser primitivas geométricas (calculadas de forma algorítmica o mediante una ecuación matemática) u obtenidas mediante un dispositivo de captura como un escáner 3D (González y Vallejo, 2009).

Para los modelados, tanto de la extremidad como las prendas de vestir del avatar que dará la bienvenida y que se constituye en el asistente virtual para el proceso de rehabilitación, se usa Blender. Este *software* proporciona un amplio espectro de funciones de modelado, texturizado, iluminación, animación y posprocesamiento de video en un solo paquete. Puede usarse para crear visualizaciones 3D, fotogramas y videos con calidad de cine y emisión, mientras que la incorporación de un motor 3D en tiempo real permite la creación de contenido 3D interactivo.

Modelado de la mano

Blender sigue un procedimiento sistemático, el cual se basa en usar imágenes de referencia en 2D como bocetos, diseños o fotografías que constituyen las vistas frontal y lateral, a partir de lo cual se redibuja el modelo 3D deseado. En la Figura 2 se presenta el modelado de la extremidad superior.

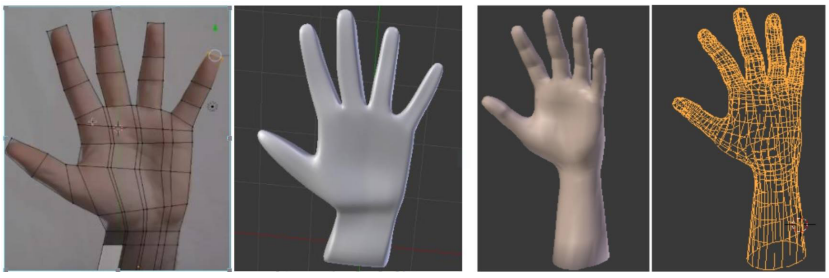
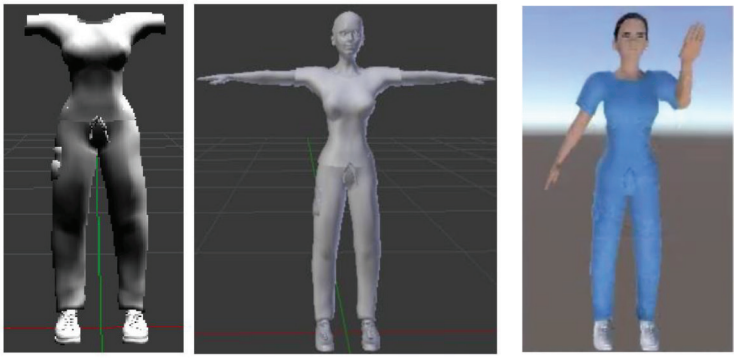


Figura 2 – Proceso de modelado de brazos

Modelado del asistente virtual



a) Prendas de vestir b) Avatar de bienvenida

Figura 3 – Modelado del asistente virtual de bienvenida

El modelado del avatar del saludo inicial del sistema se realiza a través del *software* Make Human, que permite realizar gráficos 3D de tipo humanoides fotorrealistas, desarrollado en C++. Además, proporciona tres clases principales de humanos: caucásico, asiático, y afro. El modelado de las prendas se obtiene a partir de un boceto que se trabaja en detalles hasta obtener al asistente virtual que se presenta en la Figura 3.

2.2. Implementación de la interfaz de realidad virtual

Para el desarrollo de toda la mecánica del sistema interactivo de realidad virtual se usó el motor de videojuegos Unity3D sobre Windows. Este *software* también es utilizado como motor de creación de contenidos interactivos como diseños arquitectónicos o animaciones 3D en tiempo real, es de las principales herramientas que proporcionó el auge de los estudios independientes (Pruna, Corrales, Gálvez, Escobar & Mena, 2018). Pese a estar enfocado al desarrollo de videojuegos en 3D, los desarrolladores han logrado crear contenido en 2D, a base de manipulaciones como la cámara y el empleo de herramientas no nativas.

Creación de menú

Sobre un componente Canvas se incluyen todos los elementos de Interfaz de Usuario (IU) como botones, paneles e imágenes. Se implementa la detección del cursor, para que cuando este se encuentre sobre un botón, se inicie una cuenta regresiva de cinco segundos y lo active, junto a una animación de reloj en sentido horario, cuando el cursor esté por encima del botón; de esta forma se reconoce de manera intuitiva como activar el botón de selección con el movimiento de la cabeza, el cual mueve le cursor.

Creación de ambientes virtuales

Los entornos representan el lugar en donde el paciente realiza las actividades generando la sensación de inmersión y motivándolo a no abandonar la rehabilitación física en el mundo virtual. Se desarrollan tres escenarios tridimensionales para la elección del

paciente: un ambiente de bosque, una isla y un lugar desértico, tomando en cuenta algunos detalles como dimensiones, texturas y resolución del detalle gráfico como se visualiza en la Figura 4.



a) Bosque b) Isla c) Desierto

Figura 4 – Ambientes virtuales 3D

Usando los módulos de desarrollo de Leap Motion para Unity3D, se accede al conjunto de datos durante el reconocimiento de la mano. Este módulo proporciona un rastreo predictivo de las manos el cual consiste básicamente en un vector en el que guarda un valor [0] para la primera mano detectada y un [1] para la segunda, sin tomar en cuenta sea esta derecha o izquierda.

2.3. Integración del sistema de rehabilitación

Para integrar de forma conjunta todas las fases de desarrollo del sistema, en primera instancia es necesario realizar la integración del modelado 3D de las manos con el reconocimiento gestual de Leap Motion, como se observa en la Figura 5. Además, se realiza la animación para cerrar y abrir las manos utilizado la interfaz Mecanim de Unity3D, y se crean las condiciones para efectuar la transición entre animaciones.



Figura 5 – Integración del modelado 3D de las manos.

En el menú principal, se integra a la selección de ambiente, la posibilidad de guardar en un fichero la elección del paciente para cargar los ambientes, sin perder esta información entre escenas del editor; se crean los efectos de sonido para toda la estructura del sistema, comenzando por el menú, botones, instrucciones de forma audible en los asistentes, luz, sombras y optimización gráfica en cada una de las escenas de las actividades. Por último,

se integra el diseño del avatar con una animación que saluda al paciente al ingresar a la portada de inicio.

2.4. Actividades para la rehabilitación

La selección de los ejercicios de rehabilitación en la mano se basa en algunos de los movimientos que tradicionalmente se realizan en una terapia de rehabilitación estándar, como supinación, pronosupinación, movilidad de los dedos, muñeca y actividades de la vida diaria (AVD) (Clavel González, 2016). Así también se hace uso de la estimulación propioceptiva (Devesa Gutiérrez, Mazadiego González, Baldomero Hernández y Mancera Cruz, 2014). Las actividades creadas fueron validadas por un profesional de salud, quien además colaboró en la aplicación de los mismos a los pacientes.

Flexo extensión de los dedos

Esta actividad plantea realizar movimientos de flexo extensión en los dedos, en conjunto con un deslizamiento tendinoso. Además, se realiza una integración de un entorno virtual 3D con mecánicas de desarrollo 2D. Este ejercicio hace el uso de la clase ExtendedFingerDetector, incluido en los módulos de desarrollo de Leap Motion, que permite identificar si la mano detectada se cierra o abre; cualquiera de estos dos eventos activa una rutina que controla el salto del jugador (corredor) quien debe esquivar al atacante (*zombie*), siguiendo las indicaciones de ejecución de turno derecho o izquierdo según se indique en la pantalla. En el fondo de la actividad se crea el efecto tridimensionalidad utilizando objetos llamados Quad, dando un mayor realismo la escena 2D, que se observa en la Figura 6.

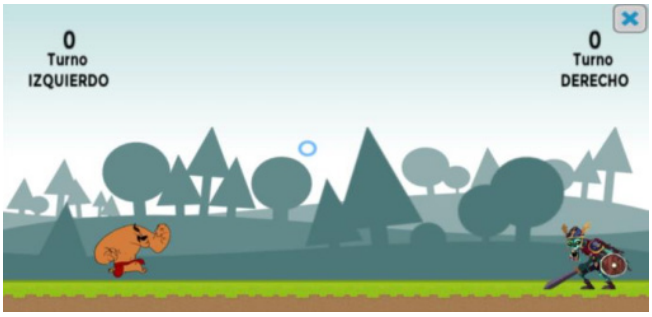


Figura 6 – Interfaz 2D de la actividad Flexo extensión de los dedos

Giro de muñeca

Esta actividad pretende realizar movimientos de pronosupinación y supinación de antebrazo con extremidad superior extendida, para lo cual se extraen los ángulos *roll, pitch,* y *yaw* de las dos manos detectadas por el sensor gestual con el objetivo de crear un control proporcional simple que permite mover un objeto en función al giro de la mano sobre su eje longitudinal. En la Figura 7 se observa el desarrollo de la actividad, donde se gira la muñeca para abrir el cofre.

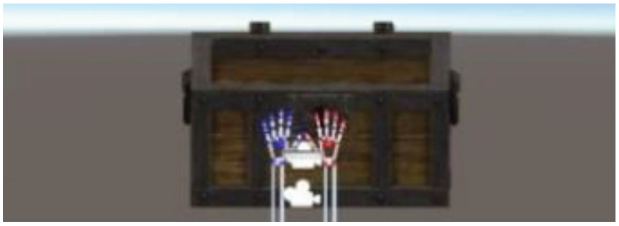


Figura 7 – Interfaz de la actividad Giro de muñeca

Movimiento integral 1 de brazo

Esta actividad plantea la posibilidad de realizar, de forma conjunta, movimientos como abducción, flexión, extensión, movimiento rotacional y agarre. Se prepara la escena para RV, dieciséis cubos desorganizados, y cada cubo tiene un número o letra asignado. Se agrega en escena el reconocimiento espacial de los controles inalámbricos incluidos en los módulos de desarrollo de Oculus Rift para visualizar las manos en el entorno virtual. La idea de la actividad es identificar y apilar en orden los cubos, formando serie numérica y alfabética de ocho elementos cada una. La Figura 8 presenta la actividad finalizada.

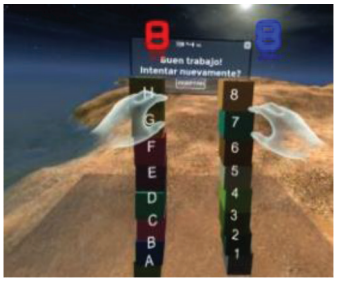


Figura 8 – Interfaz de la actividad Movimiento integral 1 de brazo

Flexo extensión de brazos

Esta actividad tiene como objetivo lograr que el paciente realice movimientos de flexo extensión de sus brazos en su máximo rango posible y medir cuál ha sido la distancia entre brazos del paciente al realizar este ejercicio. Para ello, en una escena de RV se crea una esfera (Figura 9) de la cual es posible extraer propiedades físicas como posición, rotación, escala entre otras. Seguidamente, se crea una clase que detecte cuando las manos ingresan dentro de la esfera. Cuando esto ocurre, calcula la posición de una mano relativa de la otra y extrae la magnitud de este vector para conocer la distancia entre ellas.



Figura 9 – Interfaz de la actividad Flexo extensión de brazos

Movimiento integral 2 de brazos

Esta actividad busca incentivar el uso de toda la extremidad superior para realizar movimientos de abducción, flexión, extensión, movimiento rotacional y agarre durante el desarrollo del ejercicio. Se crea un conjunto de 24 paredes distribuidas en todo el ambiente del juego, las cuales se habilitan para simular una colisión de forma ordenada. Si se detecta la colisión entre la mano con la pared habilitada, esta última se destruye y se habilita la siguiente.

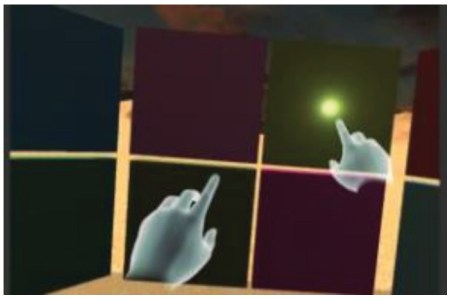


Figura 10 – Interfaz de la actividad Movimiento integral 2 de brazos

Se prepara la escena para las gafas de RV y se agrega el reconocimiento espacial de los controles inalámbricos de Oculus Rift. En el extremo del reconcomiendo del control de tacto se agrega un objeto vacío con un componente Capsule Collider para activar si algún otro objeto entra en colisión con él. En la Figura 10 se observa la ejecución de la actividad.

3. Experimentación

Antes de dar inicio al programa de rehabilitación resulta indispensable seleccionar un grupo de pacientes dispuestos a colaborar en esta investigación. En la Tabla 1 se detallan los criterios de inclusión necesarios para que el paciente pueda ser apto para esta investigación.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Consentimiento para participar en la investigación	Problemas cognitivos graves
Edad mayor a 40 años	Trastornos de la comunicación
Afección de ictus isquémico y/o déficit de movimiento en extremidad superior	Afección de ictus hemorrágico
Independiente	Discapacidad previa
Tratamiento ambulatorio	Padecer de enfermedad catastrófica

Tabla 1 – Validación de criterios de inclusión y exclusión

Los pacientes que cumplen con los criterios de inclusión y que colaboran con la presente investigación son tres cuyo diagnóstico se detalla a continuación:

- Paciente1: Sra. Martha, quien tiene una motricidad menor en el giro de la muñeca y en la flexo extensión de los dedos de la mano.
- Paciente 2: Sra. Rosa, quien presenta una disminución considerable de la motricidad en el giro de la muñeca.
- Paciente 3: Sra. María, su motricidad es más fluida que la paciente uno y dos, cabe destacar que la señora no presenta ictus, pero si una pequeña dificultad en la motricidad en sus brazos por un accidente laboral.

Seleccionado los pacientes que cumplan los criterios de inclusión y evaluada su situación inicial se procede a realizar un análisis de avances durante las sesiones, el seguimiento del progreso de los pacientes está constituida por tres sesiones realizadas cada 15 días y en cada sesión se ejecuta las actividades cinco veces, tomando un receso de treinta segundos entre cada repetición de la actividad donde el análisis se lo realiza con promedios de las repeticiones de cada sesión. La figura 11 presenta a paciente usando el sistema para su rehabilitación. Las sesiones se encuentran dentro del rango de tiempo sugerido que es de 30 a 60 minutos (Clavel González, 2016).



Figura 11 – Prueba del sistema de RV en pacientes con ictus

3.1. Flexo extensión de dedos

En la primera sesión (Figura 11), el menor tiempo promedio pertenece a las pacientes 1 y 2, evidenciando dificultad en la ejecución del ejercicio, debido a que presentan movilidad restringida, en comparación con la paciente 3. En la sesión dos, la paciente 1 no muestra evolución, en cambio las pacientes 2 y 3 han mejorado su tiempo. En la última sesión, las pacientes 2 y 3 reflejan una mejoría ya que el tiempo aumenta.

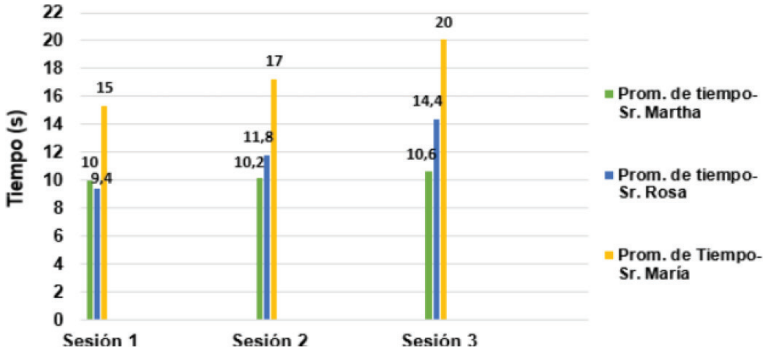


Figura 11 – Análisis de ejercicio de Flexo extensión de los dedos

3.2. Giro de muñeca

En la Figura 12, se puede observar que la paciente 3 presenta mejores resultados que las pacientes 1 y 2. Podría ser debido a que dicha paciente muestra mejor motricidad en su mano. De igual forma, tiene mejor capacidad de entendimiento que la paciente 1 y 2, lo que ayuda a incrementar cada vez más su motricidad. Se observa una evolución de las pacientes durante las sesiones: tomando en consideración las dificultades que presentan para poder ejecutar la actividad de manera correcta, son datos alentadores y se demuestra que cada paciente requiere una terapia personalizada para su recuperación.

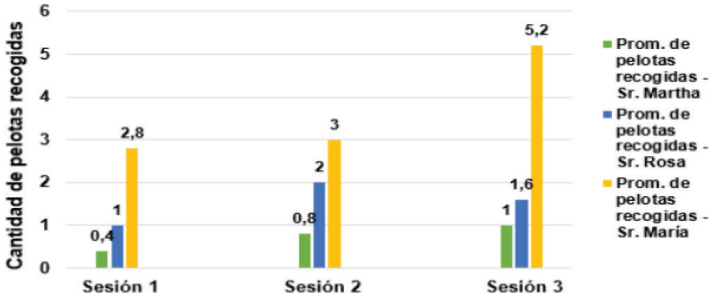


Figura 12 – Análisis de ejercicio de Giro de la muñeca

3.3. Movimiento integral 1 de brazo

Este ejercicio es muy acepado por parte de los pacientes (Figura 13), por la facilidad de ejecución, los tiempos que se reflejan en cada sesión muestran el mejoramiento de la capacidad motriz de la extremidad. El mayor tiempo al culminar la actividad es de 330,8 segundos de la paciente 1, y el menor tiempo al culminar el ejercicio es de 216,3 segundos, ejecutado por parte de la paciente 3. Cada paciente trabaja a su propio ritmo y se evidencia la contribución a la mejora de su motricidad.

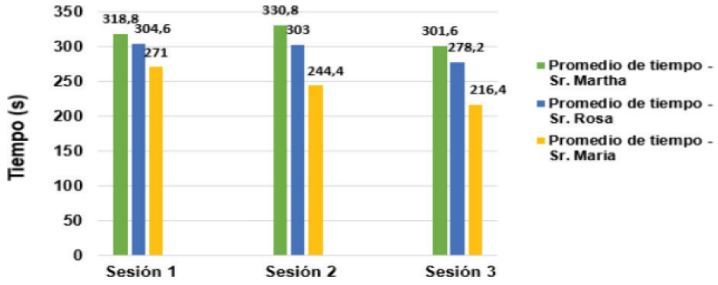


Figura 13 – Análisis de ejercicio de Movimiento integral 1 de brazos

3.4. Flexo extensión de brazos

Las pacientes 1 y 2 no muestran mejoría durante la terapia, por tanto, es posible que requieran de más sesiones de rehabilitación. La paciente 3, en cambio, demuestra que es capaz de ejecutar la actividad perfectamente debido a la flexo-extensión del brazo que realiza (Figura 14).

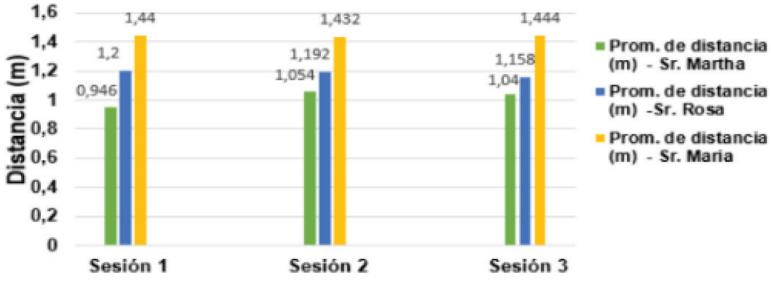


Figura 14 – Análisis de ejercicio de Flexo extensión de los brazos

3.5. Movimiento integral 2 de brazos

Se verifica en la Figura 15 que la paciente 3 ha obtenido un tiempo adecuado en la ejecución de la actividad, ya que posee una buena motricidad. La paciente 1 presenta una evolución en cada sesión, ya que ha ido disminuyendo los tiempos en la ejecución de la actividad. Y la paciente 2 mantiene su tiempo constante. Las tres pacientes no muestran dificultad al ejecutar la actividad.

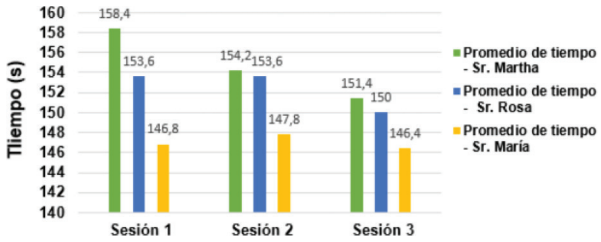


Figura 15 – Análisis de ejercicio de Movimiento integral 2 de brazos

4. Conclusiones

Gracias a técnicas de detección gestual es posible detectar y realizar un seguimiento a la posición de las manos del usuario y debido al modelamiento 3D se las puede visualizar con un alto nivel de realismo en un entorno virtual, donde el escenario ha sido preparado para el desarrollo de actividades de contribuyen al proceso de rehabilitación de pacientes con ictus.

El uso de las Oculus Rift aporta a la sensación de inmersión del paciente en los ambientes virtuales tridimensionales, lo cual combinado con los juegos de luces, sombras y sonidos otorgan una sensación de realismo para el usuario.

El desarrollo de actividades y ejercicios a manera de videojuegos, simulando actividades de la vida diaria, se constituye en una herramienta que puede ser usada en el área de fisioterapia como un método de ayuda en la rehabilitación de la capacidad motriz de las extremidades superiores.

Los resultados experimentales en pacientes con afección en el miembro superior evidencian predisposición y entusiasmo al usar este tipo de herramientas para complementar el proceso de la recuperación motriz. Resulta clave en ello, el sentido de recompensa que puede generar la realización adecuada del ejercicio seleccionado.

Referencias

Ballester, B. R., Nirme, J., Duarte, E., Cuxart, A., Rodriguez, S., Verschure, P., & Duff, A. (2015). The visual amplification of goal-oriented movements counteracts acquired non-use in hemiparetic stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *12*(1), 50. DOI: 10.1186/s12984-015-0039-z

Chifor, M., & Stefanut, T. (s.f.). Immersive Virtual Reality application using Google Cardboard and Leap Motion technologies. *Semantic Scholar*. Recuperado de https://pdfs.semanticscholar.org/0a30/9a7eb032c07c15a40275685d689e435e73bf.pdf?_ga=2.81885714.501351913.1552229602-1718234303.1552229602

Clavel González, A. J. (2016). Rehabilitación de miembro superior tras un ictus a través de actividades de la vida diaria. *Revista electrónica de terapia ocupacional Galicia, TOG, 13*(24).

Desai, P. R., Desai, P. N., Ajmera, K. D., & Mehta, K. (2014). A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, *13*(4).

Devesa Gutiérrez, I., Mazadiego González, M. E., Baldomero Hernández, M. Á., y Mancera Cruz, H. A. (2014). Rehabilitación del paciente con enfermedad vascular cerebral (EVC). *Rev Mex Med Fis Rehab*, *26*. Recuperado de http://www.medigraphic.com/medicinafisica

González, C., y Vallejo, D. (2009). Curso Basico de Blender. In *Fundamentos de Síntesis de Imagen 3D. Un Enfoque práctico a Blender*. Recuperado de https://www.esi.uclm.es/www/cglez/fundamentos3D/02.01.Introduccion.html

Huang, D., & Bailey, R. (2016). Integration of Leap Motion Controller on Mobile Devices for AR Applications. *Semantic Scholar*. Recuperado de https://pdfs.semanticscholar.org/bb08/d760592d25c8f6b06d5c243e2a76ba50f3e4.pdf

Katchhi, S., & Sachdeva, P. (2014). *A Review Paper on Oculus Rift*. *Review Article International Journal of Current Engineering and Technology*, *4*. Recuperado de http://inpressco.com/category/ijcet

Lee, S. J., & Chun, M. H. (2014). Combination Transcranial Direct Current Stimulation and Virtual Reality Therapy for Upper Extremity Training in Patients With Subacute Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *95*(3), 431–438. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.10.027

Martin-Martin, J., Cuesta-Vargas, A. I., y Labajos-Manzanares, M. T. (2015). Efectividad clínica de la intervención terapéutica sobre la mano con realidad virtual en sujetos hemipléjicos: revisión sistemática. *Fisioterapia*, *37*(1), 27–34. DOI: 10.1016/j.ft.2014.02.002

Monge Pereira, E., Molina Rueda, F., Alguacil Diego, I. M., Cano de la Cuerda, R., de Mauro, A., y Miangolarra Page, J. C. (2014). Empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral: guía de práctica clínica. *Neurología*, *29*(9), 550–559. DOI: 10.1016/j.nrl.2011.12.004

Pruna, E., Corrales, G., Gálvez, C., Escobar, I., & Mena, L. (2018). Proposal for Muscle Rehabilitation of Lower Limbs Using an Interactive Virtual System Controlled Through Gestures. En *Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics. 5th International Conference, AVR 2018 Proceedings, Part II* (pp. 60–77). DOI: 10.1007/978-3-319-95282-6_5

Viñas-Diz, S., y Sobrido-Prieto, M. (2016). Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: revisión sistemática. *Neurología*, *31*(4), 255–277. DOI: 10.1016/J.NRL.2015.06.012

Wade, E., & Winstein, C. J. (2011). Virtual Reality and Robotics for Stroke Rehabilitation: Where Do We Go from Here? *Topics in Stroke Rehabilitation*, *18*(6), 685–700. DOI: 10.1310/tsr1806-685

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 15/11/2018
Aceitação/Acceptance: 17/01/2019

Evaluation of the Business Continuity Management of IT areas in the Industrial and Fishing Sector of the city of Manta: 16A earthquake study case

Gabriela Velásquez-Moreira[1a,1b], Lohana Lema-Moreta[2a,2b]

gvelasquezm@uees.edu.ec, lohanalema@uees.edu.ec/lohanalema@alumnos.upm.es

[1a,2a] Universidad Espíritu Santo, 092301, Samborondón, Ecuador.

[1b] Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 130214, Manta, Ecuador.

[2b] Universidad Politécnica de Madrid, 28031, Madrid, España.

Pages:671–682

Abstract: Natural disasters are one of the reasons why Information Technology (IT) can be affected and Business Continuity. On April 16th, 2016 - 16A, the city of Manta, fishing port of Ecuador, was affected by an earthquake measuring 7.8 degrees on the Richter scale. This research evaluates Business Continuity Management in IT area, in the city of Manta of the fishing-industrial sector, before, during and after 16A, through a structured interview in three sections, respectively; applied to 30 IT directors/managers of the sector. Results show that 13% of companies had implemented a policy of Business Continuity Management System before 16A; during 16A the IT area operations were restored to normality in an average of 60 hours. After 16A, at least, 47% of companies defined a business continuity plan, which highlights the importance of raising awareness, investing and implementing Business Continuity Management Systems in IT and organizations.

Keywords: Business continuity; IT; Fishing Sector; Earthquake.

1. Introduction

In the last decade, various events have occurred, both natural and premeditated, which have affected the technological development of organizations in operations such as: data storage, data storage in the cloud, telecommunications, data tunnels, mobile telephony, Internet Service, infrastructure, among others; these events have affected business continuity, regardless of the economic sector in which these organizations operate.

So much so that, in Chile, the earthquake and tsunami of 2010 was reported that the leading cause of damage technological infrastructure was absence of electrical power, which evidenced the lack of availability of alternative backups. Subsequently, the case is repeated in New Zealand territory, in 2011, where also the electrical problem was the leading cause of failures in telecommunications (Kwansinski, 2011). In Japan, the 2011 earthquake and tsunami left around 15,883 deaths, 2,643 disappeared, more than a million damaged houses, and 29,000 base stations of broken mobile telephone networks (Kobayashi, 2014).

In Ecuador, the most recent earthquake on April 16th, 2016 (16A), cataloged as one of the most catastrophic (Chunga, Besenzon, Mulas, Loayza & Pindo, 2016). According to the first Report of the Committee for the Reconstruction and Productive Reactivation of Plan Reconstruyo Ecuador (2016), in the productive sector it was estimated losses of economic flow for 498.9 million dollars, while in the telecommunications sector, it caused damages to 179 installations of mobile telephone towers. However, beyond what has been mentioned, there is no official detailed information on how the productive sectors of the affected area were prepared in their IT department, how they faced this contingency, how they recovered from it and what improvement actions they took after this event.

The importance of this research lies in obtaining quantitative data to help improve Operations continuity of companies, as has happened in countries such as Japan or Chile, where studies have emerged regarding business continuity, according to the effects caused by the various disasters they have gone through (Elliot, 2012; Allard & Arrasate, 2016). In Ecuador, two years after the 16A event, there is no data of the reality of IT departments in business continuity of leading productive sectors in affected areas. The relevance of researching these data, such as the average time in which critical information processes and systems recovered their operability, the recovery time of all the technological operations of the business, among other factors and, above all, how prepared was this sector to face an event of such magnitude; it is in establishing the elements that caused that the organizations adopt or not measures of change in order to improve their preparation for future events of the same nature.

Due to the above, it is important to make a situational diagnosis of the industrial and fishing sector of Manta, city where the main companies of this area affected by event 16A belong, in order to verify the reality of the business continuity management of IT departments in seismic risk zones in Ecuador with relevant information provided by those in charge of IT processes.

In order to comply with what was stated in the previous paragraph, this article has been developed and is structured in the following four sections: 1) theoretical framework, that describes main business continuity concepts; 2) methodology, which explains the technique used and the selected sample; 3) statistical analysis, where data are detailed and represented and 4) conclusions that expose the most relevant information obtained from the results.

2. Theoretical framework

2.1. Business Continuity Management

Business continuity management (BCM) has its beginnings since 1970 and has evolved as a response to the technical and operational risks that threaten an organization. The creation of the US Disaster Recovery Institute (DRI) in 1988 and the UK-based Business Continuity Institute (BCI) in 1994 were important milestones in the development of business continuity as an administrative discipline with formal theory, professional certifications and training programs (Herbane, 2010).

Later, other practices emerged, such as BS25999 (2007), which establishes that the BCM life cycle consists of six elements: 1) BCM program management, 2) understanding the organization, 3) determination and identification BCM strategies, 4) development and implementation of BCM responses, 5) embedding of BCM in organizational culture and also 6) training, exercise, maintenance and review of the BCM plan. From this regulation, currently, Business Continuity Management has its own standard known as ISO 22301:2012 (2012), one of the most known of the Business Continuity standards, where the same as a holistic management process that identifies possible internal and external threats/risks and their impact on business processes and provides a framework for organizational resilience.

Additionally, Kadarova & Bajus (2009) argue, as one of BCM basic principles, the alignment of activities to the company mission and business objectives, because the BCM together with crisis management are considered integral for management and corporate governance. In such a way, Parson & Brougy (2016) claim that the development and implementation of the business continuity plan is consistent with the functions, activities, products, services and supply chain of the organization, as well as the relationships of interest and the legal regulations of the context in which it operates.

2.2. Business continuity management in disaster recovery

Asgary, Anjum & Azimi (2012) maintain that the processes and results of post-disaster continuity and recovery are affected, not only by direct physical impacts that companies experience at the time of the disaster, but, furthermore, by the ways in which disasters create long-term problems for business owners that, according to Tierny (2007), may include extended periods of business interruption, decreased revenue due to loss of customers and other operational problems.

Based on the above, Paton & McClure (2017) explain that anticipation and planning are keys to helping employees, in the disaster context, and at the same time, knowing what they can do to support business continuity. Additionally, Gibb & Buchanan (2006) establish that CIO has a key role to play both promoting the BCM philosophy and ensuring information management incorporates effective plans, procedures and policies to protect key information assets of a company. In the same context, Coult (2001) defines the importance of implementing asset loss contingency plans that are not based solely on technology.

2.3. Business continuity strategies

In accordance with the ISO 22301: 2012 standard (2012), strategies selection for business continuity should be based, mainly in the results obtained from business impact analysis (BIA) and risk assessment. On the other hand, Torabi, Soufi & Sahebjamnia (2014) state that, to cause of internal dynamic conditions and externalities, the objectives and strategies of an organization can change over time; by therefore, the results of BIA together with the recovery strategies must also agree with these changes that lead to maintain an effective Business Continuity Management System (BCMS).

Additionally, Wallace & Webber (2017) point out that the selection of recovery strategy determines the future costs and capacity of program. With this reference, Alawanthan & Raman (2009) indicate that all subsequent plans are required to comply with the time required for the selected solution, bearing in mind that a poor selection of the strategy will require rewriting all continuity plans when it is replaced.

2.4. Related works

A research realized by Cerullo & Cerullo (2004) reports that 43% of companies affected by severe disasters were not reopened and, approximately 30% of these showed failures within the following two years. In the same context, in another work developed by IBM (2012), it is stated that 50% of disasters in this company are related by natural events, mainly in its geographical area because of the weather, the rest is due to other causes, for example, as power lines cut, server hardware failures and security.

In this sense, Martin (2011) cited the results of a study conducted by Emerson Network Power and the Ponemom Institute, which reveals that an interruption of data center activities costs $ 505,500 with an average incident lasting 90 minutes. This study took statistics from 41 data centers in the United States, with various industries, including financial institutions, health care companies and placement providers. Some examples of interruptions in the cloud, such as Amazon and Google in April of 2011 (Maitland, 2011), show that, even with "default" high availability infrastructures like the cloud provider data center system, downtime is still possible and requires attention. In another case, Butler (2013) presents his research, where a failure of 49 minutes in Amazon services, on January 31th, 2013, resulted in lost revenue for about 5 million.

According to Sahebjamnia, Torabi & Mansouri (2014), these statistics emphasize need for a proactive approach, by organizations equipped with a decision support framework, to effectively protect their processes against interruptions and reduce its negative impacts.

2.5. Main factors of disaster recovery in business continuity

According to Khoshkholghi, Abdullah, Latip, Subramaniam & Othman (2014), one of the main objectives of disaster recovery is business continuity, where recovery time objective and recovery point objective are two important parameters that recovery mechanisms try to improve, minimizing time of these.

Recovery time objective

According to Boyd, Day, Dean & Wolfgang (2011), recovery time objective, also called RTO by its abbreviation, is the time during which data availability should be restored. For example, if an operations execution program of a stock exchange must be in operation within thirty seconds that the primary storage system is not available, then recovery time objective for this program is thirty seconds. On the other hand, Cook (2015) conceptualizes that RTO is the period of time that can elapse between the interruption and the activation of operations.

Recovery point objective

Boyd et al., (2011) argue that recovery objective point, known as RPO by its acronym in English, is the point in time where data must be restored to resume operations. For example, if a stock execution program of a stock exchange fails, some data may be lost if a synchronous backup of all data in the secondary storage is not performed. Also, Cook (2015), agrees that RPO is point in time where data must be restored to allow the resumption of operations. Additionally, according to Khoshkholghi et al., (2014), the RPO denotes the amount of data lost after a disaster.

Service delivery objective

ISACA (2015) affirms that the service delivery objective, also known as SDO, is directly related to the needs of business, since SDO is the service level it must be achieved during the alternative process raised until normal situation in operations is restored.

On the other hand, authors such as Berghout & Tan (2013) consider that the SDO must be aligned with organization strategic objectives, so that the planned IT investment supports these services.

3. Methodology

The methodology of this research is mixed: qualitative results are presented with relation of actions, strategies and tactics taken for business continuity; meanwhile, quantitative results will be obtained through measurements of response time and intervals on these actions, where indicators such as RTO and RPO have been taken into account, although these are defined by business, they should be known in IT area, so that planning and prevention can go according to these.

To achieve the stated objective, this following research design was defined, composed of methodological activities described below: initial situation analysis, interview design, interview validation, interview application and results analysis.

To determine the initial state of problem, two scientific databases, Google Scholar and ACM, were searched using these keywords in English and Spanish: earthquake, Ecuador, Manta and business continuity. First searches were made at the beginning of this investigation, during August 2017, and last searches in March 2018, where it was evidenced that the results thrown by these platforms, showed scientific studies that made reference to physical damages caused, to studies oriented to geophysics and studies from other countries, and there were no formal business continuity studies focused on areas of seismic risk such as the city of Manta.

Considering that the largest natural event presented in Ecuador during the last 50 years is the earthquake of April 16th, 2016, for this reason, this event has been taken as a case study to realize this investigation with the companies established in Manta of fishing sector and industrial sector, since this sector is the main economic contribution in the city.

An interview is a method that allows the collection of data, and is generally used in qualitative research, has a great advantage in descriptive studies and is characterized by having among its elements with the purpose of obtaining information in relation to a specific topic and search this information collected with less margin of error (Díaz, Torruco, Martínez & Varela, 2013). For this reason, the interview has been selected as a research instrument for the present work.

In the design stage of the interview, a three-phase structure has been proposed: a first phase addresses questions that allow determining policies and strategies, in relation to Business Continuity Management, had these companies defined, before 16A; a second phase of the interview has been focused on actions and tactics that they decided taking to start their business recovery, at this point the variables to be measured for the quantitative diagnosis were established; and a third phase of the interview was directed to, once overcome the contingency of 16A, the influence of this event in the redefinition of business continuity management processes for their IT areas within the organization.

These three phases of the interview are composed of 35 questions distributed in 9, 10 and 16 questions, in phase one, two and three, respectively. The interview questions, mostly, were written, taking what ISO 22301: 2012 standard refers to, mainly in clauses 5, 8 and 9, which address the issues of roles and responsibilities, operation and evaluation, respectively. Also, from clause 6, point 6.2 and from clause 7, point 7.4 were taken into consideration. This interview has been directed to managers, directors or CIOs of IT organizations of the fishing and industrial sector.

Continuing with the methodological design activities, a validation of the interview instrument was carried out by means of a focal group composed of three people. This group was formed by a CIO related to port and fishing activities, an academic from the Systems area and by a professional with CISA certification. The duration of the focus group was 2 hours, at which time the instrument was observed and validated under the following criteria: relevance of the questions regarding the objective, the interview structure, and the interview content

As a result of the validation of the focus group, it was suggested that prior to the interview an introduction was given to the interviewee, and due to the size of the interview, the minimum duration time is one hour. Observations made to the instrument were incorporated and a new version of the document that was approved was generated.

According to the suggestions of the focus group, during the application of all the interviews an introduction was made, and the doubts of the interviewee were cleared, as they arose during the questions. This compilation of information took over a period of approximately two months.

For this, the 42 companies of the industrial and fishing sector registered in the Manta Chamber of Industry were selected, however not all of them provided necessary accessibility, which is evidenced in the calculation of the sample, by means of the statistical equation for population proportions (1), considering for this purpose a margin of error of 10% and a confidence level of 95%.

$$n = \frac{z^2(pq)}{e^2 + \left(\frac{z^2(pq)}{N}\right)} \quad (1)$$

4. Results analysis

As mentioned in the previous section, the research instrument used is composed of three phases, so the analysis of the data has been described phase by phase. Considering the questions that were raised with the objective of taking measurements, by way of comparison, before, during, and after event 16 A, tables 2 and 3 were constructed.

Questions	Responses	First phase	Third phase
1 / 20. Did/Does your organization have a business continuity plan?	Yes	27%	43%
	No	73%	57%
2 / 23. Did /Does your organization had / has a Business Continuity Management System (SGCN) policy approved by senior management?	Yes	13%	27%
	No	87%	73%
3 / 24. Was / has the SGCN policy been communicated to all the people in the organization?	Yes	13%	27%
	No	87%	73%
4 / 27. Did /Does your organization have a business impact analysis related to any incident that could alter the normal development of operations?	Yes	40%	45%
	No	60%	55%
5 / 28. Had / Has there been a risk assessment of possible events that may trigger interruptions to your organization?	Yes	53%	70%
	No	57%	30%
6 / 29. Did / Does your organization have documented proactive measures to reduce the probability of interruption and reduce the period of interruption in the products and services of your organization, in the event of an upsetting incident?	Yes	43%	43%
	No	57%	57%
7 / 30. Had / Has your organization established the maximum period of interruption it can support without providing the critical services or products?	Yes	40%	40%
	No	60%	60%
8 / 33. Had / Has the organization carried out exercises (simulations) and trials based on scenarios where the normal development of its operations is affected, due to an event or disturbing incident?	Yes	17%	43%
	No	83%	57%
9 / 34. Had / Has the organization established metrics appropriate to the organization's needs to monitor the performance of business continuity, through historical evidence such as false alarms, failures and incidents?	Yes	0%	30%
	No	100%	70%
31. Has your organization established its recovery point objective (RPO)?	Yes	N/A	30%
	No	N/A	70%
31. Has your organization established its recovery time objective (RTO)?	Yes	N/A	40%
	No	N/A	60%

Table 1 – Comparative results between the first and third phases of the interview

It is generally observed that positive responses in Table 1 shows growth in the third phase, compared to the first phase, evidencing that the companies decided to increase and invest in Business Continuity Management after the event, although in this growth it was not accepted by more than 50% of the sample studied.

In Figure 1, it can be observed, through the graph, the increase that has existed in terms of Business Continuity Management at the third phase (after 16A), in relation to the first phase (before 16A), based on the results of table 1. Although in some cases there is no favorable growth, however, in most of them there is evidence of such growth.

For example, of 27% of companies that did have a business continuity plan in the first phase, later, it was reached 43% of these companies that had the plan, after 16A. However, the questions 6 and 29 that refer to proactive measures to reduce the probability of interruption of operations do not show any increase, likewise in the questions 7 and 30 regarding the establishment of the maximum period of operations interruption.

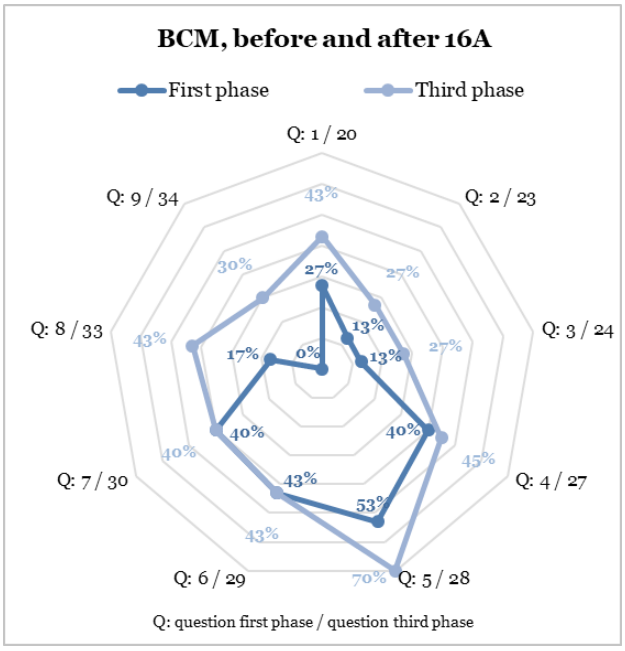


Figure 1 – Business Continuity Management, before and after 16A

The relationships of these results show an average growth of 19%, between the first and the third phase, showing that there has been a concern to improve and invest in Business Continuity, but this interest is not yet widespread in all the companies of the sector studied.

In a different way, Table 2 shows that, contrary to Table 1, the percentages of positive responses decreased after 16A, in relation to the actions taken during 16 A, which indicates that many actions executed during the contingency were not maintained for posteriority.

Questions	Responses	Second phase	Third phase
10 / 35. To ensure continuity of the activities and management of an alteration event, during / after the 16A. Was/Is an internal and external communication protocol established during 16A?	Yes	73%	57%
	No	27%	43%
11 / 21. Did your organization provide available resources to support all processes and procedures to manage this disrupting event (16A)? / Does your organization currently have a contingency plan?	Yes	100%	40%
	No	0%	60%
12 / 25. Did your organization define defined roles and responsibilities for people and teams during the 16A contingency? / Are there roles and responsibilities defined for people and teams to respond to disaster events, currently?	Yes	100%	43%
	No	0%	57%
17 / 22. Did your IT department have failures in equipments or servers? / Does your organization have an updated disaster recovery plan?	Yes	40%	57%
	No	60%	43%
18 / 26. Was there any loss of data or information in your organization as a result of the 16A event? / Has your organization identified which IT operations should receive the highest priority for recovery and resumption?	Yes	13%	100%
	No	87%	0%

Table 2 – Comparative results between the second and third phases of the interview

Table 3 shows the quantitative data in relation to response times, economic losses, and priorities within business continuity. From the results of this last table, it is observed that the time it took these companies to restore their services and critical products was, on average, more than 24 hours, and resume their activities and processes to normality took 60 hours what it would translate in more than two days. Additionally, it is observed that in this second phase, 40% of the companies reported losses exceeding $100.000, related to the cessation of their activities.

Questions	Responses	Second phase
13. Time used to restore their critical IT and business services	Average time in hours	25,33h
14. What was the time your organization used to reestablish IT and business operations to normal	Average time in hours	60h
15. Select which of the following options was your organization's priority during 16A?	Ensure the safety of employees, clients and suppliers	70%
	Recovery and restoration of business process	30%
16. Within the following scale, select which were the approximate economic losses of your organization.	1 - 20000	30%
	20001 - 60000	13,33%
	60001- 100000	
	100001 - 500000	40%
	500000 or higher	

Table 3 – Comparative results between the second and third phases of the interview

In question 19 of the interview, aimed at companies that claimed to have suffered damage or failures in their equipment, or loss of data; they were consulted openly, regarding what were actions taken for the recovery, most of them coinciding in the following: obtaining information backup of the damaged equipment, reestablishing power supply for telecommunications and configuring backup servers.

5. Conclusions

Organizations, for several years, are forced to seek strategies and ways to prevent and safeguard their people, processes and assets, because of this reason late or early are bounded to adapt business continuity in their reality and those who have prepared themselves adequately to take care of their business, are exempt from losses.

In the present investigation, an assessment of business continuity management in the IT areas of the companies with the highest economic impact in the city of Manta was carried out, based on the 16A case study. Where, a theoretical review of main concepts related to business continuity is made and similar cases are presented. Based on the information processing of the data collected, the results analysis was executed, which allows concluding, before 16A, it was evident that there was ignorance, lack of interest and little concern on the part of this business sector to adopt measures related to Business continuity management. During this first phase, only a small percentage, 13% of the companies, had established a business continuity management system policy and made necessary efforts to communicate it, and 27% of companies had established a continuity plan of business.

With the results, additionally, is evident that the level of reaction during the event of 16A (second phase), by some of the companies investigated, was corrective. What goes hand in hand with the high percentage of companies that, before the event, had not implemented any regulation related to business continuity management system. Although, during 16A, and in contrast to the previous, it can be deduced that these companies took favorable actions, while the contingency lasted, since there was little loss of data, according to the applied research instrument, since only 13% said have suffered it.

Another favorable consideration for these organizations is the time in which they were able to recover their critical IT services and operations, which averaged 25 continuous hours; however, lifting its IT operations and business to normal, with all its services, took a time of 60 continuous hours. In this second phase of the research instrument, it is also observed main activities undertaken by these companies, to lift their operations after the incident, are related to seeking to reestablish communications and telecommunications.

In the same field, after 16A, there is evidence of a greater degree of commitment on this sector for awareness, investment and implementation towards the management of business continuity in its IT areas. It stands out, for example, that 43% of companies that have a business continuity plan were reached, unlike 27% before 16A. Also, an increase was observed in the percentage of companies that have developed drills and simulations of disrupting events, in total by 43%, compared to an initial of 17%. However, it is worth clarifying that, although an improvement in the data of the interview applied in this third phase is reflected, there are still urgent actions and changes that should be adopted

by organizations in this sector that have not been updated or have not changed anything after 16A, since the average increase in positive responses between before and after 16A was only 19%.

The main limitation of this research is that, being this one of the first studies of business continuity management in IT areas, in relation to 16A in Ecuador, no comparison could be established with results obtained from other similar jobs in the country.

It is worth noting, then, that for future works, a comparison can be made among the actions taken, at reference to Business Continuity in IT areas in other zones of seismic risk in different countries. Likewise, new studies could be made of the BCM evaluation with other natural or man-made events that have arisen in Ecuador in recent history.

References

Allard, P., & Arrasate, M. I. (2016). Fables from the reconstruction: Lessons from Chile's recovery after the 2010 earthquake and tsunami. *Urban Disaster Resilience: New Dimensions from International Practice in the Built Environment*

Alawanthan, D., Dorasamy, M., & Raman, M. (2017). Information Technology Disaster Recovery process improvement in organization. *Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*, 2017 International Conference on (1–6). IEEE.

Asgary, A., Anjum, M. I., & Azimi, N. (2012). Disaster recovery and business continuity after the 2010 flood in Pakistan: Case of small businesses. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *2*, 46–56.

BS25999, B.S. (2007). Business Continuity Management-Part2: *Specification Business Continuity Management*.

Berghout, E., & Tan, C. W. (2013). Understanding the impact of business cases on IT investment decisions: An analysis of municipal e-government projects. *Information & Management*, *50*(7), 489–506

Boyd, K. W., Day III, K. F., Dean, M. E., & Wolfgang, J. J. (2011). *U.S. Patent No. 7,987,158*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Butler, B. (2013). Amazon.com suffers outage: nearly $5M down the drain? *Network World*. Retrieved from https://www.networkworld.com/article/2163191/cloud-computing/update--amazon-com-suffers-outage--nearly--5m-down-the-drain-.html

Cerullo, V., & Cerullo, M. J. (2004). Business Continuity Planning: A Comprehensive Approach. *Information Systems Management*, *21*, 70–78.

Cook, J. (2015). A six-stage business continuity and disaster recovery planning cycle. *SAM Advanced Management Journal*, *80*(3), 23.

Coult, C. (2001). Disaster recovery. *Managing Information*, *8*(8), 36–39.

Chunga, K., Besenzon, D., Mulas, M., Loayza, G., & Pindo, J. C. (2016, September). Areal distribution of Ground effects induced by the 2016 Mw 7.8 Pedernales earthquake (Ecuador). *88 Congresso della Societa'Geologica Italiana*. S (Vol. 1).

Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., & Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, *2*(7), 162–167.

Gibb, F., & Buchanan, S. (2006). A framework for business continuity management. *International journal of information management*, *26*(2), 128–141.

Herbane, B. (2010). The evolution of business continuity management: A historical review of practices and drivers. *Business history*, *52*(6), 978–1002.

International Standard Organization, B. (2012). 22301, 2012. Societal security. Business Continuity Management Systems. *British Standards Institute*, London, 15–19.

ISACA (2015). ISACA® *Glossary of Terms English-Spanish*.

Kadarova, J., & Bajus, R. (2009). Business continuity management. *Intercathedra*, *25*.

Khoshkholghi, M. A., Abdullah, A., Latip, R., Subramaniam, S., & Othman, M. (2014). Disaster recovery in cloud computing: A survey. *Computer and Information Science*, *7*(4), 39.

Kobayashi, M. (2014). Experience of infrastructure damage caused by the Great East Japan Earthquake and countermeasures against future disasters. *IEEE Communications Magazine*, *52*(3), 23–29ISO

Maitland, J. (2011), "A really bad week for Google and Amazon". *Tech Target*. Retrieved from http://searchcloudcomputing.techtarget.com/news/2240035039/A-really-bad-week-for-Google-and-Amazon

Paton, D. and McClure, J. (2017). Business continuity in disaster contexts. D. Paton and D. Jhonson, ed., *Disaster Resilience: An Integrated Approach* (2nd Ed.), Springfield: Charles C Thomas, p.80.

Plan Reconstruyo Ecuador (2016). Comité para Reconstrucción y Reactivación Productiva (2016). Informe Trimestral de Gestión (mayo - agosto de 2016). *Reconstruyo Ecuador*. Retrieved from http://www.reconstruyoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/Informe-Asamblea_SeTec-Reconstrucci%C3%B3n_20160830.pdf

Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2015). Integrated business continuity and disaster recovery planning: Towards organizational resilience. *European Journal of Operational Research*, *242*(1), 261–273.

Torabi, S. A., Soufi, H. R., & Sahebjamnia, N. (2014). A new framework for business impact analysis in business continuity management (with a case study). *Safety Science*, *68*, 309–323

Wallace, M., & Webber, L. (2017). The disaster recovery handbook: A step-by-step plan to ensure business continuity and protect vital operations, facilities, and assets. *AMACOM Div American Mgmt Assn*

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 09/12/2018
Aceitação/Acceptance: 20/02/2019

Sistema electrónico de iluminación inteligente en ambientes académicos

Luis David Narváez[1], Álvaro Francisco Yépez Pita[2], Stalin Marcelo Arciniegas[3], Laura Rosa Guerra Torrealba[4]

ldnarvaez@pucesi.edu.ec, afyepez@pucesi.edu.ec, smarciniegas@pucesi.edu.ec, lrguerra@pucesi.edu.ec

[1,2,3,4] Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100111, Ibarra, Ecuador.

Pages:683–693

Resumen: En la actualidad las soluciones inteligentes que integran sistemas de iluminación, seguridad y ambientes automatizados, dan lugar a nuevas formas de optimizar los recursos; y de esta manera, facilitar las tareas cotidianas en pos de mejorar la calidad de vida. El presente estudio parte de un análisis técnico de los sistemas automatizados de iluminación, donde se evidencian los mecanismos programables para diferentes acciones fijas en un horario concreto, o incluso que posibilitan una reacción de un determinado modo, a un estímulo o señal externa, gracias a sensores específicos. Dichas acciones fueron plasmadas en la etapa de diseño y construcción de un tablero de mando microelectrónico, con interfaz hombre máquina y dotado de comunicación inalámbrica hacia una aplicación móvil; todo en base a *hardware* libre. Es clave mencionar que, previo al desarrollo del aplicativo, se realizó un análisis diagnóstico de la situación del espacio físico a intervenir.

Palabras-clave: Domótica; Iluminación *LED*; Interfaz Gráfica; *Hardware* Libre.

Intelligent electronic lighting system in academic environments

Abstract: Currently, intelligent solutions that integrate lighting systems, security and automated environments give rise to new ways to optimize resources; and in this way facilitate everyday tasks in order to improve the quality of life. This study is based on a technical analysis of automated lighting systems, where the programmable mechanisms for different fixed actions in a specific time or even react in a certain way to a stimulus or external signal, thanks to specific sensors. Said actions were embodied in the design and construction stage of a microelectronic control panel with human machine interface and equipped with wireless communication to a mobile application, all based on free hardware. It is important to mention that prior to the development of the application, a diagnostic analysis of the physical space situation to intervene, was carried out.

Keywords: Home automation; LED lighting; Graphic interface; Open Hardware.

1. Introducción

El globalizado mundo en el que se vive actualmente, muestra un sinnúmero de nuevos servicios que buscan facilitar la vida diaria mediante la automatización de procesos a través de la domótica, la cual ha permitido mejorar notablemente, algunos aspectos de la calidad de vida en las personas, además que el nivel de adaptación de un sistema domótico es aplicable en cualquier infraestructura como universidades, laboratorios, hospitales y en los hogares, gracias a la gran variedad de servicios automatizados (Monteiro, Tomé & Albuquerque, 2015).

En los hogares, actualmente se consume más energía eléctrica que hace 25 años, por ende, se ha incrementado el uso de la domótica de forma exponencial y con excelente acogida hacia los usuarios. Conjuntamente, a través de la domótica, se puede lograr el uso racional de energía eléctrica, por medio de la iluminación inteligente (Junestrand, Passaret y Vázquez, 2004).

En el afán de lograr un hogar más confortable, seguro y sustentable en comparación con las casas tradicionales, surge la necesidad de que distintas áreas de la ciencia tales como arquitectura, ingeniería civil, electrónica, robótica, informática, y electricidad, converjan para mejorar el entorno laboral o doméstico de los seres humanos (Harke, 2010).

El aplicativo que aquí se expone, se basará fundamentalmente en un desarrollo domótico centrado en mejorar la situación actual de inadecuada iluminación, optimizando los recursos energéticos y mejorando la calidad de vida, mediante la automatización de procesos cotidianos con dispositivos electrónicos que permitan al usuario, acondicionar adecuadamente el ambiente de trabajo. Para el caso que concierne, se aplica a la Sala de Profesores de la Escuela de Ingeniería en Sistemas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCE-SI), haciendo el uso de energías limpias, optimizando el consumo de la energía eléctrica mediante la utilización de tecnología en iluminación *LED* (De Brown & Pontecorvo, 2015).

Además, dentro del diseño del prototipo se ha previsto la captación de energía solar, a través de la implementación de un sistema de paneles solares, que almacena energía en compartimientos de baterías, para luego direccionarlas a las luminarias *LED*, reduciendo notablemente el consumo de energía de la red eléctrica (Castells, 2012).

2. Materiales y métodos

El inicio de la presente investigación fue la fundamentación teórica y técnica en base a una recolección de información de fuentes bibliográficas, en aspectos como domótica (Harke, 2010), sistemas de iluminación (Maestre, 2007), sistemas embebidos de *hardware* libre Arduino (Maestre, 2007) y programación de interfaces gráficas en pantallas Touch 4D System (4D Systems, 2017) además del desarrollo de aplicaciones móviles bajo la plataforma App Inventor (Roberts, 2011). Cabe mencionar también en este punto, el uso de la comunicación inalámbrica Bluetooth (Wright, 2016).

Luego de esto se estableció un análisis diagnóstico de la sala de profesores de la Escuela de Ingeniería, con el afán de determinar las necesidades de los espacios académicos, en relación a la calidad y cantidad de la iluminación que se maneja actualmente, mediante

fichas de observación directa. Este análisis permitió el establecimiento de variables e indicadores que se muestran en la Tabla 1.

Una vez realizado el diagnóstico se procedió con el desarrollo de la ingeniería del proyecto basándose en los formatos establecidos en el IEEE-830 (Cohn, 2004) y el IEEE-1362 (Pohl, Hönninger, Achatz & Broy, 2012). Dentro de los cuales se persiguen el dar respuesta a las interrogantes

- ¿Qué es lo que realmente se necesita (prioridades) y cómo hacerlo?
- Descripción de la situación actual y sus antecedentes.
- ¿Qué restricciones hay que manejar e incorporar?
- El motivo de los cambios.
- ¿Qué mejoras se quieren hacer?
- Definir el sistema propuesto, principalmente las funcionalidades.

Objetivo Diagnóstico	**Variable**	**Indicador**
• *Conocer la fuente de alimentación de energía eléctrica que posee la PUCE-SI.*	• Fuente de alimentación de energía eléctrica.	• Tradicional • Alternativa
• *Establecer el nivel de confort y comodidad a los usuarios.*	• Nivel de confort de las instalaciones	• Comodidad • Confort Visual • Adecuación para personas con capacidades especiales
• *Determinar si la ubicación de las lámparas cumple con las exigencias ergonómicas reglamentarias según el instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*	• Condiciones ergonómicas	• Espacio físico • Puntos de luz • Nivel de iluminación
• *Conocer la frecuencia de manutención del sistema de iluminación actual.*	• Mantenimiento	• Calidad de insumos eléctricos • Vida útil • Frecuencia de Mantenimiento
• *Establecer la frecuencia de uso de la Sala de Profesores de la Escuela de Ingeniería.*	• Frecuencia de uso	• Número de personas • Horas/ trabajo • Horario Laboral
• *Analizar el impacto ambiental que causa el sistema de iluminación actual.*	• Impacto ambiental	• Energías renovables • Condiciones Climáticas

Tabla 1 – Objetivos diagnósticos, variables e indicadores

El sistema de iluminación inteligente está dotado con las funcionalidades (requisitos funcionales) de:

- Automatización de apertura y cierre de cortinas
- Automatización de encendido y apagado de luminarias
- Regulación de intensidad de luminarias
- Selección de fuente de energía (solar o red eléctrica) para alimentación de luminarias
- Control de cortinas y luminarias por áreas

- Selección de intensidad de iluminación en un rango predefinido (oficina, cine, automático y manual)

La aplicación está estructurada de tal forma que a corto plazo pueda integrarse con nuevos dispositivos electrónicos, si así se considera pertinente, esto no presentará dificultades ya que el hardware utilizado dispone de 43 pines para acoplar nuevas funcionalidades (Wheat, 2012).

Cada uno de los elementos empleados en la construcción del aplicativo son relativamente de fácil acceso para su adquisición y costo. Cada uno de ellos se describe brevemente a continuación.

Lámparas *LED*: Las lámparas *LED* son artefactos que proporcionan luz de similares características a las tradicionales, las cuales les hacen superiores, de esta manera tienen gran acogida para implantarse en nuevos sistemas de iluminación ya que reducen costos de energía además de producir mayor calidad de luz y mucho más tiempo de vida útil.



Figura 1 – Lámparas LED (Gago, Calderón y Fraile, 2012)

Módulo Bluetooth HC-06: El HC-06 posee un bajo consumo de energía que lo transforman en un dispositivo ideal para trabajar con microcontroladores de la misma tensión de alimentación, logrando de este modo equipos portátiles que pueden ser alimentados durante muchas horas, demostrando características excepcionales en aplicaciones médicas, o para actividades recreativas donde la fuente energética debe ser liviana y portátil.

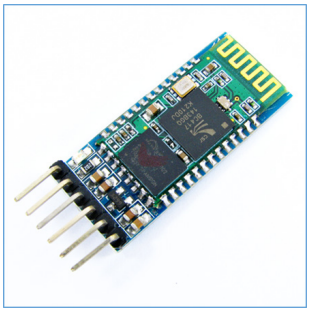


Figura 2 – Bluetooth HC-06 (Kurniawan, 2017)

Arduino mega 2560: Dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM (modulación de anchura de pulso). Además, dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas series), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset. Para empezar a utilizar la placa sólo es necesario conectarla al ordenador a través de un cable USB, o alimentarla con un adaptador de corriente AC/DC. También, para empezar, puede alimentarse mediante una batería.

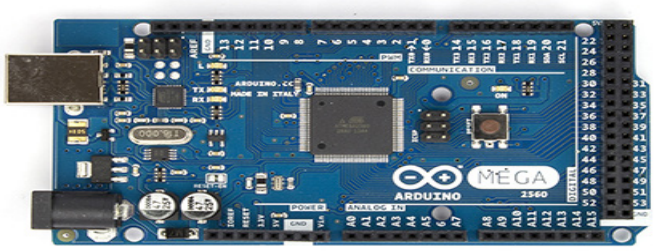


Figura 3 – Arduino Mega 2560 (Wheat, 2012)

Elementos de una instalación solar fotovoltaica: Las estaciones fotovoltaicas, son fuentes de recolección y acumulación de energía solar que son concentradas mediante paneles solares y distintos elementos denominados células fotovoltaicas.

Componentes	Características
Soportes y Estructuras 	Son los elementos que se aplican para la fijación de los módulos. Para evitar riesgos de oxidaciones deben ser de aluminio anodizado o hierro galvanizado, y fijados sólidamente para soportar la fuerza del viento sin ser abatidos.
Regulador 	Su función es evitar la sobrecarga de la batería y desconectarla por la noche, o en días nublados, evitar su descarga. El regulador debe situarse en lugar de fácil acceso.
Conmutador 	A semejanza del regulador, el conmutador evita descargas profundas de la batería, e interrumpe la conexión antes de obtener valores críticos que la dañarían.

Componentes	Características
Batería 	Es el elemento destinado al almacenamiento producida por los módulos. Debe disponerse en lugar ventilado cerca de la instalación, preservada de las inclemencias meteorológicas y protegida de temperaturas extremas.
Cables 	El tendido de cables en una instalación solar fotovoltaica debe ser lo más corto posible, a fin de reducir pérdidas de energía por caída de tensión.

Tabla 2 – Elementos de una instalación solar fotovoltaica

Actuadores y Motores: El proporcionar un movimiento regular y suave a las persianas, protege los mecanismos y evita los típicos tirones bruscos que hacen las personas a la hora de subirlas o bajarlas, y que son la principal causa del deterioro y rotura de las mismas.



Figura 6 – Motor de persianas (Martín, 2011)

Las interfaces del sistema de iluminación inteligente son controladas mediante comunicación bluetooth y haciendo uso de fuente de alimentación con base a energías alternativas, en la sala de profesores de la Escuela de Ingeniería de la PUCE-SI, el diagrama de bloques siguiente representa las conexiones.

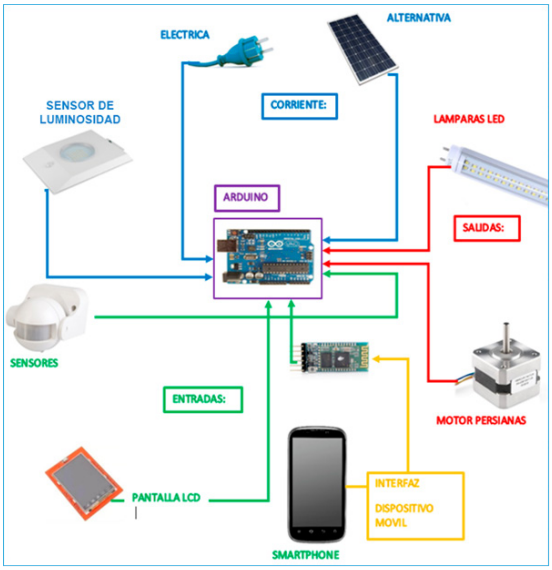


Figura 7 – Diagrama de bloques del aplicativo

3. Resultados

La implementación de la tecnología para controlar la iluminación de la sala de profesores de la PUCE-SI fue motivada por las siguientes necesidades:

- Iluminación poco adecuada, lo que dificulta las labores diarias de los docentes.
- Control de iluminación mediante apertura o cierre de cortinas y encendido o apagado de luminarias a criterio del personal docente.
- Desperdicio de energía al mantener luminarias encendidas de forma innecesaria.
- Dependencia de la energía de la red eléctrica para alimentación de las luminarias.

3.1. Descripción de los cambios

- La solución tecnológica desarrollada es un sistema de iluminación inteligente el cual posee las capacidades y funcionalidades que se describen a continuación.
- Control inteligente de la iluminación.
- Uso de Arduino para controlar los dispositivos electrónicos.
- Control de forma remota por medio de un *Smartphone* conectado mediante comunicación bluetooth.
- Apertura y cierre de cortinas por áreas mediante un *Smartphone*.
- Encendido y apagado de luminarias por áreas mediante un *Smartphone*.
- Control de intensidad de luz generada por las luminarias.
- Uso de fuentes de energía alternativa para alimentación de los dispositivos electrónicos.

3.2. Desarrollo del sistema propuesto

Para el desarrollo del sistema de iluminación inteligente controlado mediante bluetooth y uso de energías alternativas en la sala de profesores de la Escuela de Ingeniería de la PUCE-SI, con el objetivo de mejorar las condiciones del área de trabajo de los docentes, disminuir el cansancio visual al realizar sus funciones en un ambiente con una iluminación inadecuada, uso inadecuado de la energía eléctrica y regulación de la iluminación ambiental de la sala se propone un sistema de inteligente que controle los diferentes factores que inciden en la iluminación de la sala, a la vez que se aproveche otras fuentes de energía alternativa para la alimentación de luminarias.

Para esto se ha optado por utilizar herramientas de desarrollo como son IDE Arduino para la programación de la placa Arduino y App Inventor para la codificación de la aplicación móvil que controlara mediante conexión bluetooth las diferentes funciones del sistema, cabe resaltar que estas tecnologías son totalmente compatibles entre sí.

Todo esto se realiza mediante la interfaz, una aplicación móvil para sistema operativo Android conectado al servidor Arduino por medio de una conexión bluetooth, y además una interfaz gráfica en una pantalla gráfica táctil.

El sistema tiene un diseño en base de componentes hardware como software que integra el sistema que se describe en la siguiente Figura 7.

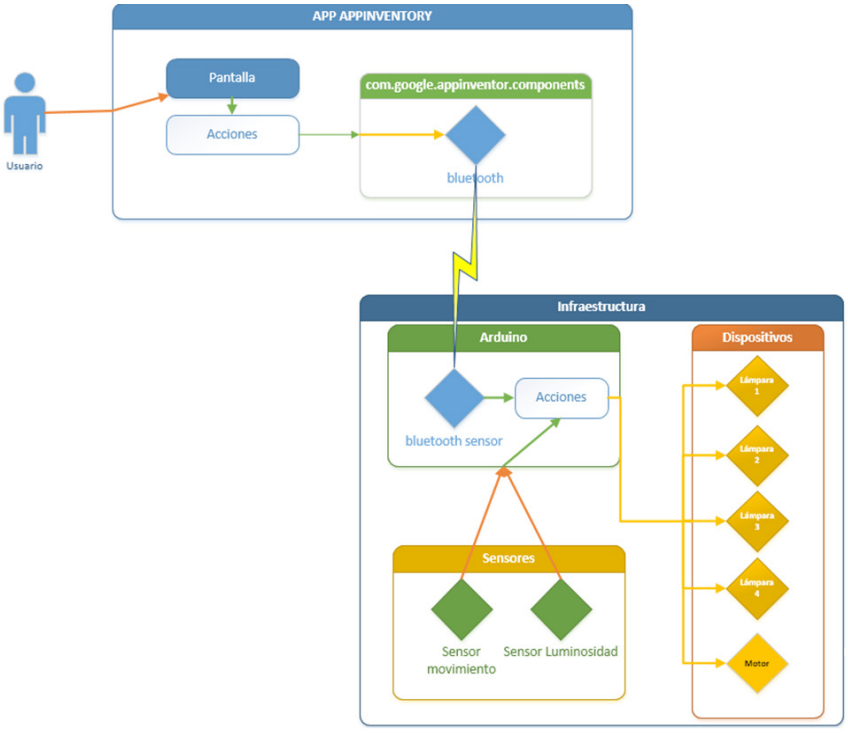


Figura 7 – Arquitectura del aplicativo

4. Discusión de resultados

Los resultados de la investigación se abordaron mediante un análisis basado en la norma de evaluación de la calidad de software, llamada "Information technology - Software product evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use"; o también conocido como ISO 9126 (o ISO/IEC 9126) (Muñoz, Velthuis y Rubia, 2010), donde se midieron atributos de funcionalidad y fiabilidad.

Nro.	ATRIBUTOS DE FUNCIONALIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE
1	Adecuación	X	
2	Exactitud	X	
3	Interoperabilidad	X	
4	Seguridad	X	
5	Cumplimiento funcional	X	

Tabla 3 – Funcionalidad (Narváez, Yépez, Arciniegas, Guerra, 2017)

Adecuación: La aplicación cumple con los requisitos funcionales y no funcionales planteados por la PUCE-SI, por lo tanto, se adecua a las necesidades propuestas.

Exactitud: Los algoritmos utilizados en el sistema garantizan el óptimo funcionamiento de cada uno de los componentes, gracias a la exactitud en cada uno de las funciones realizadas.

Interoperabilidad: La interacción con otros dispositivos electrónicos es parte fundamental para el correcto funcionamiento del sistema en general, en este campo no se ha presentado ningún inconveniente en cuanto a incompatibilidad entre el sistema y los dispositivos.

Seguridad: El uso de una conexión bluetooth garantiza la seguridad de la información y comandos enviados desde y hacia los diferentes dispositivos.

Cumplimiento funcional: Luego de comprobar el correcto funcionamiento del sistema se concluye que cumple con las funcionalidades requeridas.

Nro.	ATRIBUTOS DE FIABILIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE
1	Madurez	X	
2	Recuperabilidad	X	
3	Tolerancia a fallos	X	
4	Cumplimiento de fiabilidad	X	

Tabla 4 – Fiabilidad (Narváez, Yépez, Arciniegas, Guerra, 2017)

Madurez: El prototipo ha sido sometido a pruebas de laboratorio las mismas que se pueden observar en la pág. 134 en el manual de operación del sistema, tales como el control de luminarias en diferentes horas del día, además de medir la luminosidad mediante el luxómetro, el cual indica si el valor de lúmenes en tiempo real para de esta manera saber si es el adecuado de acuerdo a la actividad que se realiza.

Recuperabilidad (casos especiales): El control de fallos en las peticiones realizadas permite mantener operativo el sistema en los siguientes casos: descarga de baterías, alimentación solar o eléctrica, daños en sensores y lámparas led, las cuales están distribuidas en 4 zonas de trabajo de manera independiente, haciendo que el sistema no se vea afectado completamente.

Tolerancia a fallos: Al ser un prototipo que depende de conexión directa a corriente eléctrica o fotovoltaica, se garantiza su funcionamiento ya que esta acoplado a una fuente externa de alimentación que soporta caídas o subidas de tensión, además cuenta con un mecanismo de emergencia (botón de pare) que interrumpe la energía del sistema en caso de cualquier situación de riesgo.

5. Conclusiones

Se evidenció que un sistema de iluminación inteligente es de accesible aplicación en cualquier infraestructura y que permite con la ayuda de otros sistemas de alimentación ininterrumpida, el manejo inteligente de la energía y de las baterías de gran capacidad, todo el tiempo y ante cualquier falla del sistema eléctrico externo.

Se estableció como fortaleza una infraestructura física de la PUCE-SI apropiada, la accesibilidad a cambios ergonómicos, energía eléctrica continúa, apoyo institucional (docentes) para la realización de este estudio y utilización frecuente del área en estudio.

Las instalaciones de la PUCE-SI que fueron analizadas tienen una iluminación tradicional, por lo que al desarrollar la propuesta se pretende modernizar y optimizar el uso de recursos energéticos. Además, se busca que las personas con capacidades especiales puedan tener acceso y control sobre el mismo, ya que al disponer de un módulo de control inalámbrico para la apertura de las persianas y regulación de la intensidad en las luminarias *LED*, el desplazamiento en el espacio físico será más fácil.

El sistema de iluminación inteligente utiliza la conexión mediante Bluetooth de un s*martphone* con sistema operativo Android, para tener total control de la iluminación de la sala de profesores de la escuela de ingeniería; Además, brinda la posibilidad de seleccionar la fuente de energía (solar o eléctrica) a utilizar para alimentación de los dispositivos, esto gracias a la interfaz de una aplicación móvil.

El presente estudio se puede considerar como un documento didáctico, pedagógico y metodológico, basado en procesos que servirá de ayuda a docentes, estudiantes y demás lectores, vinculados con esta tecnología (informática-electrónica). El prototipo, producto de la investigación, permitió desarrollar, ampliar e indagar, los beneficios que tiene este modelo para el vivir diario, lo cual es de gran ayuda para la actualización e innovación académica.

Referencias

4D Systems. (2017). LCD Displays. *4D Systems*. Recuperado de https://www.4dsystems.com.au/group/LCD_Displays/

Builes, J. A. J., y Carranza, D. A. O. (2008). Uso de técnicas de inteligencia artificial en ambientes distribuidos de enseñanza/aprendizaje. *Revista Educación en Ingeniería, 3*(5), 98-106.

Castells, X. E. (2012). *Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenbilidad*. Ediciones Díaz de Santos.

Cohn, M. (2004). *User Stories Applied: For Agile Software Development*. Boston: Addison-Wesley Professional.

De, R., Brown, T. M., & Pontecorvo, T. (2015). Flexible photovoltaics for light harvesting under LED lighting (pp. 2100-2103). Presentado en *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering, EEEIC 2015 - Conference Proceedings*. DOI: 10.1109/EEEIC.2015.7165501

Gago, A., Calderón, A. G., y Fraile, J. (2012). *Iluminación con tecnologia LED*. Madrid: Editorial Paraninfo.

Harke, W. (2010). *Domótica para viviendas y edificios*. Barcelona: Marcombo.

Junestrand, S., Passaret, X., y Vázquez, D. (2004). *Domótica y hogar digital*. Madrid: Editorial Paraninfo.

Kurniawan, A. (2017). *Arduino Programming with .NET and Sketch*. New York: Apress.

Maestre, D. G. (2007). *Ergonomía y psicosociología*. Madrid: FC Editorial.

Martín, J. C. (2011). *Actuadores y sus aplicaciones (Instalaciones domóticas): Ciclos Formativos*. Madrid: Editex.

Monteiro, P., Tomé, P., & Albuquerque, D. (2015). Domotics control system architecture. Presentado en *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI 2015*. DOI: 10.1109/CISTI.2015.7170403

Muñoz, C. C., Velthuis, M. G. P., y Rubia, M. Á. M. de la. (2010). *Calidad del producto y proceso software*. Madrid: Editorial Ra-Ma.

Pohl, K., Hönninger, H., Achatz, R., & Broy, M. (2012). *Model-Based Engineering of Embedded Systems: The SPES 2020 Methodology*. Springer Science & Business Media.

Roberts, R. (2011). *Google App Inventor*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.

Sommerville, I. (2005). *Ingeniería del software*. Boston: Pearson Educación.

Vallina, M. M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editorial Paraninfo.

Wheat, D. (2012). *Arduino Internals*. New York: Apress.

Wright, M. (2016). *Hc-05 Bluetooth + Arduino: Includes the Zs-040*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 30/11/2018
Aceitação/Acceptance: 10/01/2019

Agente adaptativo para la enseñanza en ambientes inteligentes

Dulce M. Rivero-Albarrán[1a,1b], Nancy G. Ulloa-Erazo[2], Laura R. Guerra T.[3], Bryan Arellano[4], Stalin M. Arciniegas A.[5]

dmrivero@pucesi.edu.ec, lrguerra@pucesi.edu.ec, nulloa@pucesi.edu.ec, bgarellano@pucesi.edu.ec, smarciniegas@pucesi.edu.ec

[1a,2,3,4,5] Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100111, Ibarra, Ecuador.

[1b] Universidad de los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

Pages:694–707

Resumen: La educación tradicional se está transformando. Parte de este cambio, se debe a la incorporación de las tecnologías de la información en el proceso educativo. Este trabajo presenta un agente de gestión de cursos, el cual forma parte de un sistema multiagentes para salones inteligentes. El agente adapta los contenidos de cada curso al perfil del estudiante, para ello utiliza su progreso y estilo de estudio. Además, recomienda a cada estudiante los objetos de aprendizaje más adecuados para cada tema. El agente fue diseñado para ambientes de tipo presencial, donde cada curso tiene un tiempo y horario determinado. Como resultado, se obtuvo una lista de objetos de aprendizajes recomendados para el educando, de acuerdo al tema que el agente indica, con base en el seguimiento que se realiza y al perfil de estudio del alumno.

Palabras-clave: salones inteligentes; agentes inteligentes; sistemas recomendadores; sistemas adaptativos; *e-learning*.

Adaptive agent for teaching in intelligent environments

Abstract: *Traditional education is being transformed, part of this change is due to the incorporation of information technologies in the educational process. This paper presents a course management agent, which is part of a multi-agent system for intelligent classrooms. The agent adapts the contents of each course to the profile of each student, using their progress and their learning style. In addition, the agent, for each topic, recommends the learning objects most appropriate to each student. The agent is designed for face-to-face environments, where each course has a specific time and schedule. As a result, a list of learning objects recommended to each student was obtained according to the topic that the agent indicates based on the follow-up and the student's profile.*

Keywords: intelligent classrooms; intelligent agents; recommender systems; adaptive systems; e-learning.

1. Introducción

Los modelos tradicionales de educación están en fase de transición. Las nuevas tecnologías apoyan los procesos del aprendizaje activo, ahora el estudiante puede acceder, a través del internet, a nuevos conocimientos con el objeto de complementar y poder reflexionar en relación al conocimiento adquirido. En las últimas décadas, los sistemas de enseñanza basados en las tecnologías han generado un gran interés entre los investigadores en sistema de *e-learning* (Klašnja-Milićević, Vesin & Ivanović, 2016; Desmarais & Baker, 2012; Chen, Cheng & Chew, 2016). Como resultado de estos trabajos, se tienen los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI), las plataformas de aprendizaje y los entornos virtuales de enseñanza.

Aunado a esto, los avances tecnológicos de las últimas dos décadas han impulsado los trabajos en el campo de Ambientes Inteligentes (IA, de sus siglas en inglés) (Obando, 2018; Aguilar, Sánchez, Valdiviezo y Cordero, 2015). Los IA facilitan la interacción del usuario con su entorno, potenciando su utilización. Los beneficiarios se encuentran rodeados de objetos que contienen interfaces de fácil uso (intuitivas e inteligentes), con capacidades de cálculo, donde la de computación ubicua se utiliza para lograr la interacción con estos objetos, permitiendo que éstos respondan y se adapten a sus necesidades.

Los ambientes inteligentes de aprendizaje o Salones Inteligentes (SaI), como una especialización de los IA, son espacios donde tecnologías como: IoT, *big data*, ciencias de los datos e inteligencia artificial, han sido utilizadas para enriquecer los procesos de enseñanza aprendizaje; creando espacios de trabajos ubicuos y personalizados, de acuerdo a los estilos de aprendizaje de cada estudiante. La enseñanza personalizada ha sido ampliamente tratada en el trabajo de Calderero Hernández Calderón, Benítez Guerrero y Mezura Godoy (2014), donde se presenta una actualización del concepto de educación personalizada, los medios y recursos que hacen uso de las TIC. En este trabajo se muestra cómo la educación personalizada persigue que el estudiante juegue un papel más protagónico en su formación, a través de un proceso de enseñanza más activa y reflexiva.

Un SaI ofrece un entorno de enseñanza personalizado. Éstos pueden, por ejemplo, controlar las variables del entorno (luz, temperatura, ruido) y los dispositivos de enseñanza (pizarras, tabletas, PC, etc.), y seleccionar los contenidos y los objetos de aprendizajes (OA) que cada estudiante debe revisar. El docente deja su rol de transmisor de conocimiento y se dedica a elaborar y seleccionar contenidos, donde el alumno aprende a aprender, ya que los SaI son ambientes inteligentes centrados en los estudiantes. La selección de los contenidos y de los OA se debe adaptar a las características de cada estudiante. Para encontrar qué OA recomendar al educando, es necesario conocer sus estilos de aprendizaje (activos, visual, verbal, etc.) (Filippidis & Tsoukalas, 2009; Freigang, Schlenker & Köhler, 2018; Rivero-Albarrán, Rivas-Echeverría, Guerra Torrealba & Arciniegas Aguirre, 2018; Hernández Calderón et al., 2014).

Un SaI está compuesto por un conjunto de dispositivos como sensores, actuadores, computadores; y un conjunto de aplicaciones de *software* como entornos virtuales de aprendizajes (EVA), gestores de OA, sistemas de recomendación (SR), agentes de control del entorno, STI (Aguilar et al., 2015). Los STI gestionan los contenidos del curso

y, cómo éstos, son impartidos a los estudiantes. Un SaI, por cada curso, debe realizar una planificación, seguimiento, evaluación en línea, búsqueda y recuperación de sus contenidos (Klašnja-Milićević, et al., 2016).

Un plan describe el orden o secuencia de temas y/o actividades a seguir. El seguimiento controla la ejecución del plan, las acciones indican la activación y control de los actuadores y el manejo de fallos indica que hacer para la recuperación ante algún fallo. La planificación se hace con el fin de alcanzar una meta (temas aprobados, competencias a adquirir, horas mínimas a cumplir). Un plan es una combinación de actividades y/o temas. La generación del plan es responsable de combinar los temas de un curso. En una planificación clásica, donde el conjunto de actividades forma el espacio de estados, la generación del plan se encarga de combinar las actividades con el fin de alcanzar la meta, la cual, generalmente, es una condición sobre el estado final (número de temas, número de competencias cubiertas, etc.) (Spalzzi, 2001; Giunchiglia & Spalazzi, 1999).

Una planificación adaptativa modifica su plan de forma automática a fin de responder a los cambios en el entorno de ejecución, cambiando la planificación actual o generando nuevas acciones. Para ello, se debe tener un modelo del entorno, las acciones disponibles en el sistema y las reglas para identificar una discrepancia entre el modelo del entorno y el estado actual, si el entorno se mueve a un estado no deseado se realizan las acciones asociadas (Sykes et al., 2013).

En este trabajo se presenta un agente de enseñanza para la gestión de cursos en un SaI, el agente realiza la planificación, seguimiento, adaptación del plan de acuerdo a la evolución de cada estudiante, la gestión y recomendación de los OA. Diferentes trabajos se han realizado en este campo (Brusilovsky, Karagiannidis & Sampson, 2001; Brusilovsky & Vassileva, 2003; Conejo et al., 2004; Hockemeyer, Held & Albert, 1997; Park & Lee, 2003). A diferencia de los citados, el presente proyectos está enfocado en un SaI de tipo presencial, donde cada curso tiene un tiempo de duración fijo (horas, semanas). Se presenta la estrategia para adaptar el plan a las necesidades de cada estudiante sin violar las restricciones de tiempo y competencias establecidas para el curso. El agente de enseñanza es parte de la arquitectura multiagente, propuesta por Rivero, Arciniegas, Narváez y Puetate (2016), en la que se especifican un conjunto de agentes que colaboran entre sí para lograr las funcionalidades requeridas en un SaI. El entorno del agente está compuesto por el aula de clases, los alumnos que asisten en un momento determinado y la asignatura asignada en ese instante de tiempo (horario).

El resto de trabajo se organiza de la siguiente manera. En la sección dos, se presentan algunos trabajos desarrollados en esta área; en la sección tres, se presentan brevemente algunos conceptos importantes relacionados con este trabajo. En la sección cuatro, se describe la metodología utilizada, el diseño del agente de enseñanza; y los resultados de la construcción, se presentan en el apartado cinco. Para finalizar, en la sección seis, se dan algunas conclusiones.

2. Trabajos relacionados

Los agentes de *software* han sido utilizados en el desarrollo de agentes inteligentes para la enseñanza, existen agentes para la recomendación de contenidos de cursos como MathTuthor (Frigo, Cardoso & Bittencourt, 2005), y Educ-MAS (Gago, Werneck &

Costa, 2009). Hwang (2014) desarrolló un sistema de enseñanza que incorporan agentes adaptativos para la gestión de la enseñanza y sistema de enseñanza móvil, y ubicua. Los sistemas basados en agentes permiten a los instructores monitorear directamente el ambiente de aprendizaje, entender las condiciones de los estudiantes y brindar asistencia adaptativa en tiempo real, al mismo tiempo que facilita el aprendizaje independiente de los estudiantes (Klašnja-Milićević et al., 2016).

Adicionalmente, se tienen agentes que utilizan la planificación secuencial de tareas como parte de su sistema. El sistema ALEKS (www.aleks.com), de la Universidad de California, en Irvine, se basa en la teoría cognitiva de los espacios de conocimiento. El tutor de ALEKS toma un enfoque muy diferente a la tutoría, se puede considerar que usa una secuencia curricular que consiste en definir el camino de aprendizaje en un espacio de objetivos de aprendizaje y contenido didáctico (Canfield, 2001). Asimismo, el sistema hipermedia de enseñanza adaptativo (Brusilovsky, Karagiannidis & Sampson, 2001) utiliza este enfoque de secuenciación de tareas.

La adaptación puede ser muy general como recomendar cursos o capítulos de libros, o más específico como elegir ejercicios considerados nuevos y desafiantes, pero no demasiado difíciles, de acuerdo con las características del estudiante. Otros sistemas que adoptan un enfoque de secuencia de currículo son: SIETTE (Conejo et al., 2004), que se limita a la secuenciación de elementos de prueba, y el sistema RATH, que es un sistema hipertexto adaptativo (Hockemeyer, Held & Albert, 1997).

3. Conceptos relacionados

3.1. Estilos de aprendizaje

Los estilos de aprendizaje permiten clasificar a los estudiantes de acuerdo con las formas en que reciben y procesan la información y adquieren conocimientos (Felder & Silverman, 1988). Existen diversos modelos de estilos de aprendizaje. En este trabajo se utilizó el modelo propuesto por Felder & Siverman (1988). Ellos definen cuatro estilos de aprendizaje en pareja que se oponen, estos son:

- Estudiantes sensitivos/intuitivos: los sensitivos son pensadores concretos, orientados a hechos y procedimientos; intuitivos son pensadores abstractos, innovadores, orientados a las teorías y significados subyacentes.
- Estudiantes visuales/verbal: los visuales prefieren representación del material presentado, tales como gráficos, imágenes, diagramas de flujo; los verbales prefieren escribir y explicaciones habladas.
- Estudiantes activos/reflexivos: los activos aprenden probando cosas, disfrutan trabajando en grupos; los reflexivos aprenden pensando sobre las cosas, prefieren trabajar solos.
- Estudiantes secuenciales/globales: en los aprendices secuenciales su proceso de pensamiento es lineal, aprenden por pasos, en pequeños incrementos, mientras que los globales piensan de forma holística, aprenden en grandes saltos.

Un entorno de aprendizaje óptimo debe combinar ambos lados de cada una de las dimensiones dadas.

3.2. Enseñanza adaptativa

La enseñanza personalizada es la adaptación del currículo y los entornos de aprendizaje para satisfacer las necesidades y los estilos de aprendizaje de cada estudiante (Baguley, Danaher, Davies & De George-Walker, 2014). Un sistema de *e-learning* personalizado ofrece a los estudiantes, de acuerdo a sus estilos de aprendizaje, una variedad de los elementos de educación en línea. Estos sistemas deben considerar:

- El entorno de aprendizaje, el contenido a impartir y la apariencia para el alumno.
- El contenido de aprendizaje en sí mismo, representaciones multimedia (como textual, gráfico, audio, vídeo, etc.).
- La interacción incluye instructor, estudiante y contenido de aprendizaje (pizarra, PC, mouse), mediante pruebas cortas, discusiones y juegos.

La enseñanza personalizada debe revaluar los cursos apoyados en sistemas de *e-learning* tomado en cuenta varios factores, como:

- Personalizar los medios de comunicación: de acuerdo con sus estilos de aprendizaje y preferencias.
- Personalización de secuencias de aprendizaje.

3.3. Sistemas de recomendación

Los sistemas de recomendación se caracterizan por seleccionar, de una colección de artículos, aquellos que más se adecuen a las características del usuario (Ricci, Rokach, Shapira & Kantor, 2015). Desde el punto de vista técnico, existen dos métodos de filtrado para realizar la selección de objetos a recomendar, que son:

- Filtrado basado en contenido: tienen el producto como base de la predicción, en lugar de tener al usuario. Es decir, utiliza las características de los OA (etiquetas asignadas a cada OA) para hacer las recomendaciones.
- Filtrado colaborativo: basan su lógica en las características del estudiante. Los datos que se tienen del estudiante se convierten en el centro de un filtro colaborativo. El sistema busca a aquellos usuarios que tengan características similares y que han seleccionado OA en ese tema.

4. Metodología

Como en todo proceso de desarrollo de *software*, es necesario conocer el dominio en el cual se va a trabajar, así como los conceptos, fundamentos y trabajos que se han realizado en este dominio. Con el fin de identificar los procesos que un docente realiza cuando elabora un curso, se hizo un análisis en el dominio de la enseñanza, se identificaron las actividades, tareas y los objetos del negocio asociados a cada proceso. Además, se realizó una búsqueda documental para conocer como la IA y las nuevas tecnologías han sido utilizadas en el desarrollo de los sistemas *e-learning*. Entre ellos, salones inteligentes y los sistemas adaptativos inteligentes en la educación. Con base en los modelos obtenidos, y los trabajos previos, se definieron los comportamientos del agente.

5. Resultados

En esta sección se presenta el diseño de sistema del agente y luego se muestran los resultados obtenidos.

5.1. Diseño del agente de enseñanza

El agente de enseñanza colabora con el agente de control del entorno y el de aprendizaje (Rivero et al., 2016). Éste último es responsable de evaluar al estudiante sobre cada tema del curso y notificar de sus resultados al agente de enseñanza. Información usada por el agente de enseñanza para adaptar el plan del curso a cada estudiante.

El agente emula las actividades de un docente. Del conjunto de comportamientos identificados en la fase de análisis, se diseñaron dos agentes y se especificaron un conjunto de servicios que se agruparon en dos componentes. La Figura 1 muestra la arquitectura del agente de enseñanza, compuesto por el agente de gestión del curso y el agente de recomendación, además de un componente que contiene los servicios para la gestión de perfiles de los estudiantes. Se especifica también un componente para la gestión de OA, ya que ambos agentes requieren de sus servicios. El diseño persigue el desarrollo de un agente adaptativo y, por tanto, centrado en el usuario, asimismo, el diseño permite manejar una variedad de elementos didácticos (contenidos, recursos, medios de enseñanza, etc.). El agente usa una arquitectura orientada a servicios, cada agente se desempeña de manera independiente, el servicio realiza la acción requerida sin tomar en cuenta el componente que genera o presta el servicio.

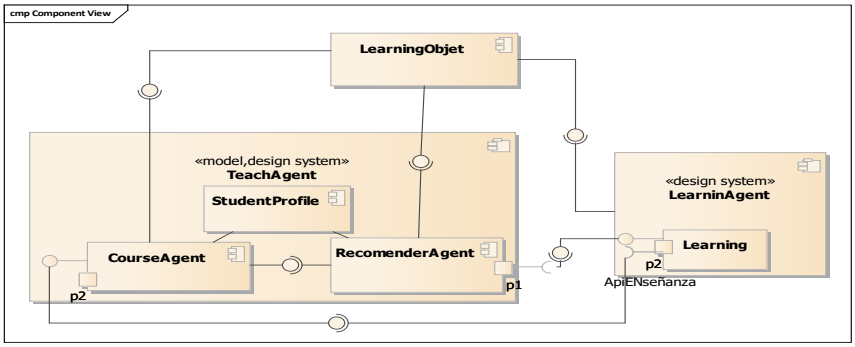


Figura 1 – Diagrama de componentes del agente de enseñanza

Agente de Gestión de Cursos

Este agente es responsable de la gestión de los contenidos del curso, la planificación, el seguimiento y la adaptación del plan de acuerdo a la evolución de cada estudiante. Los contenidos, temas, actividades y objetos de aprendizajes, asociados a cada tema, son elaborados y creados por el docente, el cual ingresa los contenidos del curso. Además, el docente debe aprobar el plan inicial, generado por el planificador.

Para la planificación es necesario tener los contenidos del curso, éstos se almacenan como un grafo, que representa el espacio de estados del curso. La planificación de los contenidos se utiliza para guiar a los estudiantes en el curso. El agente calcula la secuencia en que deben impartirse los contenidos y temas del curso para alcanzar las competencias especificadas. Por cada contenido, el docente debe indicar a qué competencias está asociada, la prioridad (alta, media, baja), sus temas, el tipo de actividad (práctica o teórica) el tiempo asignado, el criterio de aprobación del contenido y el tiempo requerido en una replanificación en base a los perfiles.

El agente, por cada asignatura, realiza una planificación general y de acuerdo al progreso de cada estudiante (información provista por el agente de enseñanza) adapta la secuencia de temas. La planificación no requiere de una respuesta en tiempo real, por ello, se utilizó una planificación jerárquica. En ella, la meta a lograr, en el primer nivel, se calcula a partir del total de horas dedicadas a cada competencia, donde cada una tiene asociada un conjunto de contenidos del curso. A partir de las restricciones de tiempo y de la necesidad de cubrir todas las competencias, se obtuvo el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$Total\ Horas\ Competencia\ i = \sum_{j=1j}^{totalCont} HC\ j \qquad i = 1,2,\ldots nc \qquad \text{(Ec. 1.1)}$$

Donde *HCj* es el total de horas asignadas a un contenido de una competencia específica i y *nc* es el número de competencia de la asignatura.

$$\sum_{i=1}^{nc} PC\ i\ =\ 1 \sum_{i=1}^{nc} PC\ i\ =\ 1 \qquad \text{(Ec. 1.2)}$$

Donde: PC_i es el peso de la competencia i en la asignatura. Este peso es el número total de horas de la competencia i entre el total de horas del curso.

$$\sum_{i=1}^{3} HCPik = Total\ Horas\ Competencia\ i \quad \text{i} = 1,2,..\text{nc} \qquad \text{(Ec. 1.3)}$$

Donde HCP_{ik} es el número de horas de prioridad k en la competencia i. La meta de planificación es garantizar que el total de horas se distribuya, a lo largo del período académico, de acuerdo a los contenidos y prioridades asociados a cada competencia, respetando sus precedencias. El plan debe garantizar que al modificar las horas de una competencia el conjunto de ecuaciones (Ec. 1.1, Ec. 1.2, Ec. 1.3) se cumplan. En el segundo nivel, se planifican los temas que corresponden a cada contenido; los temas, en la replanificación son modificados, las operaciones asociadas a este nivel son: eliminar tema, reducir tiempo. La meta a lograr en la planificación de los temas esta especificada en el total de horas que en el nivel anterior se le asignó al contenido. Inicialmente, esta planificación sigue una estructura lineal, la cual en la tarea de replanificación se modifica. La Figura 2 muestra el diagrama de clases del agente.

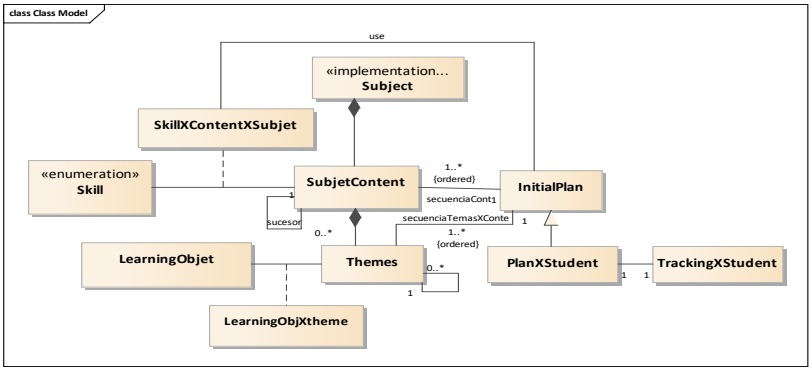


Figura 2 – Diagrama de clases del agente de gestión de cursos

Dos tareas necesarias son: el seguimiento es una tarea transparente al usuario, que se realiza por curso y por alumno y es responsable de monitorear el progreso del estudiante; la replanificación, que es la acción resultante de evaluar las reglas asociadas al tema y se activa cuando el seguimiento es actualizado. Si la regla no se cumple indica que se debe replanificar, para ello se busca el estado actual que está registrado en el seguimiento (*TrackininXStuden*) y a partir de este estado se planifica nuevamente. Para ello, se actualizan los avances por competencia y se vuelven a calcular los porcentajes de logro de cada competencia, asegurando que las ecuaciones Ec. 1.1, Ec. 1.2, Ec. 1.3, se satisfagan, buscando que en el tiempo restante se logren los porcentajes calculados.

Agente de recomendación

Este agente es responsable de buscar y elegir los OA que mejor se adapten al perfil de cada estudiante, donde un perfil es una combinación de estilos de aprendizajes. El entorno del agente está formado por el conjunto de estudiantes que se encuentran presentes en el aula (estilos de aprendizajes) y la asignatura que se dicta en ese momento. El agente, al percibir el cambio de su entorno, realiza una selección de los OA, de acuerdo a los estilos de aprendizaje de los alumnos y el tema a impartirse. Finalmente, el agente de enseñanza envía una lista con los OA recomendados a cada uno de los estudiantes presentes en el curso.

Para la selección de OA, el agente utiliza un método de recomendación híbrida, el cual mezcla los resultados que genera el método de recomendación basada en contenidos y el método de recomendación colaborativa (Ricci et al., 2015).

El agente requiere los datos de los perfiles de estudiantes (estilos de aprendizaje) y los datos de los OA, éstos contienen los atributos necesarios para realizar los cálculos (*ratings* de cada usuario al OA, *tag*) para los dos métodos de recomendación. Las principales fuentes de información del agente son:

- Información de los estilos de aprendizaje del estudiante. Es decir, el perfil de estudio.
- Listado de OA para un tema en concreto que contiene el nivel de dificultad.

- Listado de *ratings* de OA de un tema específico. Existen dos fuentes de información de *ratings*. La primera, es la comunidad que valora los OA, la segunda, son los valores de utilidad con los que se registraron los OA. Los valores de utilidad son modificados de acuerdo a su valoración posterior.

- El diseño del agente se muestra en la Figura 3. Como se observa, se divide en dos componentes: MatrixGenerator y RecommenderEngine.

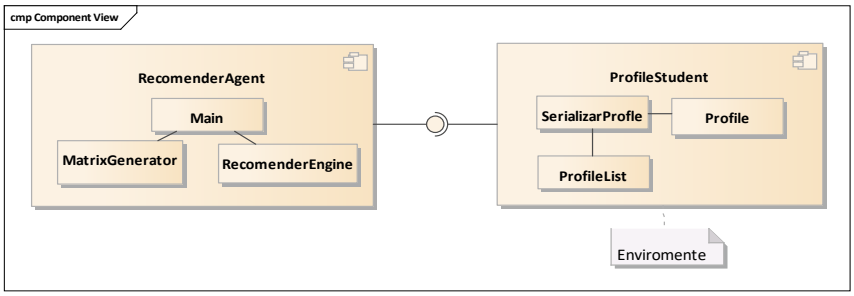


Figura 3 – Diagrama de componente del agente recomendador

MatrixGenerator inicia el proceso de recomendación, tiene la responsabilidad de transformar los datos que ingresan (en formato JSON) en una matriz que contiene los campos requeridos para realizar los cálculos de la recomendación. La Figura 4 presenta la matriz de perfiles de usuario y de OA.

pg_level	lod_type	colg_type	rsi_result
3	1	1	50
3	1	2	30
3	1	3	20

object_learning	id	ranking
312	1	4
312	7	4
312	8	1
⋮		
312	12	3
312	13	2
313	1	5
313	7	5

Figura 4 – Matrices de usuarios y OA generadas por el componente MatrixGenerator

RecommenderEngine es el motor de recomendación y posee tres métodos. Uno por cada tipo de filtrado (colaborativo, basado en contenido e híbrido). Cada método trabaja con las matrices generadas por *MatrixGenerator*, que son representaciones matriciales de la relación entre los usuarios y los OA y de la relación entre los OA y sus propiedades. Cada método genera una matriz con los identificadores de cada OA por cada perfil de usuario. Además, este componente cuenta con una tarea externa (*wrapper*) que actualiza los ratings de los OA.

Para calcular las similitudes entre las valoraciones (*ratings*) de los usuarios, con respecto a cada OA, se utilizó la similitud de coseno (Ec. 2). Donde, P(n,d) es el vector característico de cada documento y se calcula en base a los pesos de sus propiedades. Se

seleccionó este cálculo por arrojar buenos resultados en la clasificación de los elementos. La Figura 5 muestra los resultados obtenidos al utilizar este método en el cálculo de los OA de la matriz de la Figura 4.

$$SimCos(d_q, q) = \frac{\sum_{n=1}(P_{(n,d)} * P_{(n,q)})}{\sqrt{\sum_{n=1}(P_{(n,d)})^2 * \sum_{n=1}(P_{(n,q)})^2}} \quad \text{(Ec. 2)}$$

Componente para la gestión de perfiles de estudio

Este componente es responsable de establecer, a partir de los estilos de aprendizajes, el perfil que tiene cada estudiante. Se diseñó un cuestionario basado en el *test* de índices de estilos de aprendizaje (ILS, de sus siglas en inglés), diseñado por Felder & Silverman (2000), el cual permite descubrir las preferencias de aprendizaje de un estudiante, los resultados muestran el valor correspondiente a cada segmento del estilo.

Para la identificación del perfil de estudio se utilizaron dos estilos de aprendizaje de los propuestos por Felder & Silverman (1988), que son visual-verbal y activo-reflexivo, y se seleccionaron las 22 preguntas del *test* que se refieren a estos estilos. Luego, se requirió emparejar las preguntas que tuvieran cierto grado de similitud, para, finalmente, tener un grupo de siete preguntas. El perfil de estudio no se representa como un valor absoluto, sino como una escala distribuida entre cada estilo, por ejemplo, un individuo puede tener un resultado de 20% visual, 50% verbal y 30% activo, 0% reflexivo en su perfil.

	312	**313**	**314**
312	1	0.75221720334165	0.7095748751869
313	0.75221720334165	1	0.75377836144441
314	0.7095748751869	0.75377836144441	1

Figura 5 – Matriz con los cálculos de la similitud de coseno

Componente para la gestión de OA

Este componente provee los servicios que permiten gestionar los OA, (crear, modificar atributos, buscar), cada OA posee un conjunto de *tags* (etiquetas) que identifican el tipo de OA, tales como dificultad, duración, descriptores del contenido, valoración (*rating*). El modelo de referencia para la representación utilizado fue SCORM. Para asignar el tipo del OA se utilizó la siguiente lista:

- Visuales: imágenes, diagramas, esquemas, etc.
- Verbales: audio, texto y vídeo de cualquier tipo.
- Activos: ejercicios, problemas, etc.

El tipo del OA permite relacionar el OA con los perfiles de usuario y es usado por el agente recomendado basado en contenidos.

5.2. Construcción y resultados

El agente se desarrolló como arquitectura orientada a servicios. El agente de planificación consta de una aplicación para la gestión de los contenidos de cada curso y el registro de los OA y el componente de planificación y seguimiento. La Figura 6 muestra una de las interfaces de este agente. El agente de recomendación contiene una aplicación para identificar el estilo de aprendizaje y, para validar los resultados de la recomendación, se desarrolló una interfaz que presenta las recomendaciones que el agente obtiene. El agente accede a los datos del perfil de cada estudiante y, conocido el tema a impartir, el agente obtiene las matrices necesarias para ejecutar un el método asociado a cada estrategia de recomendación. La Figura 7 muestra el resultado que presenta el agente a una petición de recomendación.



Figura 6 – Carga de contenidos y temas de un curso

6. Conclusiones

El desarrollo de salones inteligentes, como sistemas que gestionan de forma autónoma los procesos de enseñanza, ofrecen ambientes personalizados a los estudiantes que, al tiempo, les permite progresar de acuerdo con sus capacidades. El sistema se adapta al progreso y al estilo de aprendizaje del estudiante, ya que éste selecciona los OA a las características del estudiante.

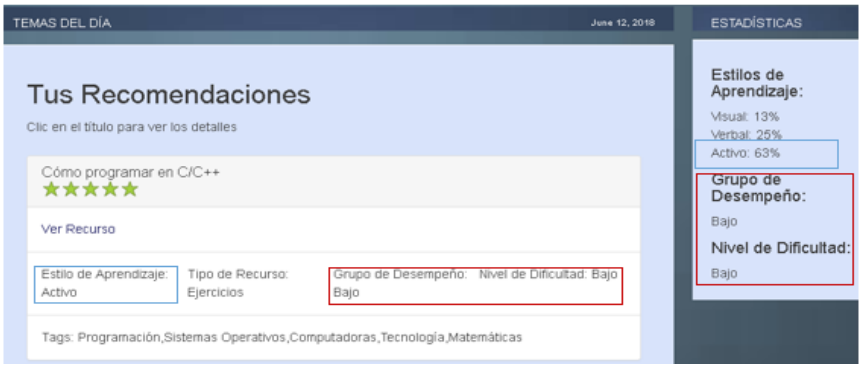


Figura 7 – Resultado de una petición de recomendación

El agente debe garantizar que las competencias sean alcanzadas en el tiempo estimado. El tiempo de reprogramación es limitado. Por ello, el conjunto de objetos recomendados queda en un buzón de OA de cada estudiante, para que cada uno realice actividades o lecturas fuera del salón. Como en todo proceso de enseñanza, si las competencias no son alcanzadas por el estudiante en un porcentaje aceptable, el curso no es aprobado.

Referencias

Aguilar, J., Sánchez, M., Valdiviezo, P., y Cordero, J. (2015). Mecanismos de coordinación en un salón inteligente. *In Proceedings of the 6to Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica (VI CIBELEC 2015)*, 31–40.

Baguley, M., Danaher, P. A., Davies, A., & De George-Walker, L. (2014). *Educational learning and development: building and enhancing capacity*. New York: Palgrave Macmillan.

Brusilovsky, P., Karagiannidis, C., & Sampson, D. (2001). The benefits of layered evaluation of adaptive applications and services. *Proceedings of workshop at the Eighth International Conference on User Modeling, UM 2001*, 1–8.

Brusilovsky, P., & Vassileva, J. (2003). Course sequencing techniques for large-scale web-based education. . *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning, 13*(1-2), 75–94.

Calderero Hernández, J., Aguirre Ocaña, A., Castellanos Sánchez, A., Peris Sirvent, R., y Perochena González, P. (2014). Una nueva aproximación al concepto de educación personalizada y su relación con las tic. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información, 15*(2), 131–151.

Canfield, W. (2001). ALEKS: A Web-based intelligent tutoring system. *Mathematics and Computer Education, 35*(2), 152.

Chen, N. S., Cheng, I. L., & Chew , S. W. (2016). Evolution is not enough: Revolutionizing current learning environments to smart learning environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 26*(2), 56–581.

Conejo, R., Guzmán, E., Millán, E., Trella, M., Pérez-De-La-Cruz, J. L., & Ríos, A. (2004). SIETTE: A web-based tool for adaptive testing. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 14*(1), 29–61.

Desmarais, M. C., & Baker, R. S. (2012). A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning environments. *User Modeling and User-Adapted Interaction, 22*(1-2), 9–38.

Felder, R. M., & Silverman, L. K. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engr. Education*, 674–681.

Filippidis, S. K., & Tsoukalas , I. A. (2009). On the use of adaptive instructional images based on the sequential–global dimension of the Felder–Silverman learning style theory. *Interactive Learning Environments, 17*(2), 135–150.

Freigang, S., Schlenker, L., & Köhler, T. (2018). A conceptual framework for designing smart learning environments. *5*(1), 1.

Frigo, L. B., Cardoso , J., & Bittencourt, G. (2005). Adaptive interaction in intelligent tutoring systems. *In Proceedings of CIAH-2005, International Workshop on Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia Methods/Techniques in Web-based Education Systems*, 33-38.

Gago, I. S., Werneck, V. M., & Costa, R. M. (2009). Modeling an educational multi-agent system in maSE. *In International Conference on Active Media Technology*, 335–346.

Giunchiglia, F., & Spalazzi, L. (1999). Intelligent planning: A decomposition and abstraction based approach to classical planning. *Artificial intelligent*, 329–338.

Hernández Calderón, J. G., Benítez Guerrero , E., y Mezura Godoy, C. (2014). Ambientes inteligentes en contextos educativos: modelo y arquitectura. *Research in Computing Science, 77*, 55–65.

Hockemeyer, C., Held, T., & Albert, D. (1997). *RATH-A relational adaptive tutoring hypertext WWW-environment based on knowledge space theory*. Proceedings of the Fourth International Conferencia CALISCE'98. Göteborg, Sweden. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/2257144_RATH_-A_Relational_Adaptive_Tutoring_Hypertext_WWW-Environment_Based_on_Knowledge_Space_Theory

Hwang, G. J. (2014). Definition, framework and research issues of smart learning environments-a context-aware ubiquitous learning perspective. *Smart Learning Environments, 1*(1), 4.

IEEE. (2002). LOM Standard for Learning Object MetadataANSI/IEEE. *IEEE*. Recuperado de http://ltsc.ieee.org/wg12/

Klašnja-Milićević, A., Vesin, B., Ivanović, M., Budimac, Z., & Jain, L. (2016). Recommendation Techniques for RS in E-Learning Environments: A Survey of the State-of-the-Art. En *E-Learning Systems: Intelligent Techniques for Personalization* (pág. 60). Springer.

Klašnja-Milićević, A., Vesin, B., & Ivanović, M. B. (2016). *E-Learning Systems: Intelligent Techniques for Personalization* (Vol. 112). Springer.

Obando, E. S. (2018). Aprendizaje e inteligencia artificial en la era digital: implicancias socio-pedagógicas ¿reales o futuras? *Revista Boletín Redipev*, 155–171.

Park, O. C., & Lee, J. (2003). Adaptive instructional systems. *Educational Technology Research and Development, 25*, 651–683.

Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., & Kantor, P. B. (2015). Recommender systems: introduction and challenges. In Recommender systems handbook. En *Recommender Systems Handbook,* (pp. 1-34). Boston: Springer.

Rivero, D., Arciniegas, S., Narváez,, L., y Puetate, G. (2016). Ambientes Inteligente para la Educación: Un modelo conceptual. En F. R. Arciniega, *Avances y aplicaciones de sistemas inteligentes y nuevas tecnologias* (págs. 117-130). Mérida: Universidad de los Andes.

Rivero-Albarrán,, D., Rivas-Echeverria, F., Guerra Torrealba, L., & Arciniegas Aguirre, S. (2018). Design of a Recommender System for Intelligent Classrooms Based on Multiagent Systems. (Springer, Ed.) International Conference on Information Theoretic Security, 973–982.

Spalzzi, L. (2001). A survey on case-based planning. *Artificial Intelligence Review, 16*(1), 3–36.

Sykes, D., Corapi, D., Magee, J., Kramer, J., Russo, A., & Inoue, K. (2013). Learning revised models for planning in adaptive systems. *In Software Engineering (ICSE), 2013 35th International Conference*, 63–71.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/12/2018
Aceitação/Acceptance: 23/02/2019

Diseño de una red con Tecnología *Sensor Cloud* aplicada en prevención de accidentes de tránsito

Santiago Quishpe-Morales[1], Darwin Pillo-Guanoluisa[2], Nelson Salazar-Chávez[3], Santiago Meneses-Narváez[4], Paola Tirira-Caluquí[5]

squishpe@pucesi.edu.ec, dmpillo@pucesi.edu.ec, nelson.salazar.chavez@udla.edu.ec, sjmenesesn@utn.edu.ec, peltirira@utn.edu.ec.

[1,2] Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100111, Ibarra, Ecuador.

[3] Universidad de las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

[4,5] Universidad Técnica del Norte, 100105, Ibarra, Ecuador.

Pages:708–720

Resumen: La red con Tecnología *Sensor Cloud* para prevención de accidentes de tránsito diseñada puede ser aplicada en el entorno de monitoreo vial, cuyo objetivo es minimizar la ocurrencia de accidentes de tránsito que sean ocasionadas por factores emocionales del conductor, como son el estrés y el cansancio; tales variables emocionales pueden ser determinadas mediante aplicación de sensores virtuales y algoritmos que evalúen variables como temperatura o equilibrio, y los datos de una cámara de video (expresiones faciales). El procesamiento de la información se realizará mediante algoritmos en una plataforma *Cloud Computing* que permiten la determinación de emociones del conductor y, seguidamente, la toma de decisiones para activar una alarma o visualizar un mensaje en una pantalla instalada en el vehículo, para que el conductor tome las acciones necesarias que permitan precautelar su vida y la de sus pasajeros, mejorando y optimizando de esta manera, los sistemas de monitoreo vial.

Palabras-clave: WSN; Cloud Computing; 6LowPAN; Sensor Cloud.

Design of a network with Sensor Cloud Technology applied in the prevention of traffic accidents

Abstract: The network with Sensor Cloud Technology for the prevention of traffic accidents designed can be applied in the road monitoring environment by the responsible entities, whose objective is to minimize the occurrence of traffic accidents that are caused by emotional factors of the driver, such as the stress and fatigue; Such emotional variables can be determined by an algorithm that evaluates variables such as temperatura or equilibrium, and the data from a video camera (facial expressions), which by means of processing algorithms implemented in a Cloud Computing platform allow the determination of emotions of the driver and then making decisions to activate an alarm or the display of a message on a screen installed in the vehicle so that the driver takes the necessary actions to protect his

life and that of his passengers; improving and optimizing road monitoring systems in this way.

***Keywords**:* WSN; Cloud Computing; 6LowPAN; Sensor Cloud.

1. Introducción

En los últimos años, las redes de sensores inalámbricos (WSN) se han posicionado como una tecnología que permite adaptar el ambiente físico al mundo digital. Los nodos de sensores de manera cooperada monitorean condiciones en diferentes ubicaciones, tales como temperatura, humedad, movimiento vehicular, condiciones de luz, presión, niveles de ruido, presencia o ausencia de ciertos tipos de objetos, además de características como: velocidad, dirección, tamaño de objetos. Los nodos de sensores son pequeños, de bajo consumo, bajo costo y proveen múltiples funcionalidades como capacidad de detección, procesamiento de energía, memoria, ancho de banda para comunicaciones y consumo de batería, que se utilizan en varias aplicaciones tales como: medición de parámetros del medio ambiente, cuidado de la salud, educación, defensa, manufactura, casas inteligentes o domótica.

La meta principal del presente proyecto de investigación se resume en facilitar la conexión de sensores, personas y objetos para construir una comunidad centralizada con aplicaciones de medición de parámetros, donde las personas puedan compartir y analizar datos de sensores en tiempo real. Por ejemplo, las instituciones públicas que planifican, regulan y controlan el transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, y que tienen como objetivo incrementar el nivel de seguridad vial, lograrían prevenir accidentes de tránsito mediante el monitoreo en tiempo real de los vehículos de transporte público. Para obtener datos en tiempo real, se instalaría en las unidades de transporte, biosensores y una cámara de video, los cuales enviarían una serie de datos de forma automática, para su respectivo almacenamiento y procesamiento en la nube de sensores. Los datos permitirán realizar el reconocimiento de las expresiones faciales y análisis de las variables fisiológicas para determinar el estado de ánimo del conductor, según el cual se tomarán acciones inmediatas para controlar esta variable; y mediante una alarma sonora o una pantalla *led* se explicarían las acciones a tomarse por parte del conductor o del pasajero, e inclusive se puede llevar a cabo una ambientación automática del interior del vehículo e informar a las unidades de emergencia según sea el caso.

La integración de *Cloud Computing* a la infraestructura de red de sensores inalámbricos, proporciona recursos confiables, *software* y datos bajo demanda, permitiendo la observación y el intercambio de datos a largo plazo, además de innovar en servicios de aplicación. La infraestructura de la nube de sensores, *Sensor Cloud*, es la forma extendida de computación en la nube, con funcionalidades para gestionar sensores que se encuentran dispersos a lo largo de las redes de sensores inalámbricos WSN. En general el modelo *Sensor Cloud* permite el intercambio de datos de sensores en tiempo real a través de *Cloud Computing*.

Según datos de la Sociedad Española del Sueño, "1 de cada 5 accidentes de tráfico se produce por culpa del sueño y la fatiga, y éste se encuentra entre las cinco primeras causas de los accidentes con víctimas" (Fundación Comisariado Europeo del Automóvil [CEA], 2015, p. 30). Por lo cual, la implementación de una red con Tecnología *Sensor*

Cloud en los vehículos podría ser una opción para la prevención de accidentes de tránsito aplicada en el entorno de monitoreo vial.

2. Fundamento teórico

2.1. Red de Sensores Inalámbricos (WSN)

Una red de sensores (en inglés, *sensor network*) es una red de diminutos dispositivos, equipados con sensores, que colaboran en una tarea común. Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica que permiten formar redes *ad-hoc* sin infraestructura física preestablecida ni administración central (Zaman, Khan & Salih, 2009).

Las redes inalámbricas de sensores (WSNWireless Sensor Network) se basan en dispositivos de bajo coste y consumo (nodos), que son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación. Los nodos actúan como elementos de la infraestructura de comunicaciones al reenviar los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia al centro de coordinación (ESEC, 2014). La arquitectura de una red de sensores inalámbricos está compuesta por nodos inalámbricos, *gateway* y estación base.

- **Nodo inalámbrico:** Son dispositivos electrónicos capaces de captar información proveniente del entorno en el que se encuentran, procesarla y transmitirla inalámbricamente hacia otro destinatario. El *hardware* de estos dispositivos está formado por: procesador, alimentación, comunicación inalámbrica (radio-transceptor RF), sensor y memoria (Roberto Fernández, 2009; Surya Bharat, 2014).
- **Gateway:** Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). Es un nodo especial sin elemento sensor, cuyo objetivo es actuar como puente entre dos redes de diferente tipo. A los dispositivos que realizan la función de interconectar dos redes de diferente naturaleza se les llama dispositivo puerta de enlace; pero el término más conocido en el ambiente de las redes es *Gateway* (Scanaill, 2013).
- **Estación Base:** Se encarga de recolectar los datos basados en un ordenador común o sistema embebido. En una estructura normal, todos los datos van a parar a un equipo servidor dentro de una base de datos, desde donde los usuarios pueden acceder remotamente, observar y estudiar los datos.

2.2. Tipos de sensores aplicados en transporte y movilidad

Conforme a investigaciones realizadas por Tuñón (2014), Hernández (2014), Kelion (2014), Agencia Nacional de Regulación y Control del Transporte Terrestre (2015) e Ibáñez (2011), se resumen los tipos de sensores aplicados en transporte y movilidad en la Tabla 1.

Tipos de Sensores Aplicados en transporte y movilidad	
GPS	Sensor facial de emociones
Botones de auxilio	*Autoemotive*
Módulo de conexión satelital	Q Sensor
Sensor en el volante (Detecta la intensidad de la presión y la posición de las manos)	Sensor de luz (Ubicado en el reposacabezas que alerta de posibles cabezadas al conducir)
Detector de somnolencia	*Eye Tracking*
Cámara de video	Respuesta galvánica de la piel (GSR)
Sensor de temperatura del conductor	Electroencefalografía (EEG)
Sensor de frecuencia cardíaca	Sensor Cutáneo
Sensor de presión sanguínea/presión arterial	Pantalla *led* informativa y parlante de exceso de velocidad
Sensores biomédicos	Cámaras de video infrarrojas

Tabla 1 – Tipos de sensores aplicados en transporte y movilidad

2.3. Cloud Computing

El National Institute of Standars and Technology (NIST) define la computación en la nube como:

> *un modelo que permite el acceso bajo demanda a través de la red a un conjunto compartido de recursos de computación configurables (p. ej. redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar rápidamente con el mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios (Mell & Grance, 2011, p. 2).*

En la Figura 2, se muestra el modelo de trabajo completo de la definición NIST con la indicación de las diferentes categorías de modelos (servicio y despliegue), sus características fundamentales (autoservicio bajo demanda, acceso universal de banda ancha, compartición de recursos-pooling, elasticidad inmediata, servicio medido) y comunes (escala masiva, homogeneidad, virtualización, *software* de bajo coste, computación flexible, distribución geográfica, orientación a servicios, seguridad avanzada) (Joyanes, 2012).

2.4. *Sensor Cloud*

De acuerdo con MicroStrain, citado por Alamri et al. (2013), la infraestructura de *Sensor Cloud* se define como:

> *un único almacenamiento de datos de los sensores, la visualización y la plataforma de gestión remota que aprovecha las potentes tecnologías de computación en la nube para proporcionar una excelente escalabilidad de datos, visualización rápida, y el análisis programable por el usuario (p. 3).*

En la investigación de Beng (2009) se describen las características de *Sensor Cloud*:

- Se integra a las redes de sensores a gran escala, con aplicaciones de detección e infraestructuras de computación en la nube.
- Recoge y procesa datos de varias redes de sensores.
- Permite el intercambio de datos a gran escala y la colaboración entre los usuarios y las aplicaciones en la nube.
- Permite aplicaciones interdisciplinares que abarcan los límites de la organización.
- Permite a los usuarios recoger fácilmente, acceder, procesar, visualizar, archivar, compartir y buscar grandes cantidades de datos de los sensores de diferentes aplicaciones.
- Gran cantidad de datos de los sensores puede ser procesada, analizada y almacenada utilizando recursos computacionales y de almacenamiento de la nube.
- Permite el uso compartido de los recursos del sensor por diferentes usuarios y aplicaciones en escenarios flexibles de uso.
- Habilita a los dispositivos sensores en tareas de procesamiento especializados.

Mohapatra (2014) explica que una red *Sensor Cloud* consiste en redes de sensores inalámbricos (WSN) y recursos de la nube como computadoras, servidores, *arrays* de discos para procesamiento y almacenamiento de datos de sensores.

A continuación, en la Figura 1 se muestran las relaciones entre los actores y la infraestructura según del *Sensor Cloud*, de acuerdo con Yuriyama & Kushida (2010):

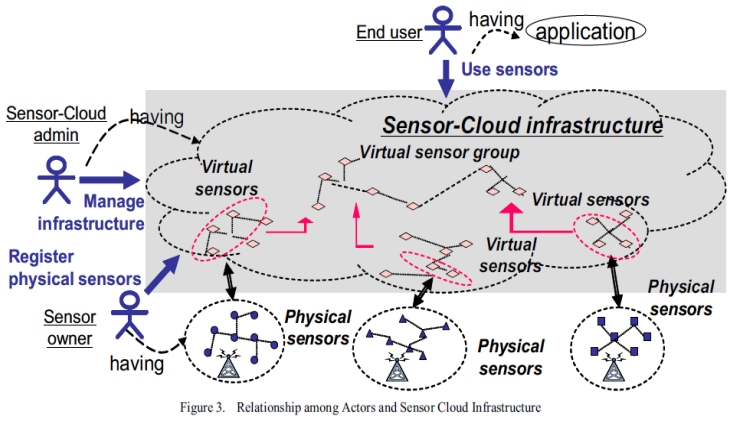


Figure 3. Relationship among Actors and Sensor Cloud Infrastructure

Figura 1 – Relación entre los actores y la infraestructura Sensor Cloud

3. Análisis comparativo de tecnología utilizada en aplicaciones vehiculares

A continuación, en la Tabla 2, se realiza una comparación de los estándares GPRS y VANET con la tecnología *Sensor Cloud*, se explican sus características técnicas y el tipo

de aplicaciones a las que están orientadas. Esto permitirá establecer si, en el mercado, estas tecnologías serán competidoras ante una misma aplicación o, si de lo contrario, serán estándares complementarios que podrán convivir en un ambiente de trabajo común, conforme a investigaciones realizadas por Tamayo (2013), Peñaherrera (2009), Consuegra (2014) y Giraldo (2013).

SENSOR CLOUD (Plataforma formada por WSN y Cloud Computing)	**GPRS (Servicio de paquetes via radio)**	**VANET (Redes enfocadas a entornos vehiculares)**
Tecnología o estándar		
Estándares de WSN y Cloud computing: Aplicaciones y Servicios basados en servicios web	Estándar GPRS. Utiliza TDM	Estándar IEEE 802.11p
Protocolos		
Protocolos de enrutamiento WSN y TCP/IP	TCP/IP, X.25	Protocolos IEEE 1609- Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)
IEEE 802.15.4-ZIGBEE	Capa de Aplicación.	Protocolo de GeoNetworking
IEEE 802.11- WIFI	Protocolo túnel GPRS (GTP)	
IEEE 802.15.3 - WPAN	Protocolo GPRS	
Protocolos de Cloud Computing: TCP, IP, SMTP, HTTP		
Velocidad durante una sesión de transmisión de datos		
Depende de la tecnología inalámbrica y estándar. Si utiliza ZigBee la velocidad de transferencia es hasta 250Kbps	52kbits/s o 171.2kbits/s	6 y 27 Mbps
Frecuencias de operación		
Depende de la tecnología inalámbrica y estándar, en el caso de ZigBee: 2,4 y 5GHz	GPRS-2G-banda 2 (1900 MHz)	Bandas no licienciadas 2.4 GHz, 5 GHz y 914 MHz
Administración de energía		
Los nodos tienen energía de forma continua a través de la bateria del vehiculo. La red WSN tiene mecanismos de optimizacion de energía	Los nodos tienen energía de forma continua a través de la bateria del vehiculo.	Los nodos tienen energía de forma continua a través de la bateria del vehiculo.
Almacenamiento		
Nube- Ilimitado	Base de datos local	Local
Procesamiento		
Procesamiento en tiempo real en la nube	Local. Se procesa en el sistema.	Grandes capacidades de memoria y procesamiento local
Enrutamiento		

SENSOR CLOUD (Plataforma formada por WSN y Cloud Computing)	**GPRS (Servicio de paquetes via radio)**	**VANET (Redes enfocadas a entornos vehiculares)**
Se usan protocolos de enrutamiento de las redes de sensores inalámbricos según la estructura de la red o según la operación del protocolo	El protocolo de túnel GPRS (GTP) garantiza la seguridad en la red troncal y simplifica el mecanismo de enrutamiento y la entrega de datos por la red GPRS.	Requiere mecanismos dinámicos de enrutamiento.
Accesibilidad		
Accesibilidad común debido a protocolos estandarizados (TCP/IP) e interfaces	Diferentes interfaces de hardware (e.g. RS232, USB, protocols propietarios) en diferentes máquinas.	Diferentes interfaces de hardware (e.g. RS232, USB, protocols propietarios) en diferentes máquinas.
Utilización de tiempo real		
Tiempo y acceso en tiempo real de espacio libre a una gran cantidad de datos	Acceso limitado de acuerdo a propiedades de hardware (e.g., puertos)	Acceso limitado de acuerdo a propiedades de hardware (e.g., puertos)
Seguridad		
Transmisión de datos inalámbricos por medio de un canal seguro SSL y envío de datos encriptados a la nube	Con el fin de proteger contra errores los paquetes transmitidos tiene lugar la codificación del canal radio, mediante el método GEA (GPRS Encryption Algorithm, algoritmo de cifrado GPRS) con algoritmos secretos.	Mecanismos de seguridad a través del protocolo WAVE: IEEE 1609.2. Encriptar datos con una clave simétrica one-time.
Poder de cómputo		
Recursos computacionales mejorados en la nube permiten la ejecución de métodos complejos	Recursos limitados según la máquina local	Recursos limitados según la máquina local
Aplicaciones		
Salud Ubicua *Monitoreo ambiental para la detecciòn de emergencias, desastres.* *Telemática* *Google Health* *Microsoft Health Vault* *Agricultura y control de riego* *Observación de la tierra* *Transporte y tráfico de vehículos*	RTI (Road Traffic Informatics) Acceso a internet usando la www (World Wide Web) Sistema de Georeferenciación Vehicular Control del tráfico ferroviario Telealarma Telemetría Aplicaciones basadas en localización - Navegación, las condiciones del tráfico, horarios de avión / tren y buscador de ubicaciones	Acceso a internet y descargas multimedia en el vehículo Seguridad vial y control de tráfico Eficiencia del tráfico Entretenimiento y servicios de información Servicio e-call para aviso de concurrencia de accidentes en la vía. Acceso a servicios de VoIP y vídeo bajo demanda desde el vehículo

Tabla 2 – Comparación de tecnologías para aplicaciones en entornos vehiculares

En referencia a la tecnología *Sensor Cloud*, al estar formada por una red WSN y *Cloud Computing*, los estándares y protocolos que aplican son los correspondientes a ambas

tecnologías, por lo cual su implementación tendría ventajas de ambas aplicaciones; asimismo, en los temas de velocidad y transferencia de datos.

4. Propuesta: Diseño de la red *Sensor Cloud* aplicada en prevención accidentes de tránsito

En este ítem se presenta el diseño de una red con tecnología *Sensor Cloud* aplicada a la prevención de accidentes de tránsito. En la Figura 2 se describen sus componentes y se plantea el diseño de la infraestructura de red, conexiones y explicación de sus protocolos y funcionamiento y los mecanismos de seguridad respectivos.

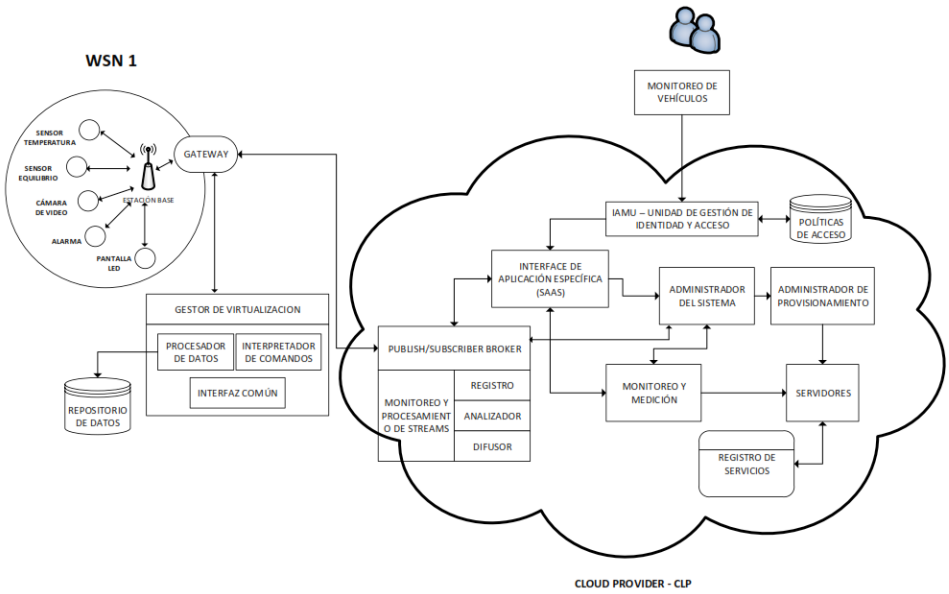


Figura 2 – Arquitectura *Sensor Cloud* aplicada en prevención de accidentes de tránsito

4.1. Componentes principales de la arquitectura de la red Sensor Cloud aplicada en prevención accidentes de tránsito

La arquitectura propuesta comprende los siguientes componentes:

Plataforma de sensores WSN (infraestructura de sensores inalámbricos)

La red de sensores inalámbricos WSN puede ser una arquitectura de sensores con radios de baja potencia, para lo cual se requiere un *gateway* que permita conectarse a una red IP, o la arquitectura de sensores puede incorporar una tecnología con conectividad IP directamente, estilo WiFi o red celular 2G, 3G, 4G, LTE. Dependiendo de la arquitectura de la red WSN, se emplea las siguientes tecnologías o protocolos de comunicación para el envío de datos desde la estación base o coordinador de la WSN al *gateway*: ZIGBEE,

6LOWPAN, dichas tecnologías están basadas en el protocolo IEEE 802.15.4 para la comunicación.

En el diseño propuesto, la plataforma WSN se compone de los siguientes sensores: sensor de temperatura, sensor de equilibrio y cámara de video, los cuales se encuentran instalados en el vehículo; además se instalan algunos actuadores que servirán como mecanismos de alarma para el conductor y los pasajeros del vehículo, entre ellos una alarma sonora y una pantalla *led* para exhibir mensajes. La alimentación de energía de los sensores se realiza a través de la batería del vehículo.

Publish/subscriber broker- agente de publicación/suscripción

Este módulo se encarga de la supervisión, el procesamiento y la entrega de los eventos a los usuarios registrados a través de aplicaciones de servicio (SaaS).

Interfaz de aplicación específica

En este proyecto se propone SaaS como la interfaz de aplicación específica. SaaS es la plataforma de *Cloud Computing Software as a Service* que combina datos y aplicaciones en conjunto y se ejecuta en el servidor *Cloud*. Esta interfaz brinda flexibilidad a la entidad de control y monitoreo vial para acceder a los servicios de *Sensor Cloud* alojados remotamente a través de Internet.

Administrador del sistema (SM)

Este componente, en el modelo propuesto, es responsable de procesar, archivar los datos del sensor y gestionar los recursos del sistema, así como el almacenamiento de los datos del sensor; por medio de los ciclos computacionales, se procesan los datos que emiten los sensores. Gestiona los recursos (*hardware* y *software*) de la computadora o los servidores.

Monitoreo y Medición MaM

Este módulo rastrea el uso de los recursos de la nube primaria, así como los recursos de los CLP (*Cloud Providers*) colaboradores para que los recursos utilizados puedan atribuirse a un usuario determinado. Cuando los datos de los sensores llegan al agente de publicación/subscripción, el administrador del sistema (*System Manager*) toma decisiones para los procesos de almacenamiento.

Registro de servicios

En el modelo propuesto, el registro de servicios se encarga de descubrir y almacenar información de recursos de *hardware* y *software*, además de las políticas que se manejen en el dominio local.

Unidad de gestión de identidad y acceso IAMU

Cuando el usuario o entidad de seguridad vial requiere información de la plataforma *Sensor Cloud*, se conecta a la aplicación específica SaaS a través de la IAMU, la cual se encarga de proporcionar autenticación entre el cliente (entidad de monitoreo y seguridad vial) y el proveedor (aplicación SaaS), además de proporcionar a los recursos de la nube, un control de acceso basado en políticas, como mecanismos de seguridad.

Servidores web de la arquitectura

Los servidores web son responsables de almacenar el contenido y entregarlos de forma fiable. La estructura de un servidor se divide en dos capas: superposición y núcleo. En la capa de superposición, un servidor comprende un *host* de servicio web (por ejemplo, Apache o Tomcat), un agente de política y un asignador de SLA (Acuerdo de Nivel de Servicio). El *host* de servicios web garantiza la entrega de contenido a los usuarios finales sobre la base de las políticas negociadas.

Funcionamiento del modelo de la arquitectura propuesta sensor cloud

1. La red inalámbrica de sensores se conecta a través de la estación base o coordinador al *gateway* a través de una interfaz común y un protocolo de comunicaciones, basado en IEEE 802.15.4, de diferentes maneras.
2. El *gateway* recibe los datos sin procesar de los puertos de comunicación y los convierte en un paquete. El paquete se mantiene en un *buffer* para procesamiento posterior.
3. En el módulo *Virtualization Manager*, el procesador de datos (*Data Processor*) recupera los paquetes del *buffer* y los procesa según su tipo. El tipo de paquete depende de la aplicación que se ejecute en la plataforma. En este caso, la aplicación propuesta de control y monitoreo vial es SaaS. Los datos se procesan en un formato de almacenamiento y luego se envían al Repositorio de Datos (*Data Repository*-DR).
4. El intérprete de comandos proporciona el canal de comunicación inverso, desde el *gateway* a la red de sensores inalámbricos (WSN), el cual se encarga de procesar e interpretar varios comandos emitidos por diferentes aplicaciones y genera el código, que es comprendido por los nodos del sensor para las acciones a realizarse por los nodos actuadores de la WSN.
5. Enseguida, los datos de los sensores del vehículo llegan al agente de publicación/subscripción, que se encarga de brindar las capacidades necesarias para que varias aplicaciones puedan acceder a los mismos datos de sensor (ejecución paralela).
6. Al componente *Stream Monitoring and Processing* llega el flujo de sensores de muchas maneras diferentes. En algunos casos se trata de datos en bruto que deben ser capturados, filtrados y analizados en tiempo real, y en otros casos se almacena en caché. El estilo de cálculo depende de la naturaleza de los *streams*. Por lo tanto, el SMPC que se ejecuta en la nube, supervisa los flujos de eventos e invoca el método correcto de análisis, dependiendo de las velocidades de datos y la cantidad de procesamiento que se requiere; además, SMP gestiona el modelo de ejecución paralelo en *Cloud*.
7. Las diversas aplicaciones SaaS se registran en el agente de publicación/subscripción para diversos datos requeridos por el usuario de la comunidad. Para cada aplicación, el Componente de Registro almacena las suscripciones de usuario de esa aplicación y los tipos de datos del sensor (temperatura, luz, presión, etc.), en los que está interesada la aplicación. También envía todas las suscripciones de usuario junto con el identificador de aplicación (*application ID*) al componente de difusión (*Disseminator Component*) para la entrega de eventos.

8. Cuando los datos o eventos del sensor llegan al agente de publicación/ subscripción, el componente analizador (*Analyzer Component*) determina a qué aplicaciones pertenecen y si necesitan una entrega periódica o de emergencia. Luego, los eventos se pasan al componente de difusión (*Disseminator Component*) para entregar a los usuarios apropiados a través de aplicaciones SaaS.
9. El componente de difusión (*Disseminator Component*) mediante el algoritmo de coincidencia de eventos, encuentra los abonados (suscriptores) apropiados para cada aplicación SaaS y entrega los eventos. Se puede usar el modelo de ejecución paralelo de *Cloud* para la entrega rápida de eventos.
10. Los ciclos computacionales son proporcionados internamente por el SM (*System Manager*) según sea necesario para procesar los datos emanados de los sensores. El SR (*Service Registry*) administra las suscripciones y credenciales de usuario.
11. MaM (*Monitoring and Metering*) calcula el precio de los servicios ofrecidos.

4.2. Seguridad en el modelo sensor cloud propuesto

La seguridad y la privacidad son factores significativos relacionados con el entorno de nube. El entorno de *Cloud Computing* ofrece numerosos recursos de computación que se comparten. Por lo tanto, comparten recursos de *hardware* y áreas de almacenamiento de datos en la nube, por lo que están expuestos a información privilegiada y/o ataques de afuera.

- Para lograr seguridad y privacidad en el diseño propuesto se aplica la técnica *Secure Socket Layer* (SSL), que es una técnica popular para el establecimiento de un canal cifrado entre un servidor web y el *gateway* para transmitir los datos de los conductores y la aplicación en la nube, a través de canales seguros.
- El sistema se encarga de encriptar los datos antes de almacenarlos en la nube. Diferentes tipos de algoritmos de cifrado se han desarrollado para proporcionar a los usuarios de la nube, la seguridad de los datos. El objetivo de estos algoritmos es proteger el sistema contra usuarios maliciosos y proteger la información contra las amenazas avanzadas.
- En este diseño se propone el algoritmo simétrico *Advanced Encryption Standard* (AES). Los datos serán almacenados en la nube utilizando este formato.

4.3. Ventajas del diseño propuesto

- Proporcionar la recolección de datos en tiempo real.
- La eliminación manual del proceso de recolección de datos, que incluye, en algún momento, los errores de entrada de datos.
- Hacer posible el seguimiento de un gran número de conductores que dependen de un número limitado de personal de monitoreo y que trabajan todo el día sin periodos de descanso, lo cual puede afectar su desempeño y provocar accidentes. El monitoreo constante permite disminuir los riesgos de accidentes por medio del envío de alarmas.
- Asegurarse de que no existan accidentes que sean causados por problemas de estrés del conductor.

- En una infraestructura *Sensor Cloud* -a diferencia de las redes de sensores, que normalmente son utilizadas para aplicaciones con objetivos específicos-, la información obtenida de diferentes sensores puede ser compartida y utilizada por múltiples aplicaciones, lo cual se logra al virtualizar los diversos nodos de una red en una plataforma en la nube.

5. Conclusiones

El diseño de la infraestructura *Sensor Cloud* aplicada en prevención de accidentes de tránsito propuesta, permite el intercambio de datos de sensores de los vehículos en tiempo real a través de *Cloud Computing*. Para resolver los problemas de seguridad en la nube se propone IAMU (*Identity and Access Management Unit*), un módulo de identidad y control de acceso que permitirá brindar seguridad al sistema mediante la gestión por medio de un repositorio de políticas definidas por el usuario de la infraestructura. El esquema que se propone es de publicación/ suscripción, y la interfaz de aplicación específica es de tipo SaaS, lo que deja abierta la posibilidad de plantearse la plataforma web, bajo el estilo SOAP o REST.

En la presente investigación se analizó las tecnologías GPRS y VANET como potenciales para el desarrollo de aplicaciones vehiculares. GPRS tiene conexión permanente a las redes de datos, y existen varios dispositivos con esta tecnología adaptados para la conexión a un vehículo y monitoreo de variables. Las redes VANET, en cambio, tienen una capacidad amplia de comunicación con diferentes tecnologías como GPRS, lo cual evidencia la amplia cobertura que tendrá en el futuro. Las dos tecnologías analizadas son complementarias en aplicaciones vehiculares, asimismo, la Tecnología *Sensor Cloud* puede implementar GPRS para la comunicación desde los módulos *gateways*.

El diseño de infraestructura *Sensor Cloud* que fue propuesto, puede ser usado como base para otras aplicaciones como en el campo de la salud, la videovigilancia, telemedicina y toda actividad que requiera de monitoreo de variables.

La implementación de la red con Tecnología *Sensor Cloud* aplicada a la prevención de accidentes de tránsito, permitirá obtener grandes cantidades de información que pueden ser aplicadas para la creación de modelos de comportamiento vehicular, así como también, para la estimación del comportamiento del tránsito, entre otras.

Referencias

Agencia Nacional de Regulación y Control del Transporte Terrestre. (2015). *Proyecto Seguridad Integral para el Transporte Público y Comercial*. Ecuador.

Alamri, A., Shadab Ansari, W., Mehedi Hassan, M., Shamim Hossain, M., Alelaiwi, A., & Anwar Hossain, M. (2013). A Survey on Sensor-Cloud: Architecture, Applications, and Approaches. *International Journal of Distributed Sensor Networks, 9*(2). Recuperado de https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2013/917923

Beng, L. H. (2009). *Sensor Cloud: Towards Sensor-Enabled Cloud Services*. Intelligent Systems Center Nanyang Technological University.

Consuegra, M. C. (2014). *Conectando los vehículos a Internet en el sistema de transporte inteligente estandarizado por el ETSI*. Leganés: Departamento de Ingeniería Telemática.

ESEC. (2014). *Introducción a las Redes de Sensores Inalámbricas*. España: Plataforma Tecnológica Española.

Fundación Comisariado Europeo del Automóvil. (2015). Informe sobre la influencia de la fatiga y el sueño en la conducción. *Fundación CEA*. Recuperado de https://www.fundacioncea.es/np/pdf/estudio-somnolencia-al-volante.pdf

Giraldo, M. A. (Mayo de 2013). *Estudio y Simulación de Redes Ad-Hoc Vehiculares VANETS*. Universidad Católica de Pereira Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones.

Hernandez, J. (2014). *AUTOEMOTIVE, Bringing Empathy to the Driving Experience to Manage Stress*. Cambridge: MIT Media Lab.

Hernández, J. V. (2010). *Redes inalámbricas de sensores: una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.

Ibañez, P. (2011). Sistemas de detección en los coches para evitar accidentes. *Xataka*. Recuperado de http://www.xataka.com/automovil/sistemas-de-deteccion-en-los-coches-para-evitar-accidentes

Joyanes, L. (2012). *Computación en la nube. Estrategias de Cloud Computing en las empresas*. Alfaomega.

K. Surya Bharat, A. P. (2014). Sensor Information Management using Cloud Computing. *International Journal of Computer Applications, 14*(103).

Kelion, L. (2014*)*. Crean dispositivo que detecta las emociones humanas a partir de la piel. *BBC News*. Recuperado de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/06/140626_ciencia_monitor_piel_de_gallina_mz.shtml

Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. National Institute of Standards and Technology, 800-145. Recuperado de https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf

Mohapatra, S. (2014). *The Scalable Architecture for Future Generation Computing Department of Computer Science and Engineering*. National Institute of Technology. India: Springer.

Peñaherrera, A. F. (2009). *Pago electrónico a través de teléfonos móviles*. Guayaquil: ESPOL.

Roberto Fernández Martínez, J. O. (2009). *Redes inalámbricas de Sensores: Teoría y Aplicación Práctica*. España: Grupo de Investigación EDMANS-Universidad de la Rioja.

Scanaill., M. J. (2013). *Sensor Technologies, Healthcare, Wellness and Environmental Applications*. Apress open.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 04/11/2018
Aceitação/Acceptance: 08/01/2019

SETMAT (*Software Engineering Teaching Method and Theory*): una teoría para la enseñanza de Ingeniería de *Software*

María Clara Gómez-Álvarez[1], Carlos Mario Zapata Jaramillo[2], Hernán Astudillo[3]

mcgomez@udem.edu.co, cmzapata@unal.edu.co, hernan@inf.utfsm.cl

[1] Universidad de Medellín, 050026, Medellín, Colombia.

[2] Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 050041, Medellín, Colombia.

[3] Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Santiago, Chile.

Pages: 721–734

Resumen: La enseñanza de la ingeniería de *software* (IS) utiliza estrategias de aprendizaje para promover la adquisición por estudiantes de competencias técnicas y sociales; estrategias típicas incluyen aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje colaborativo, y aprendizaje basado en problemas. Los docentes de IS necesitan comparar, evaluar y seleccionar estrategias y prácticas para cursos específicos, pero normalmente son descritas de forma subjetiva e imprecisa. Este artículo describe SETMAT (*Software Engineering Teaching Method and Theory*), una teoría descriptiva de la enseñanza de IS que ofrece un marco conceptual común para representar prácticas de enseñanza, combinando conceptos y relaciones propias de IS. SETMAT se ha utilizado en un estudio piloto en que profesores de Colombia, Chile y México han representado sus prácticas de enseñanza de IS. La adopción de SETMAT permitiría representar, comparar, componer y transferir estrategias y prácticas de enseñanza de IS.

Palabras-clave: estrategias de enseñanza; prácticas de enseñanza; educación en ingeniería de *software*; SETMAT.

SETMAT (Software Engineering Teaching Method and Theory): a theory of Software Engineering teaching

Abstract: *Software* engineering (SE) teaching uses learning strategies to promote the acquisition of technical and social capabilities; typical strategies are project-based learning, collaborative learning, and problem-based learning. SE teachers need to compare, evaluate, and select strategies and practices for specific courses, but they are usually described in imprecise and subjective manners. This paper describes SETMAT (*Software* Engineering Teaching Method and Theory), a descriptive theory of SE teaching with a common conceptual framework for describing teaching strategies and practices, combining concepts and relationships of SE. SETMAT has been used in a pilot study by teachers of Colombia, Chile, and

Mexico to represent their SE teaching practices. SETMAT adoption would allow to represent, compare, compose and transfer SE teaching practices and strategies.

***Keywords**:* teaching strategies; teaching practices; *software* engineering education; SETMAT.

1. Introducción

Los ingenieros de *software* requieren contar con competencias técnicas y sociales como la comunicación, la orientación al logro y el trabajo colaborativo (Prikladnicki et al., 2013). Entre las estrategias usadas en la enseñanza de ingeniería de *software* están el aprendizaje basado en proyectos (Lu Sun & Wang, 2012), el aprendizaje basado en problemas (Pirker, Riffnaller-Schiefer & Gütl, 2014; Chaves y Sosa, 2014), el aprendizaje colaborativo (Chen & Damevski, 2014; Tao & Shanhong, 2014), el método de casos (Huan, 2012) y otros.

Los profesores de ingeniería de *software* necesitan comparar, evaluar y seleccionar estrategias de enseñanza para sus cursos. Sin embargo, una búsqueda de experiencias que incorporan estas estrategias (Qureshi *&* Wundinger, 2015; Chaves y Sosa, 2014; Tan & Chen, 2010; Jiugen, Ruonan, & Wenting, 2014) arroja solo descripciones subjetivas, que hacen difícil seleccionar la estrategia más adecuada para apoyar la enseñanza de ingeniería de *software*. Por otro lado, las propuestas de representación de prácticas de enseñanza solo incluyen las actividades de aprendizaje (Marcelo, Yot y Mayor, 2011) y recursos de apoyo (Monteith & McGregor, 2011), pero no otros elementos de las estrategias de enseñanza como los objetivos de aprendizaje y los métodos de evaluación.

En este artículo se propone SETMAT (*Software Engineering Teaching Methods and Theory*), una teoría descriptiva del dominio de la enseñanza de ingeniería de *software*. SETMAT incluye un marco conceptual común para describir prácticas y estrategias de enseñanza de ingeniería de *software*, identificando los elementos mínimos de una estrategia de enseñanza y ofreciendo a los docentes, un mecanismo para representar prácticas de enseñanza de ingeniería de *software*. La teoría se valida con un estudio piloto con docentes de ingeniería de *software* de varias universidades de Colombia, Chile y México, resultando un conjunto de catorce prácticas de enseñanza de ingeniería de *software*. Así la difusión y uso amplio de SETMAT permitirá transferir estas prácticas entre los miembros de la comunidad de enseñanza de ingeniería de *software*.

La estructura del artículo es la siguiente: en la Sección 2, se presentan los antecedentes revisados para formular SETMAT; en la Sección 3, se describe la metodología utilizada para formular y representar SETMAT; en la Sección 4, se presentan los elementos que componen SETMAT; en la Sección 5, se describen los resultados obtenidos en el estudio piloto; y finalmente, en la Sección 6, se discuten las conclusiones y se propone trabajo futuro.

2. Trabajo previo sobre representaciones de enseñanza

Existen propuestas previas de técnicas y notaciones para representar prácticas de enseñanza de ingeniería de *software*.

Marcelo *et al.* (2011) realizaron entrevistas a docentes experimentados para identificar y representar diseños de aprendizaje. Conole (2010) planteó una metodología denominada *learning design* que incluye un conjunto de vistas conceptuales, una herramienta de visualización de diseños y un sitio de redes sociales para promover la colaboración.

Conceptos	**Relación Dinámica y/o Estructural**
Docente, ambiente de aprendizaje	Docente crea ambiente de aprendizaje (Li, Li, Guan & Yi, 2009)
Asignatura, teoría	Asignatura tiene teoría (Tijian, 2009)
Asignatura, práctica	Asignatura tiene práctica (Tijian, 2009)
Docente, plataforma de enseñanza	Docente utiliza plataforma de enseñanza (Garcia-Robles & Diaz-del-Rio, 2009) Estudiante utiliza plataforma de enseñanza (Garcia-Robles & Diaz-del-Rio, 2009)
Caso de estudio, contexto	Caso de estudio tiene contexto (Huang, Chen & Chen, 2008)

Tabla 1 – Fragmento de conceptos y relaciones identificadas a partir de los esquemas preconceptuales

Monteith & McGregor (2011) propusieron el uso de SPEM (*Software Process Engineering Meta-model*) (Elvesæter, Benguria & Ilieva, 2013) para que el docente cree y modifique el material de apoyo de sus cursos.

Siqueira, Barbarán & Becerra (2008) aplicaron el concepto de fábrica de *software* a un laboratorio de ingeniería de *software*, definiendo un conjunto de procesos que se llevan a cabo en este espacio, mediante 12 diagramas BPMN (*Business Process Management Notation*).

Arpetti, Baranauskas & Leo (2014) propusieron una herramienta denominada LEDITA, un editor del lenguaje -*learning design* (LD)- para representar y compartir diseños de aprendizaje en una comunidad de profesores que tiene al italiano como segunda lengua, haciendo énfasis en el contenido a impartir.

Carrol, Rosson & Isenhour (2003) propusieron un *framework* para compartir conocimiento entre docentes mediante un repositorio de artefactos como planes de cursos o rúbricas de evaluación.

Estas propuestas definen algunos elementos que acompañan las estrategias de enseñanza, tales como actividades de aprendizaje y recursos de apoyo, pero dejan de lado otros elementos de interés dentro del proceso de enseñanza, como son los objetivos de aprendizaje y los métodos de evaluación. Por otro lado, el docente no se considerado un usuario final de los mecanismos de representación de prácticas de enseñanza, por lo que es difícil transferirlas y compararlas. El análisis de estas experiencias permite identificar conceptos y relaciones propias del dominio de la enseñanza de ingeniería de *software* (ver Tabla 1).

3. Metodología seguida para construir SETMAT

SETMAT ha sido desarrollado utilizando como base el núcleo de SEMAT (*Software* Engineering Method and Theory) (Object Management Group [OMG], 2015), una teoría de la ingeniería de *software*. A este núcleo se adiciona conceptos y relaciones del dominio de enseñanza de ingeniería de *software* (ver Figura 1).

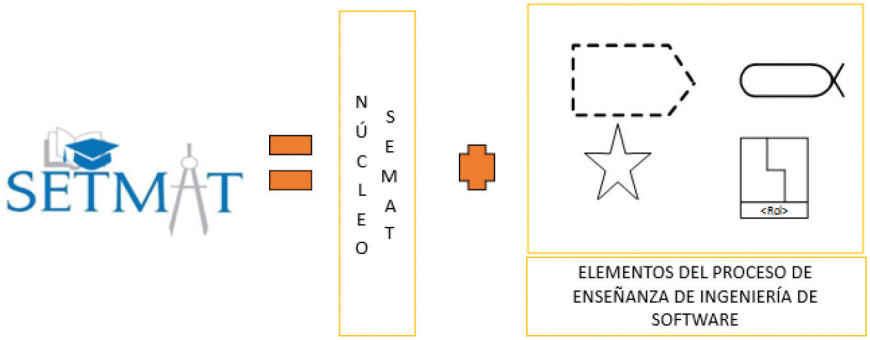


Figura 1 – Componentes de SETMAT

3.1. Núcleo de SEMAT

SEMAT es una comunidad global de personas, empresas y universidades que apoyan una iniciativa para crear un terreno común y los fundamentos de la ingeniería de *software*. Esta comunidad propuso *Essence*, un estándar para la creación, uso y mejoramiento de los métodos de ingeniería de *software* (OMG, 2015), y que incluye un núcleo de conceptos y relaciones presentes en cualquier esfuerzo de desarrollo de *software*.

El núcleo se compone de tres áreas de interés: cliente, solución, y esfuerzo. Las dos primeras se refieren al dominio del problema y de la solución (implementación de un producto de *software*), respectivamente. Esfuerzo se refiere a los recursos necesarios para desarrollar la solución. Los *alfas* son elementos con que siempre se trabaja en un esfuerzo de desarrollo de *software*, y pueden tener conceptos más específicos o *subalfas* (ver Figura 2).

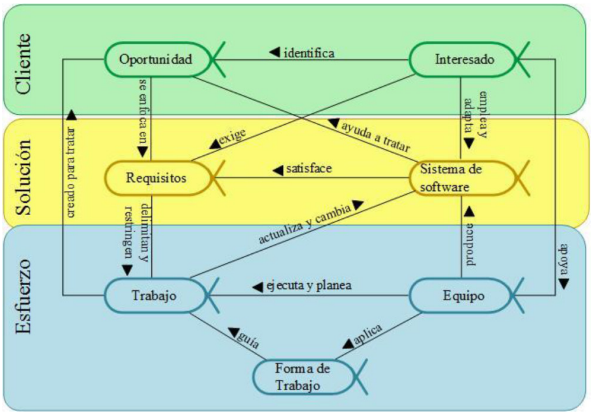


Figura 2 – Alfas y áreas de interés del núcleo de SEMAT (OMG, 2015)

Los espacios de actividad representan las cosas que siempre se hacen en un esfuerzo de desarrollo de *software*. El equipo debe tener en cuenta estos espacios para definir las actividades necesarias (ver Figura 3). Por otro lado, las competencias corresponden a las habilidades que requiere el equipo de desarrollo para llevar a cabo el trabajo (ver Figura 4).

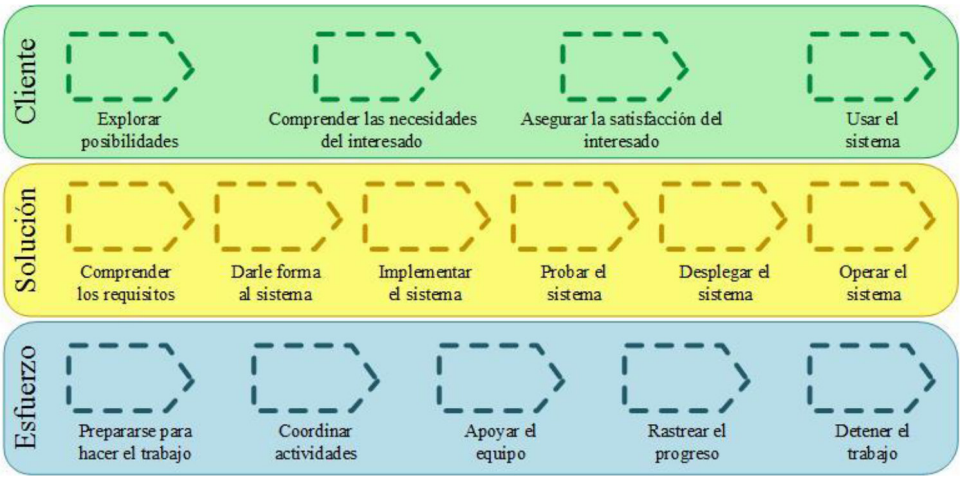


Figura 3 – Espacios de actividad del núcleo de SEMAT (OMG, 2015)

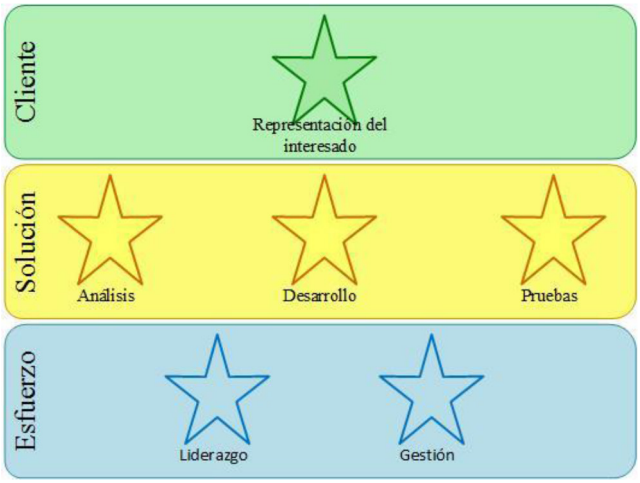


Figura 4 – Competencias del núcleo de SEMAT (OMG, 2015)

3.2. Elementos del proceso de enseñanza de ingeniería de *software*

Los conceptos y relaciones propias del dominio de enseñanza de ingeniería de *software* fueron identificados en dos fases.

En la fase de formulación, se revisó la literatura, se elaboró esquemas preconceptuales, se unificó terminológicamente, y se generó un esquema preconceptual único. La Tabla 2 presenta un conjunto de conceptos y relaciones que se identificó en cada estudio, y la Tabla 3 presenta conceptos comunes (sinónimos) y el concepto elegido para incorporar en SETMAT. La Figura 5 incluye un fragmento del esquema preconceptual resultante al unificar los términos encontrados en la revisión de literatura.

En la fase de descripción de SETMAT se empleó el núcleo de Essence de SEMAT con dos actividades:

1. Analizar el EP único: (a) eliminar del EP las relaciones estructurales de tipo tiene (Ejemplo: *actividad de aprendizaje-tiene-porcentaje*), (b) asociar a cada relación dinámica del EP, que es una actividad en el núcleo de SEMAT, el color del área de interés del núcleo con la que se relaciona.
2. Establecer equivalencias: asociar cada elemento del esquema preconceptual con un elemento del núcleo de SEMAT; la Tabla 4 presenta un fragmento de las equivalencias de conceptos y relaciones del esquema preconceptual al núcleo de SEMAT.

Estudio	Conceptos y relaciones identificadas
(Pirker et al., 2014)	Lectura, actividad, teoría, tarea, evaluación, quiz
	Modelo de aprendizaje activo-tiene-{lectura, actividad, tarea, evaluación}
(Chen & Damevski, 2014)	Proceso de desarrollo, herramienta de apoyo, fase, modelo de enseñanza
	Modelo de enseñanza-tiene-{programa, herramienta de apoyo, proceso de desarrollo} proceso de desarrollo-tiene-fase
(Jiugen et al., 2014)	Docente, actividad tradicional, contenido de clase, medio digital, estudiante, tecnología
	Modelo de enseñanza de aula invertida-tiene-{docente, actividad tradicional, contenido de clase, medio digital, estudiante, tecnología}
(Huang & Su, 2010)	Aprendizaje cooperativo, habilidad social, evaluación grupal, interacción cara a cara
	Modelo de enseñanza-tiene-{evaluación grupal, aprendizaje cooperativo, habilidad social} Modelo de enseñanza-promueve-interacción cara a cara Modelo de enseñanza-crea-habilidad social
(Gang, Haiyuan & Anquan, 2008)	Tutor, proyecto, actividad de enseñanza, evaluación, estudiante, plataforma colaborativa, estudio de *software*
	Modelo de enseñanza-tiene-{estudio de *software*, tutor, proyecto, actividad de enseñanza, evaluación, plataforma colaborativa}
(Apiola, Lattu & Pasanen, 2012)	Ambiente de aprendizaje, docente, retroalimentación, estrategia de aprendizaje, plan del curso
	Docente-modifica-ambiente de aprendizaje Ambiente de aprendizaje-tiene-{estrategia de aprendizaje, retroalimentación, plan del curso}
(Estes, Welch & Ressler, 2005)	Docente, estudiante, evaluación frecuente, tecnología, trabajo en equipo, presentación creativa, objetivo de aprendizaje, temática
	Modelo de enseñanza-tiene-{docente, estudiante, evaluación frecuente, objetivo de aprendizaje, temática, tecnología, trabajo en equipo, presentación creativa} Docente-adapta-temática

(Li & Xu, 2009)	Plan, actividad de estudiantes, actividad de docentes, docente, problema, herramienta, tema, información
	Estudiante-define-plan Estudiante-analiza-información Docente-propone-problema Docente-proporciona-herramienta
(Simpson, Burmeister, Boykiw & Zhu, 2003)	Asignatura, presentación final, docente, cliente, gerente de proyectos, proyecto, método de desarrollo, producto final, necesidad
	Modelo basado en estudios-tiene-{método de desarrollo, asignatura} Asignatura-tiene-{docente, cliente, presentación final, actividad, producto final} Estudiante-desarrolla-proyecto Cliente-tiene-necesidad
(Qureshi, Asim & Nadeem, 2012)	Asignatura, profesor, plan, objetivo de aprendizaje, estudiante, evaluación, proyecto, Evento evaluativo, retroalimentación, problema, equipo de desarrollo
	Asignatura-tiene-{profesor, plan, objetivo de aprendizaje, estudiante, evaluación, proyecto} Evaluación-tiene-{evento evaluativo, retroalimentación} Profesor-realiza-plan Profesor-soluciona-problema Estudiante-conforma-equipo de desarrollo Equipo de desarrollo-ejecuta-proyecto

Tabla 2 – Conceptos identificados por estudio a incorporar en SETMAT

Conceptos sinónimos	**Concepto elegido**
Método de desarrollo, proceso de desarrollo	Método de desarrollo
Presentación creativa, presentación final, presentación	Presentación
Evaluación, mecanismo de evaluación, actividad evaluativa	Evaluación
Instructor, tutor, profesor, docente	Docente
Sesión, seminario, conferencia, lección, sesión de aprendizaje	Clase
Programa, tecnología, aplicación de BD, medio digital, wiki, tutorial, herramienta, herramienta de apoyo, sistema de calificación automática, sistema de administración del trabajo independiente, sistema de evaluación en línea, plataforma colaborativa	Herramienta de apoyo
Grupo, equipo de implementación, equipo de trabajo *Equipo*	Equipo
Proyecto de curso, proyecto, proyecto de software	Proyecto de *software*
Contenido de clase, tema, concepto, contenido, temática	Temática

Tabla 3 – Listado de conceptos sinónimos y concepto elegido a incorporar en SETMAT

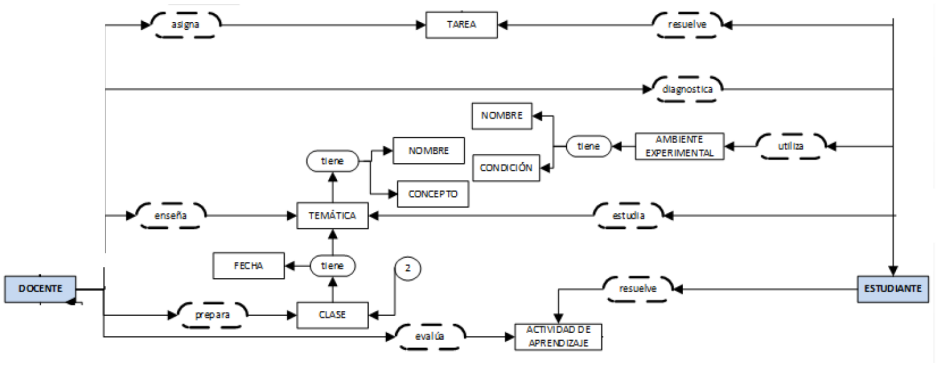


Figura 5 – Fragmento del esquema preconceptual único de SETMAT

Conceptos del EP	Elemento de SEMAT
Plan	Producto de trabajo derivado de actividades del espacio de actividad *prepararse para hacer el trabajo*
Actividad	Como la tríada es *estudiante realiza actividad*, hace referencia a acciones del espacio de actividad *entrenar el equipo*
Problema	Hace parte del subalfa actividad de aprendizaje
Tutor	Rol que se representa con un patrón
Líder	Rol que se representa con un patrón
Equipo	Alfa

Tabla 4 – Equivalencia de conceptos del esquema preconceptual vs. núcleo de SEMAT

Al establecer estas equivalencias, algunos conceptos propios del proceso de enseñanza de ingeniería de *software* (como "objetivo de aprendizaje" y "método de evaluación2) y algunas relaciones (como "docente-evalúa-actividad de aprendizaje") no tienen equivalente en el núcleo de SEMAT, por lo que se realizó la actividad 3 (*identificar elementos a adicionar al núcleo de SEMAT*). Los nuevos conceptos a adicionar a SETMAT junto con su frecuencia de aparición en los estudios primarios fueron: "método de evaluación2 (19), "estrategia de enseñanza" (16), "actividad de aprendizaje" (12), "temática" (11), "recurso de apoyo" (10), "objetivo de aprendizaje" (9), "curso" (9) y "entregable" (7).

Igualmente, se definió tres nuevos espacios de actividad para relacionar las acciones asociadas con el proceso de enseñanza de ingeniería de *software*, como describe la sección siguiente.

4. SETMAT: *Software* Engineering Teaching Method and Theory

La Teoría de Enseñanza de Ingeniería de *Software* (SETMAT) incluye todos los elementos del núcleo de la Esencia de SEMAT, como teoría de la ingeniería de *software*,

y se adicionan elementos del proceso de enseñanza de ingeniería de *software*, haciendo uso del mismo lenguaje y elementos de *Essence* como alfas, espacios de actividad, competencias, actividades, productos de trabajo y patrones.

Los alfas se pueden componer con conceptos más específicos que se denominan subalfas o alfas subordinados. En relación con el proceso de enseñanza de ingeniería de *software*, se añaden los siguientes subalfas: a) al alfa *equipo*, el subalfa *estudiante*, b) al alfa *trabajo*, los subalfas *curso* y *temática* y c) al alfa *forma de trabajo*, los subalfas *objetivos de aprendizaje, estrategia de enseñanza, actividad de aprendizaje, recursos de apoyo* y *m*étodo de evaluación (véase la Figura 6). Adicionalmente, el subalfa *entregable* se asocia con el alfa *requisitos*, debido a que las diferentes entregas de un producto, desde la especificación de requisitos hasta los casos de prueba se implementan en los requisitos (ver la Figura 6). Por otro lado, los tres espacios de actividad que se presentan en la Figura 7 abarcan las diferentes actividades del proceso de enseñanza de ingeniería de *software*. Desde la preparación previa al proceso de formación, el proceso de formación como tal y, finalmente, el proceso de evaluación o valoración del progreso del equipo.

Además, se plantea un nuevo conjunto de competencias requeridas en los ingenieros de *software* a partir de la propuesta de Durango, Zapata y Zapata (2018) teniendo en cuenta los diferentes roles dentro de un equipo de desarrollo de *software*. Las nuevas competencias son "comunicación", "orientación al servicio", "pensamiento sistémico", "gestión del conocimiento", "gestión del cambio", "trabajo colaborativo", y "orientación

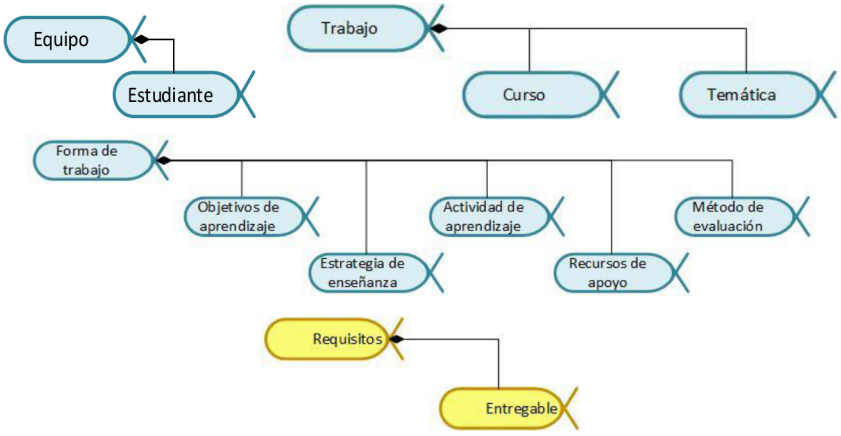


Figura 6 – Subalfas de SETMAT



Figura 7 – Nuevos espacios de actividad de SETMAT

5. Resultados

SETMAT fue evaluado en un estudio piloto realizado con 24 docentes de ingeniería de *software* de Colombia, Chile y México, en el marco del Simposio Latinoamericano de Ingeniería de *Software* (LASES) y el X Seminario Internacional de Ciencias de la Computación (SICC 2017).

Este piloto incluyó:

1. Presentación de los participantes para conocer sus intereses en docencia en ingeniería de *software*.
2. Aplicación del juego para introducir SETMAT por equipos.
3. Conformación de equipos de dos integrantes, teniendo en cuenta intereses comunes en docencia en el área de ingeniería de *software*.
4. Representación de una práctica de enseñanza propia de alguno de los docentes participantes.
5. Llenado individual de una encuesta de percepción de SETMAT.

La Figura 8 muestra un diagrama SETMAT para representar la práctica "Modelado de clases a partir de lenguaje natural", que fue elaborado por docentes participantes en el estudio. En el espacio de actividad *prepararse para hacer el trabajo* se asocian las actividades *orientar el trabajo* y *entregar el documento*, que lleva a cabo el docente. En el espacio de actividad *entrenar el equipo* se incluyen todas las actividades que hacen parte del proceso de formación como *analizar el texto, seleccionar objetivos, seleccionar atributos, definir relaciones* y *modelar el diagrama de clases*. Estas actividades las lleva a cabo un equipo de estudiantes. Otros aspectos importantes son las competencias que se requieren para llevar a cabo cada acción. Por ejemplo: la actividad *analizar el texto* requiere las competencias *comunicación, análisis* y *trabajo colaborativo*. Finalmente, la actividad *revisar el diagrama* se asocia con el espacio de actividad *valorar el progreso del equipo en el entrenamiento*.

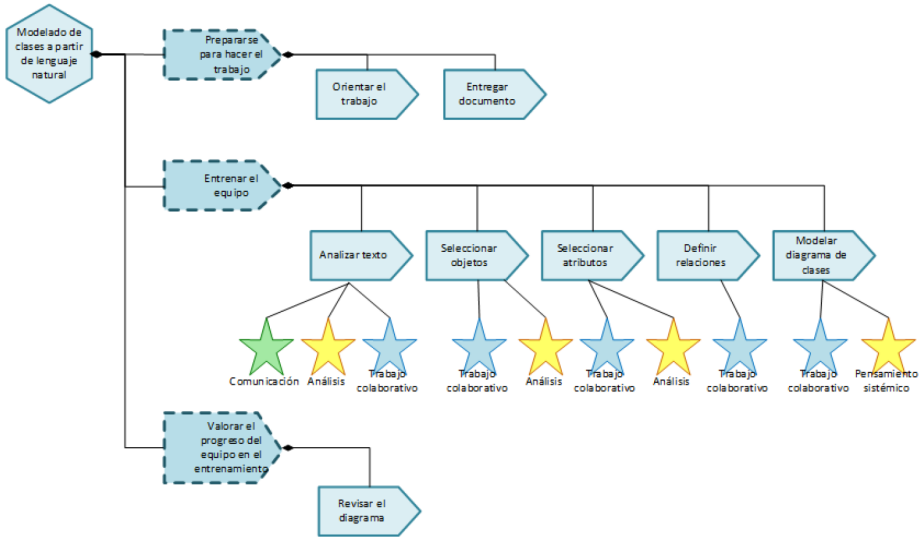


Figura 8 –Representación de la práctica: Modelado de clases a partir de lenguaje natural

Las preguntas de la encuesta fueron:

- ¿Hay elementos de su práctica que no fue posible representar con SETMAT?, ¿cuáles? Los docentes indicaron que algunos elementos no representados son las modalidades de ejecución de la práctica (virtual, presencial) y los pre-requisitos que deben cumplir los estudiantes para ejecutar las actividades de aprendizaje.
- ¿Existen elementos de SETMAT que no se usan en la representación de la práctica? Los docentes manifiestan que subalfas como *temática* y *curso* no fueron necesarios en las representaciones de sus prácticas.
- Califique la facilidad de uso de SETMAT para representar prácticas de enseñanza de ingeniería de *software* (escala Likert 1-5). El 78% calificó la facilidad de uso como alta y el 22% como muy alta, lo que entrega una idea inicial sobre el potencial de SETMAT para representar, transferir y compartir prácticas de enseñanza de ingeniería de *software*.
- ¿Recomendarías esta teoría a otro colega? Sí/No, ¿por qué? El 100% de los docentes respondieron afirmativamente, lo que evidencia el potencial de SETMAT como mecanismo de representación de prácticas, así como la importancia de utilizar estrategias alternativas, como los juegos, para presentar una temática.

6. Conclusiones

Este artículo ha descrito SEMAT, una teoría de la enseñanza de ingeniería de *software*. SETMAT ha sido construido sobre SEMAT, uan teoría sobre ingeniería de *software*, lo que muestra su potencial de uso en dominios disciplinarios conexos. SETMAT incorporar elementos propios del núcleo de SEMAT y agrega conceptos y relaciones para describir la enseñanza de ingeniería de *software*, en términos de subalfas, espacios de actividad y competencias.

Un estudio piloto mostró el potencial de SETMAT para la representación de prácticas de enseñanza de ingeniería de *software* con los siguientes beneficios:

- Proveer un lenguaje común para que los docentes representen, comparen y transfieran sus prácticas de enseñanza de ingeniería de *software*.
- Representar prácticas ya publicadas en artículos científicos, así como aquellas prácticas que lleva a cabo el docente en el aula de clase.

Algunas líneas de trabajo en curso y futuro son:

- Refinar SETMAT: ya se ha entrevistado a 23 docentes de ingeniería de *software* de Chile, Argentina y Uruguay sobre sus prácticas de enseñanza de ingeniería de *software*.
- Comparar formalmente SETMAT como mecanismo de representación de prácticas de enseñanza con otras propuestas existentes.
- Agradecimientos: Este trabajo fue parcialmente financiado por CONICYT (Basal FB0821 CCTVal).

Referencias

Apiola, M., Lattu, M., & Pasanen, T. (2012). Creativity-Supporting Learning Environment—CSLE. *ACM Transactions on Computing Education*, *12*(3).

Arpetti, A., Baranauskas, M., & Leo, T. (2014). Grounding Learning Design on Teaching Practice: The LEDITA Learning Design Tool for Italian Language Teachers. In *Proceedings of IEEE 14th Conference on Advanced Learning Technologies – ICALT 2014*. Athens, Greece.

Caroll, J. M., Rosson, M. B., & Isenhour, P. (2003). Frameworks for sharing knowledge toward a professional language for teaching practices. In *Proceedings of IEEE 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Washington, USA.

Conole, G. (2010). Learning design–Making practice explicit. In *2nd International Conference on Design Education*. Sydney, Australia.

Chaves, C., y Sosa, M. (2014). Modelo de enseñanza y su relación con los procesos metacognitivos en programación de sistemas. *Revista Educación en Ingeniería*, *9*(17), 1–12.

Chen, H., & Damevski, K. (2014). A teaching model for development of sensor-driven mobile applications. In *Proceedings of the 2014 Conference on Innovation and & technology in computer science education – ITiCSE'14*. Uppsala, Sweden.

Durango, C., Zapata, C. M., y Zapata, C. M. (2018). Representación en el núcleo de la esencia de *Semat* de las Competencias de un Equipo de Desarrollo de *Software*. *Revista Entradamado*, artículo en prensa.

Elvesæter, B., Benguria, G., & Ilieva, S. (2013). A comparison of the Essence 1.0 and SPEM 2.0 specifications for *software* engineering methods. In *Proceedings of the 3rd Worshop on Process-Based Approaches for Model-Driven Engineering*. New York, USA.

Estes, A., Welch, R., & Ressler, S. (2005). The ExCEEd teaching model. *Journal of Professional Issues in Engineering Education, 131*(4), 218–222.

Gang, L., Haiyuan, C., & Anquan, J. (2008). A New Teaching Model of Project-Orientation and Distance Collaboration. In *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*. Hubei, China.

García-Robles, R., & Diaz-del-Rio, F. (2009). An eLearning standard approach for supporting PBL in computer engineering. *IEEE Transactions on Education*, *52*(3), 328–339.

Huan, S. (2012). The Innovation of *Software* Engineering Course in The Non-Computer Professional. *Procedia Environmental Sciences*, *12*, 1253–1256.

Huang, F., & Su, J. (2010). Study of teaching model based on cooperative learning. *Studies in Literature and Language*, *1*(6), 37–42.

Huang, P., Chen, M., & Chen, S. (2008). The practice training in the *software* engineering education. In *9th International Conference for Young Computer Scientists (ICYCS)*. Hunan, China.

Jiugen, Y., Ruonan, X., & Wenting, Z. (2014). Essence of flipped classroom teaching model and influence on traditional teaching. In *2014 IEEE Workshop on Electronics, Computer and Applications*. Ottawa, Canada.

Kitchenham, B., Brereton O., & Budgen, D. (2009). Systematic literature reviews in *software* engineering–A systematic literature review. *Information and Software*, *51*(1), 7–15.

Li, Y., & Xu, J. (2009). A study on inquiry-based teaching model for deaf students. In *2009 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE)*. Nanjing, China.

Li, Z., Li, J., Guan, Y., & Yi, K. (2009). Practice of Actual Project Driven Teaching Model on *Software* Engineering Major. In *International Conference on Information Engineering and Computer Science (ICIECS 2009)*. Wuhan, China.

Lu, J., Sun, N., & Wang, S. (2012). Project-driven teaching model for web database course. In *2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP)*. Shaanxi, China.

Marcelo, C., Yot, C., y Mayor, C. (2011). Alacena: repositorio de diseños de aprendizaje para la enseñanza universitaria. *Revista Comunicar*, *19*(37), 37–44.

Monteith, J., & McGregor, J. D. (2011). Integrating instructional and study materials to tailor a student-specific resource. In *2011 24th IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T)*. Klagenfurt, Austria.

Object Management Group (2015). Kernel and Language for *Software* Engineering Methods (Essence)-Version 1.1.

Pirker, J., Riffnaller-Schiefer, M., & Gütl, C. (2014). Motivational active learning: engaging university students in computer science education. In *Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education – ITiCSE'14*. Uppsala, Sweden.

Prikladnicki, R., Hoda R., Cataldo, M., Sharp, H., Dittrich, Y., De Souza, R. (2013). 6th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of *Software* Engineering (CHASE). *In 2013 6th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE)*. San Francisco, USA.

Qureshi, M. & Wundinger, S. (2015). Enhancing college students' life skills through project-based learning. *Innovative Higher Education*, *40*(3), 279–286.

Simpson, M., Burmeister, J., Boykiw, A., & Zhu, J. (2003). Successful studio-based real-world projects in IT education. In *Proceedings of the fifth Australasian Conference on Computing Education*. Darlinghurst, Australia.

Siqueira, F. L., Barbarán, G., & Becerra, J. L. (2008). A *Software* Factory for Education in *Software* Engineering. In *2008 21st Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T)*. Charleston, USA.

Tan, S., & Chen, L. (2010). A new teaching model in the course of web theories and technologies. In *2010 5th International Conference on Science & Education (ICCSE)*. Hefei, China.

Tao, K., & Shanhong, Z. (2014). The distance teaching model of information and technology based on CSCL. *World Transactions on Engineering and Teaching Education*, *12*(2), 251–255.

Tijian, C. (2009). Comparison and Analysis on Practical Teaching Model of Electronic Commerce. In *2nd International Conference on Education Technology and Training (ETT'09)*. Sanya, China.

Zapata, C., & Chaverra, J. (2012). An environment based on pre-conceptual schemas for automatically generating source code under the MVC pattern. *Revista DYNA*, *79*(176), 56–63.

Critérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, propriedade da AISTI (Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação), que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (http://www.risti.xyz).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, propiedad de la AISTI (Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información), centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

Lo envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (http://www.risti.xyz).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.

Os associados da AISTI recebem a RISTI gratuitamente, por correio postal. Torne-se associado da AISTI. Preencha o formulário abaixo e envie-o para o e-mail aistic@gmail.com

Los asociados de la AISTI reciben la RISTI por correo, sin costo alguno. Hazte miembro de la AISTI. Rellena el siguiente formulario y remítelo al e-mail aistic@gmail.com



Formulário de Associado / Formulario de Asociado

Nome/Nombre: _____

Instituição/Institución: _____

Departamento: _____

Morada/Dirección: _____

Código Postal: _____ Localidade/Localidad: _____

País: _____

Telefone/Teléfono: _____

E-mail: _____ Web: _____

Tipo de Associado e valor da anuidade:

☐ Individual - 35€

☐ Instituição de Ensino ou I&D/Institución de Educación o I&D - 250€

☐ Outro (Empresa, etc.) - 500€

NIF/CIF: _____

Data/Fecha: __/__/_____ Assinatura/Firma: _____

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies
©AISTI 2019 http://www.aisti.eu

