ISSN: 1646-9895

risti

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

Agosto 19 • August 19

©AISTI 2019 http://www.aisti.eu

Nº E22

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

Edição / Edition
Nº. 22, 08/2019

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
Iván García Santillán. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Irving Reascos Paredes. Universidad de Minho. Portugal.
Marco Pusdá Chulde. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Pedro Granda Gudiño. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Jorge Caraguay Procel. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.

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
Ana Lucía Sandoval Pillajo. Universidad Politécnica de Valencia. España.
Ana Umaquinga Criollo. Universidad de Salamanca. España.
Andrea Verenice Basantes Andrade. Universidad de Salamanca. España.
Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda. Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador.
Cathy Pamela Guevara Vega. Universidad de Sevilla. España.
Cecilia Verónica Sanz. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Coral Calero Muñoz. Universidad de Castilla-La Mancha. España.
Cosme Macarthur Ortega Bustamante. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Daisy Imbaquingo Esparza. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Daniela López De Luise. CI2S Labs. Argentina.
Darwin Leonidas Aguilar Salazar. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
David Omar Guevara Aulestia. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
Diego Hernán Peluffo Ordoñez. Universidad Yachay Tech. Ecuador.
Dulce Milagro Rivero Albarran. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
Dunia Inés Jara Roa. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.

Edgar Maya Olalla. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Enrique Vinicio Carrera. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
Erick Patricio Herrera Granda. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Fausto Salazar Fierro. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Fernando Manuel Uyaguari Uyaguari. Etapa Empresarial. Ecuador.
Francklin Rivas Echeverría. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile.
Gabriela Viviana Tubón Usca. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
Galo Hernán Puetate Huera. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
Glenda Rosalía Vera Mora. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador.
Gustavo Adolfo Sandoval Ruilova. Universidad Politécnica de Madrid. España.
Henry Marcelo Recalde Araujo. Universidad Tecnológica Israel. Ecuador.
Hernán Mauricio Domínguez Limaico. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Irving Reascos Paredes. Universidad de Minho. Portugal.
Israel David Herrera Granda. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Iván García Santillán. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Iván Ramírez Morales. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
Janneth Alexandra Chicaiza Espinosa. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
Jorge Herrera Tapia. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador.
Jorge Luis Pincay Lozada. Universidad Cooperativa de Colombia. Colombia.
Jorge Luis Zambrano Martínez. Universidad Politécnica de Valencia. España.
José Alejandro Salazar Castro. Corporación Universitaria Autónoma de Nariño. Colombia.
José Antonio Quiña Mera. Universidad de Sevilla. España.
José María Bengochea Guevara. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). España.
Juan Carlos Santillán Lima. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Juan David García González. University College London. United Kingdom.
Karla Susana Cantuña Flores. Centro de Automática y Robótica CSIC. España.
Laura Cristina Lanzarini. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Leandro Leonardo Lorente Leyva. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Lenin Omar Lara Castro. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Lorena De Los Ángeles Guachi Guachi. Universidad Yachay Tech. Ecuador.
Luis A. Marrone. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Luis David Narváez Erazo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.

Luis Suárez Zambrano. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Marco Patricio Abad Espinoza. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
Marco Remigio Pusdá Chulde. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Marco Revelo Aldas. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Mario Bernabe Ron Egas. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
Marlon Renné Navia Mendoza. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Ecuador.
Martha Vanessa Agila Palacios. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
Mayra Salazar Grandes. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
Miguel Botto Tobar. Universidad Tecnológica de Eindhoven. Netherlands.
Miguel Díaz Rodríguez. Universidad de Los Andes-Mérida. Venezuela.
Nancy Guadalupe Velásquez Villagrán. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
Oscar Marcelo Zambrano Vizuete. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Pablo Fernando Ordoñez Ordoñez. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
Pablo Landeta López. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Pablo Vicente Torres Carrión. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
Paul Francisco Baldeón Egas. Universidad Tecnológica Israel. Ecuador.
Paúl Rosero Montalvo. Universidad de Salamanca. España.
Renato Echeverria Meza. Asamblea Nacional del Ecuador. Ecuador.
Segundo Eliceo Pusdá Chulde. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
Verónica Consuelo Tapia Cerda. Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
Víctor Manuel Caranqui Sánchez. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Villie Morocho Zurita. Universidad de Cuenca. Ecuador.
Vivian Ojeda Serna. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Walter Marcelo Fuertes Díaz. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
Xavier Mauricio Rea Peñafiel. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
Xiomara Blanco Valencia. Universidad Politécnica de Madrid. España.

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

Recebido/Submission: 11/04/2019
Aceitação/Acceptance: 21/07/2019

Editorial

La Computación en la sociedad actual

Computing on modern society

Iván García Santillán[1]

idgarcia@utn.edu.ec

[1] Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador

Pages: v–vi

La computación ha tenido un auge en los últimos años debido, entre otras, a la miniaturización de las computadoras con mayor poder de procesamiento. Grandes avances técnicos-científicos han sido desarrollados con ayuda de la computación las cuales han mejorado la calidad de vida de los ciudadanos del mundo.

Actualmente, estamos viviendo una plena revolución digital con avances tecnológicos vertiginosos en varios campos: comunicaciones (teléfonos inteligentes), Internet de las cosas, Inteligencia artificial, Seguridad informática, Big Data, Computación en la nube, Redes sociales, Robótica, entre otros. Estas tecnologías emergentes, sin duda, impactan significativamente en la globalización de la economía y diferentes ámbitos de la sociedad, tales como: educación, salud, transporte, industria, ambiente, negocios, comunicación, gobierno, seguridad, entretenimiento, etc.

En este contexto, el presente número especial de la Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información (RISTI) muestra algunas propuestas de investigación en el campo de la computación que promueven cambios positivos o alternativas de solución a necesidades tecnológicas específicas en diferentes sectores estratégicos y de interés público para una sociedad moderna cada vez más tecnificada.

Estas propuestas son resultado del II Congreso Internacional en Ciencias de la Computación (INCICS 2019), realizado del 16 al 18 de octubre en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. Este evento fue un espacio de diálogo y debate de alto nivel técnico-científico sobre resultados de investigaciones en las áreas de Ciencias de la Computación, Ingeniería de software, Tecnologías y Sistemas de Información, Redes de Comunicación, Gestión inteligente del territorio, entre otros.

INCICS 2019 receptó 84 artículos científicos de autores provenientes de 11 países: Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, El Salvador, Italia, México, Perú, Portugal y España. Luego de un proceso riguroso de evaluación por parte de los miembros del comité científico internacional, donde autores y revisores fueron anónimos, se seleccionaron 33 artículos, correspondiendo a una tasa de aceptación del 39%.

Los artículos elegidos se enmarcaron en las siguientes subáreas: TIC en Educación, Minería de Datos, Visión por Computador, Calidad de Software, Inteligencia Artificial, Modelado y simulación, Realidad virtual y aumentada, Seguridad informática, Redes de datos y comunicación, Robótica, Gobierno electrónico y Auditoría informática.

Agradecimientos

Un reconocimiento profundo:

A los autores, por haber confiado y presentado sus trabajos con alta calidad científica.

A los miembros del comité científico del II Congreso Internacional en Ciencias de la Computación (INCICS 2019) por su colaboración en calidad de revisores de los artículos científicos. Esto permitió seleccionar los mejores manuscritos para su presentación en el evento y su publicación en este número especial de la revista RISTI.

A las instituciones que proporcionaron su aval y/o apoyo académico para el desarrollo de INCICS 2019: Universidad Técnica del Norte (Ecuador), Universidad de Sevilla (España), Universidad Complutense de Madrid (España), Universidad de Minho (Portugal), Universidad Nacional de la Plata (Argentina), Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT, Ecuador), Red CEDIA (Ecuador), Red RTC-REDU (Ecuador) y Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (AISTI, Portugal).

Índice / Index

EDITORIAL

La Computación en la sociedad actual v
Iván García Santillán

ARTIGOS / ARTICLES

Propuesta de un videojuego educativo para la enseñanza-aprendizaje de la clasificación de requisitos en ingeniería de software 1
Gabriel Elías Chanchí G., María Clara Gómez A., Wilmar Yesid Campo M.

Estimación de la calidad de la experiencia del videostreaming desplegado sobre redes WiFi 5 definidas por software 15
Luis Eduardo Echeverry Londoño, Wilmar Yesid Campo Muñoz, Gabriel Elías Chanchí Golondrino

Aplicación móvil en los ambientes educativos en Ecuador: "Monitoreando tareas y Asistencia en tiempo Real" 29
Lady M.Sangacha-Tapia, Eleanor Varela-Tapia, Jenny A.Ortiz-Zambrano, Isaakc Ortiz Aguirre, Lissette G.Masabanda-Campoverde, William S.Ferruzola-Duque

Sistema de Indexación de Documentos Jurisprudenciales Soportado en Inteligencia Artificial 41
Cristian Camilo Ordoñez, Edier Anchico Silva, José Armando Ordoñez, Cristian Méndez, Hugo Armando Ordoñez

Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012 53
Milton Campoverde-Molina, Sergio Luján-Mora, Llorenç Valverde

Optimización del transporte público urbano mediante algoritmos de búsqueda Tabú y PSO: Medellín, Colombia 69
Laura Betancur-Delgado, Miguel A. Becerra, Carolina Duque-Mejía, Diego Peluffo-Ordóñez, Karla C. Álvarez-Uribe

Traffic analysis of internet applications on mobile devices over LTE and Wireless networks 81
Albert Espinal, Rebeca Estrada, Carlos Monsalve

Análisis de emociones y sentimientos sobre el discurso de firma del acuerdo de paz en Colombia 95
Gabriel Elías Chanchí G, Amelia Elizabeth Córdoba G

Human upper limbs movements imitation in a humanoid robot using a natural user interface 108
Acurio Maldonado Santiago Alejandro, Robayo Jácome Darío Javier, Acurio Maldonado Daniel Marcelo, Amancha Proaño Pablo, Cárdenas Salazar Álvaro

Aplicación móvil para fortalecer el aprendizaje de ajedrez en estudiantes de escuela utilizando realidad aumentada y m-learning. 120

Joe Llerena Izquierdo, Maitte Robalino Alfonso, Michael Andina Zambrano, Jamilette Grijalva Segovia

Predicción del desempeño en una tarea colaborativa con uso de tecnologías. El papel de la construcción social del conocimiento y la comunicación 134

Dunia Inés Jara-Roa, María-Soledad Ramírez-Montoya, Marcos Cabezas G., José Eulogio Real Deus

Interfaz de usuario enfocado en el co-diseño con niños..... 147

Elizabeth Morales-Urrutia, José Miguel Ocaña Ch, Jorge Luis Santamaría Aguirre, Diana Pérez-Marín

Use of gamification in the learning of children with dyseidetic disexia: a case study 161

Antonio Quiña-Mera, Selena Pozo Barahona, Cathy Guevara-Vega, Iván García-Santillán, Alexander Guevara-Vega, Javier Montaluisa Yugla

Constrained Edges on Kinetic Delaunay Triangulation 174

Simena Dinas and Héctor J. Martinez

Evaluación en Sistemas de Aprendizaje Móvil: una revisión de la literatura 187

Jorge Muñoz, Carolina González

Wearable devices, the next generation of mobile devices: Main features and uses..... 200

Darwin Suarez, Santiago Criollo-C, Ángel Jaramillo-Alcázar, Sergio Luján-Mora

Algoritmo para la selección de instancias en problemas de clasificación basado en arreglos de cobertura..... 215

Jhonattan Solarte-Martinez, Carlos Cobos, Martha Mendoza

Modelo de evaluación del Dominio Control de Acceso de la norma ISO 27002 aplicado al proceso de Gestión de Bases de Datos 230

Susana Patiño, Alexander Caicedo, Erika Reina Guaña

Optimization-based algorithms applied in photovoltaic systems 242

Yasmany Fernández Fernández, Ana Cabrera Tobar, Diego H. Peluffo-Ordóñez, Teresa Sánchez Manosalvas, and Ridelio Miranda

Análisis de la eficiencia de desempeño en aplicaciones de Realidad Aumentada utilizando la normativa ISO/IEC/25010 256

Fausto A. Salazar Fierro, Carpio A. Pineda Manosalvas, Nancy N. Cervantes Rodríguez, Pablo Landeta

Análisis comparativo de algoritmos de aprendizaje supervisado para la detección de caídas 269

Santiago Solórzano, David Pozo, Luis Morales, Claudia Villalonga

Multi-Target Tracking for sperm motility measurement using the Kalman Filter and JPDAF: Preliminary Results..... 282

Dagoberto Mayorca-Torres, H Guerrero-Chapal, Julio Mejía-Manzano, Diana Lopez-Mesa, Diego H. Peluffo-Ordoñez, José A. Salazar-Castro

Publicando datos abiertos considerando criterios de calidad 295
Susana Cadena-Vela, Andrés Fuster-Guilló, Jose-Norberto Mazón

Una Revisión de Bodegas de Datos para Educación Superior 309
David-Antonio Fuentes-Vargas, John-Alexander Soraca-Higuera, Carlos-Alberto Cobos-Lozada, Martha-Eliana Mendoza-Becerra, Luis-Carlos Gómez-Flórez

Generación automática de resúmenes extractivos genéricos de un documento basado en n-gramas sintácticos no continuos..... 323
Andrés-Mauricio Salazar-Piedrahíta, Carlos-Alberto Cobos-Lozada

Satellite-image-based crop identification using unsupervised machine learning techniques: Preliminary results 337
Mónica Yolanda Moreno Revelo, Juan Bernardo Gómez Menoza, Diego Hernán Peluffo Ordoñez

Evaluación de sistemas de seguridad informáticos universitarios Caso de Estudio: Sistema de Evaluación Docente..... 349
Daisy E. Imbaquingo, Erick P. Herrera-Granda, Israel D. Herrera-Granda, Silvia R. Arciniega, Verónica L. Guamán, MacArthur C. Ortega-Bustamante

A conceptual architecture for content analysis about abortion using the Twitter platform 363
Paolo R. Roldán-Robles, Ana C. Umaquinga-Criollo, J anneth A. García-Santillán, Israel D. Herrera-Granda, Iván D. García-Santillán

Factores de éxito para sistemas recomendadores de procesos de investigación.....375
Moya Caisa Julio Danilo, Tapia Vega Liliana Carolina, Albán Taípe Mayra Susana, Rodríguez Bárcenas Gustavo, Alban Franklin Vinicio

Modelos de ecosistemas de Datos Abiertos del Gobierno: un estudio comparativo .. 386
Andrés Rey Piedrahita, Laura Milena Cárdenas Ardila, Andrick Parra Valencia

Análisis temporal y pronóstico del uso de las TIC, a partir del instrumento de evaluación docente de una Institución de Educación Superior..... 399
Alexandra E. Jácome-Ortega, Erick P. Herrera-Granda, Israel D. Herrera-Granda, Jorge A. Caraguay-Procel, Andrea V. Basantes-Andrade, MacArthur C. Ortega-Bustamante

Factores determinantes de la retención universitaria: Un caso de estudio en el Ecuador a partir del modelo de Tinto.....413
Alban Mayra, Veloz Marco, Vizcaíno Gloria

Personalización de algoritmo para auditar base de datos en Instituciones de Educación Superior 425
Henry Recalde, Paúl Francisco Baldeón Egas, Miguel Alfredo Gaibor Saltos, Renato Toasa

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

Recebido/Submission: 29/03/2019
Aceitação/Acceptance: 21/06/2019

Propuesta de un videojuego educativo para la enseñanza-aprendizaje de la clasificación de requisitos en ingeniería de software

Gabriel Elías Chanchí G.[1], María Clara Gómez A.[2], Wilmar Yesid Campo M.[3]

gchanchig@unicartagena.edu.co, mcgomez@udem.edu.co, wycampo@uniquindio.edu.co

[1] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B - 192, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

[2] Universidad de Medellín, Cra. 87 No. 30 - 65, 050026, Medellín, Colombia.

[3] Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

Pages: 1–14

Resumen: Una de las fases más relevantes en el proceso de desarrollo de software es la de análisis, que define el alcance del software mediante la especificación de los requisitos funcionales y no funcionales. Esta fase es crucial puesto que una mala especificación de los requisitos del sistema, pueden generar sobreesfuerzos en fases posteriores. A nivel académico se han evidenciado falencias en los estudiantes de los cursos de ingeniería de software, en cuanto la definición y clasificación de estos requisitos, lo que puede afectar la calidad de los productos de software de estos futuros profesionales. Este artículo propone un videojuego como herramienta para reforzar la identificación y clasificación de requisitos en estudiantes de cursos básicos de ingeniería de software. El videojuego fue concebido usando la metodología Design Thinking, implementado mediante la plataforma GDevelop y evaluado desde la perspectiva de usabilidad, usando las heurísticas para videojuegos de Pinelle.

Palabras clave: fase de análisis; ingeniería de software; requisitos funcionales; requisitos no funcionales; videojuego.

Proposal of an educational video game for the teaching-learning of the requirements classification in software engineering

Abstract: One of the most relevant phases in software development process is the analysis phase, in which the scope of the software to be constructed is defined through the specification of functional and non-functional requirements. This phase is crucial since a poor specification of the system requirements can generate an extra effort in subsequent phases. At the academic level, shortcomings have been identified in the students of the software engineering courses, in terms of the definition and classification of these requirements, which may affect the quality of the software products of these future professionals. This paper proposes a videogame as a tool to reinforce students' skills in these courses, in terms of identification and

classification of requirements. The video game was conceived using the Design Thinking methodology, implemented through the GDevelop platform and evaluated from the usability perspective, using Pinelle video game heuristics.

***Keywords**:* analysis phase; functional requirements; non-functional requirements; software engineering; video game.

1. Introducción

La ingeniería del software es una disciplina que comprende los aspectos relacionados con la producción de software, desde las primeras etapas de especificación de requisitos del sistema a construir, hasta el mantenimiento posterior su implementación en su entorno real de operación (Sommerville, 2011; Laird, 2016). Así, la ingeniería de software proporciona diversas métricas y metodologías que pueden usarse como especificaciones para la administración de personal involucrado en proyectos de software, ciclos de vida de un proyecto de software, costos de un proyecto, y los demás aspectos administrativos que implica el desarrollo de software. La ingeniería de software ofrece metodologías, herramientas y técnicas para desarrollar software. Estas metodologías son llamadas también modelos de proceso de software y dan pautas para construir un software y generar sus productos asociados como son los manuales técnicos, de usuario y de instalación así el código fuente, entre otros (Jabangwe, Edison, & Nguyen, 2018).

Una de las fases más relevantes en el proceso de desarrollo de software es la de análisis, puesto que en ella se concibe y comprende la naturaleza de la problemática a solucionar a través del software, es decir, en esta fase se define el alcance del software a construir (Buitrón, Flores-Rios, & Pino, 2018). Esta es una etapa crítica, puesto que una definición imprecisa o incompleta del alcance del sistema puede generar un sobreesfuerzo en fases de diseño e implementación para dar cumplimiento a los tiempos definidos inicialmente entre el equipo de desarrollo y el cliente (Berzal, 2006; Mall, 2018). En la fase de análisis se definen por lo general los roles de los usuarios del sistema, se caracteriza el dominio del problema y se especifican los requisitos funcionales y no funcionales del sistema a construir (Buitrón, Flores-Rios, & Pino, 2018). Dentro de la fase de análisis es fundamental que a través de la especificación de requisitos funcionales y no funcionales, el equipo de desarrollo comprenda completamente la naturaleza del sistema a construir, así como su comportamiento (Gasca-Hurtado, Muñoz, Mejia, & Calvo-Manzano, 2014).

En el campo de la Ingeniería Informática o de Sistemas, la temática de requisitos es abordada dentro de los cursos de Ingeniería de Software o afines, como parte de la fase de análisis del proceso de desarrollo de software. En este contexto académico, se han evidenciado dificultades por parte de los estudiantes de estos cursos en cuanto a redacción, reconocimiento y la diferenciación de requisitos funcionales y no funcionales. En este sentido, según (Medina, Hernández, Alonso, & Solis, 2012), la especificación de requisitos es una tarea compleja en los futuros ingenieros porque es necesario realizar tareas fundamentales como: tratar con la naturaleza del sistema y comprender su ambiente, encontrar los componentes y su interacción dentro del sistema, definir los servicios que el sistema debe ofrecer al usuario y definir las restricciones o limitantes del sistema. Así mismo, en el proceso de desarrollo de software se suele hacer énfasis en los requisitos funcionales por sobre los no funcionales, a pesar que estos requisitos definen aspectos relevantes como la usabilidad, la flexibilidad, el rendimiento, la

interoperabilidad y la seguridad. Lo anterior hace que en ocasiones se confunda o distinga claramente el alcance de los requisitos no funcionales (Chung & do Prado Leite, 2009).

A partir de lo anterior, este artículo presenta como aporte, el diseño e implementación de un videojuego educativo, que pretende servir de apoyo a los profesores del área de la ingeniería de software en cuanto a la mejor apropiación del concepto de requisitos y de manera específica en lo referente al reconocimiento y clasificación de los requisitos funcionales y no funcionales. Esto se debe a dificultades que presentan los estudiantes en cuanto a la temática de requisitos de software en cuanto a: 1) descripción de requisitos desde el punto de vista del sistema, 2) reconocimiento de los requisitos funcionales como acciones del usuario que debe apoyar el sistema y 3) identificación y descripción de requisitos no funcionales como atributos de calidad del producto relacionados con la experiencia de usuario.

Como respuesta a estas dificultades, el presente artículo propone un videojuego educativo desarrollado en la plataforma libre GDevelop, teniendo en cuenta las diferentes fases propuestas por la metodología Design Thinking (Razzouk & Shute, 2012; Henriksen, Richardson, & Rohit, 2017) como herramienta para la concepción del juego y sus características principales. GDevelop permite la generación de videojuegos haciendo uso de programación orientada a eventos y acciones entre los diferentes elementos y objetos que componen el juego. Así, la intención de este artículo también es dar a conocer las ventajas y potencialidades de plataformas para la creación de recursos educativos en el aula de clase, los cuales por medio de la didáctica contribuyan a la innovación educativa y al afianzamiento de competencias educativas (Pérez-Ortega, 2017), como lo son en este caso la identificación, diferenciación y clasificación de requisitos funcionales y no funcionales.

Con el fin de generar un videojuego más efectivo para ser usado en las clases del área de ingeniería de software, en su proceso de concepción y evaluación se contó con el apoyo de un grupo de profesores con experiencia en ingeniería de software e interacción humano computador, quienes aportaron un listado inicial de requisitos empleados de manera tradicional en sus clases y evaluaron la usabilidad del juego generado a través de un método de inspección, considerando las heurísticas propuestas por (Pinelle, Wong, & Stach, 2008)

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2 se presentan las diferentes fases metodológicas consideradas en la presente investigación; en la Sección 3 se describen los conceptos relevantes que fundamentan el desarrollo de este trabajo; en la Sección 4 se presenta el diseño y construcción del videojuego propuesto; en la Sección 5 se describe la evaluación de usabilidad realizada al videojuego propuesto mediante un método de inspección; finalmente en la Sección 6 se presentan las conclusiones y trabajos futuros derivados de la presente investigación.

2. Metodología

El desarrollo de esta investigación contempla cuatro fases a saber, adaptadas a partir de la metodología *Design Thinking*: empatizar y definir, idear, prototipar y evaluar (Serrano & Blázquez, 2015; Razzouk & Shute, 2012; Henriksen, Richardson, & Rohit, 2017) (ver Figura 1).

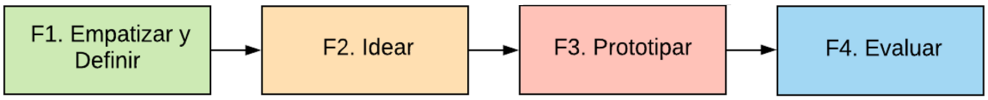


Figura 1 – Metodología propuesta

Fase 1 – Empatizar y definir: En esta fase se realizó la identificación de la problemática presentada en el proceso de especificación de requisitos (Medina, Hernández, Alonso, & Solis, 2012; Vetterli, Brenner, Uebernickel y Petrie, 2013). A partir de lo anterior, se optó por abordar las dificultades asociadas a la clasificación y/o distinción de requisitos funcionales y no funcionales por parte de los estudiantes mediante el desarrollo de un videojuego educativo para cursos de ingeniería de software.

Fase 2 – Idear: Una vez definido el alcance del videojuego educativo, se hizo uso de interfaces de alto nivel para diseñar la estructura y lógica principal del juego. Las interfaces de alto nivel generadas, permitieron guiar de manera más simple el proceso de desarrollo.

Fase 3 – Prototipar: A partir de los diseños de alto nivel realizados, se procedió con la construcción de un prototipo de videojuego educativo para diferentes plataformas, haciendo uso de la plataforma libre para no programadores GDevelop. El videojuego permite al usuario mediante interacciones sencillas clasificar un requisito aleatorio especificado por el equipo de desarrollo, como funcional o no funcional. En esta fase se contó con la colaboración de un conjunto de profesores del área de ingeniería de software quienes aportaron un listado de requisitos de ejemplo usados en sus cursos, en la fase de análisis de un producto de software.

Fase 4 – Evaluar: Para evaluar la usabilidad del videojuego construido, se condujo una inspección de usabilidad, la cual fue realizada teniendo en cuenta las diez heurísticas de usabilidad para videojuegos propuestas por Pinelle, Wong, & Stach (2008). Esta inspección fue realizada por profesores del área de la ingeniería de software con experiencia en evaluaciones de usabilidad. El propósito de la evaluación realizada fue mirar la pertinencia y utilidad del videojuego de cara a su uso en los cursos del área de ingeniería de software.

3. Marco Conceptual

En esta sección se presentan un conjunto de conceptos relevantes para el desarrollo de la presente investigación: fase de análisis, requisitos funcionales, requisitos no funcionales y plataforma GDevelop.

3.1. Fase de análisis

Esta fase incluye el proceso mediante el cual se pretende concebir lo que realmente el sistema o programa informático debe realizar en un contexto específico. Esta es una fase compleja ya que no siempre el cliente tiene una visión clara del software a construir y cualquier decisión errónea repercute ampliamente en el diseño del producto software. En este sentido, cuanto más precisa sea la caracterización del sistema a construir, mayor

probabilidad se tendrá de construir un producto software de calidad, puesto que distintos estudios han demostrado que eliminar un error en las fases iniciales de un proyecto (en la etapa de análisis) resulta de 10 a 100 veces más económico que subsanarlo al final del proyecto (Berzal, 2006; Mall, 2018). En la fase de análisis, a partir de las reuniones con el cliente, el analista del sistema busca obtener los requisitos del software a construir, así como los roles de los diferentes usuarios que interactuarán con este. En ingeniería de software, un requisito es entendido como una característica, restricción o necesidad documentada sobre el contenido, forma o funcionalidad de un producto o servicio (Melegati, Goldman, Kon, & Wang, 2019). En otras palabras, los requisitos identifican el *qué debe hacer* el sistema, mientras que el diseño establece el cómo del sistema (Borgida, Dalpiaz, Horkoff, & Mylopoulos, 2013). De acuerdo al estándar IEEE 830 los requisitos del sistema pueden ser divididos en funcionales y no funcionales (IEEE Std. 830-1998, 2008).

3.2. Requisitos Funcionales

Los requisitos funcionales describen la interacción entre el sistema y su ambiente, así como la forma en la que el sistema debe comportarse ante determinado estímulo. Estos requisitos son declaraciones de las prestaciones y/o servicios que debe proporcionar el sistema, de la manera en que éste debe reaccionar a entradas particulares y de cómo se debe comportar en situaciones particulares. En ciertas ocasiones, también pueden declarar explícitamente lo que el sistema no debe hacer. Es así como los requisitos funcionales describen de manera precisa lo que el sistema debe hacer (Lauenroth, Kamsties, & Hehlert, 2017). O en otras palabras, los requisitos funcionales describen todas las interacciones que se prevé que los usuarios tendrán con el software (Pytel *et al.*, 2011). Un ejemplo de requisito funcional podría ser: "El sistema debe permitir actualizar el estado de un cliente como moroso cuando no está al día en el pago de sus pedidos".

3.3. Requisitos No Funcionales

Los requisitos no funcionales hacen referencia a los aspectos de calidad de productos de software como son: rendimiento, fiabilidad, exactitud, seguridad y usabilidad (Doerr *et al.*, 2005). Una de las características de estos requisitos es la especificación de ciertos niveles de calidad y, por consiguiente, en muchos casos es posible cuantificarlos (Boehm, 1996). Por lo anterior, los requisitos no funcionales describen una restricción sobre el sistema software, la cual limita las elecciones en la implementación de una solución al problema. En este sentido, estos requisitos restringen las funciones o prestaciones ofrecidas por el sistema, por lo cual dentro de éstos se pueden encontrar restricciones en cuanto al tiempo, el tipo de proceso de desarrollo a utilizar, la fiabilidad del software, los tiempos de respuesta, la capacidad de almacenamiento, el rendimiento, la escalabilidad, la seguridad de la aplicación, entre otros atributos que definen la calidad del software (Chung & do Prado Leite, 2009). Un ejemplo de requisito no funcional podría ser: El sistema debe estar en capacidad de recuperarse de un error en menos de 5 minutos.

3.4. Plataforma GDevelop

GDevelop es una plataforma para la creación de videojuegos en dos dimensiones, destinada al uso de usuarios no programadores. Esta plataforma permite la

creación de aplicaciones, mediante la estrategia de programación orientada a eventos y acciones, en la cual no se codifican líneas de código, sino que se define el comportamiento de los objetos agregados al escenario (*sprites, tiled layers*, etiquetas, etc.) mediante eventos y acciones. La principal ventaja de GDevelop con respecto a otras plataformas similares como Construct 2 o Game Maker, es el hecho de ser libre, lo cual permite exportar el juego creado a diferentes tipos de plataformas: escritorio, web y móvil. Así mismo, GDevelop puede ser ejecutado en línea y permite la publicación de los juegos creados en su repositorio de recursos (Cuartas, 2016). En este artículo se hizo uso de GDevelop para la creación de un videojuego con propósito educativo para la identificación y clasificación de requisitos funcionales y no funcionales.

4. Diseño y Construcción del Videojuego

A partir de la problemática evidenciada por parte de los profesores del área de ingeniería de software, acerca de las dificultades de los estudiantes en cuanto a la identificación y clasificación de requisitos en la fase de análisis del proceso de desarrollo de software, en la etapa de diseño del videojuego se propuso como idea central una interfaz sencilla, en la cual los requisitos ya sea funcionales o no funcionales desciendan de la parte superior de la pantalla y en la parte inferior sean depositados en alguna de las dos canastas disponibles. Por cada requisito depositado de manera correcta el jugador irá sumando un punto, obteniendo al final del juego una relación entre los requisitos acertados y los intentos realizados. La interfaz de alto nivel que representa la idea central del juego se presenta en la Figura 2. Esta interfaz fue realizada con apoyo de la herramienta en línea para la generación de mockups NinjaMock (Mutis, 2016).

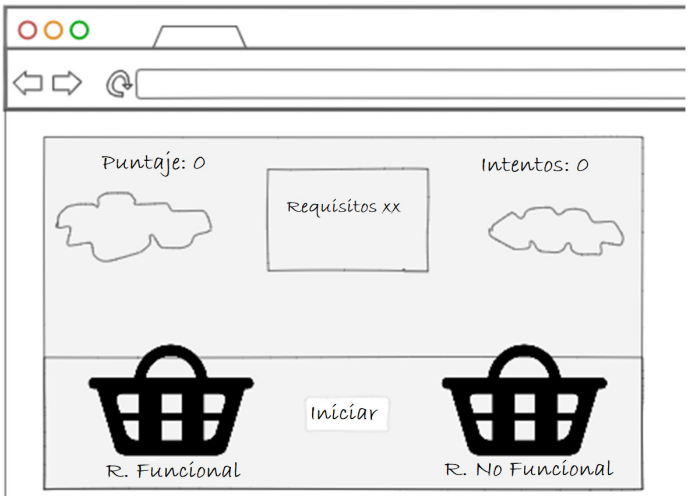


Figura 2 – Interfaz de alto nivel diseñada

En la Figura 3 se presenta un diagrama de flujo que describe de manera gráfica la lógica de interacción entre el usuario y el videojuego de clasificación de requisitos funcionales y no funcionales. Cuando el usuario lanza el juego en alguna de las diferentes distribuciones (escritorio, web, móvil, etc.), se presenta la interfaz principal del juego. Una vez el usuario presiona el botón iniciar, el sistema se encarga de generar un requisito aleatorio a partir de los requisitos definidos y almacenados en el juego, de tal manera que empieza a descender desde la parte superior de la pantalla el requisito escogido. Mientras el requisito desciende por la pantalla, el usuario debe clasificarlo como funcional o no funcional llevándolo a la cesta correcta, de tal modo que en caso que dicho requisito haya sido bien clasificado, el sistema incrementa el puntaje y el número de intentos, en caso contrario solo incrementa el número de intentos. Cada vez que el puntaje y los intentos son desplegados en pantalla del videojuego, el sistema verifica si se han cumplido los diez intentos o no, en caso que no se hayan cumplido se repite el proceso de obtener los requisitos aleatorios, de lo contrario se muestra en pantalla el resultado final y el usuario puede terminar el juego o volverlo a iniciar.

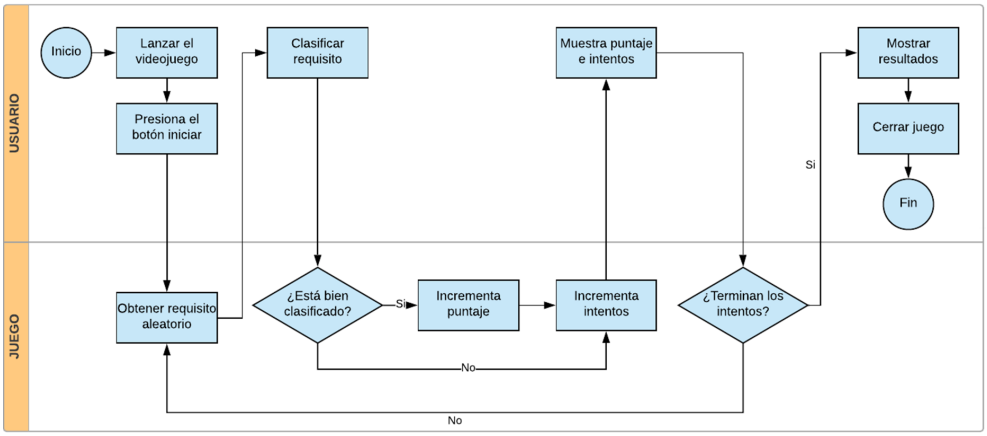


Figura 3 – Diagrama de interacción del juego

Por otra parte, en la Figura 4 se presenta la interfaz final de escritorio del juego desarrollado en la plataforma libre GDevelop. A diferencia de la etapa de diseño, en la fase de prototipado se optó por cambiar las imágenes de las cestas por imágenes de carpetas, teniendo en cuenta que éstas corresponden a representaciones visuales que el usuario puede asociar de manera más adecuada.

Tal como se aprecia en la Figura 4, los diferentes ítems u objetos del videojuego pueden ser en este caso de dos tipos específicos: *sprites* (requisito aleatorio, carpetas, botón de iniciar o terminar, fondo del escenario, cesped) o mensajes en pantalla (puntaje, intentos, mensaje en el fondo de la pantalla). Es importante resaltar que los *sprites* del juego pueden ser asociados con imágenes, como es el caso del post-it donde se ubican los requisitos o las carpetas en donde el jugador deposita los requisitos funcionales o no funcionales.

Figura 4 – Interfaz principal del videojuego

A partir de los *sprites* cargados en el escenario del videojuego, GDevelop permite programar en la pestaña de eventos, las diferentes acciones o eventos que ocurren cuando estos *sprites* interactúan. A modo de ejemplo, en la Figura 5 se muestra el evento programado cuando el *sprite* que contiene el requisito (*sprite* nota) colisiona con el *sprite* que está asociado a la carpeta de requisitos funcionales (sprite rf).

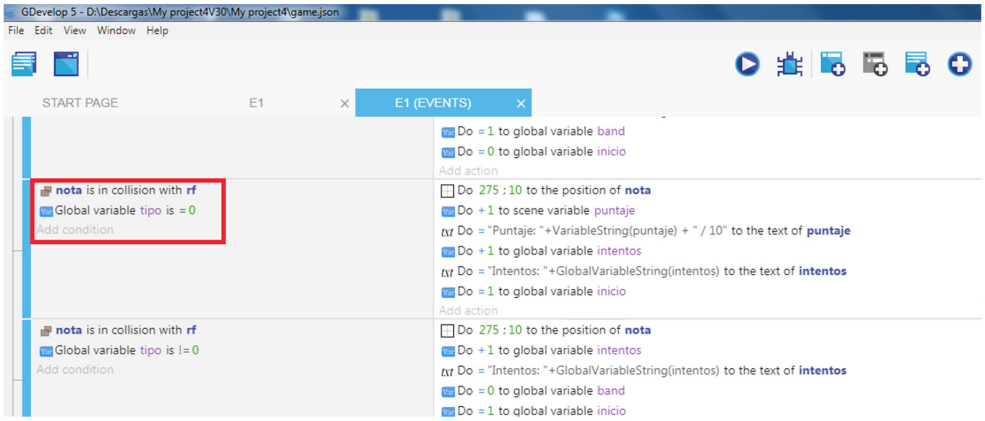


Figura 5 – Pestaña de manejo de eventos

El videojuego propuesto se encarga de escoger de manera aleatoria un conjunto de requisitos ya sean funcionales o no funcionales, previamente definidos. A partir del requisito escogido por el sistema de manera aleatoria, el jugador debe depositar dicho requisito en la carpeta adecuada, antes de que dicho requisito toque el suelo. A modo de ejemplo, en la Tabla 1 se muestra un fragmento de los requisitos cargados en el

videojuego y aportados por un conjunto de profesores del área de ingeniería de software a partir de los ejemplos usados en sus clases.

Tipo de requisito	Requisito
Requisitos funcionales	El sistema debe permitir el acceso mediante un login y password. El sistema debe generar un reporte mensual de ventas. El sistema debe llevar un registro de los clientes. El sistema debe permitir consultar los datos personales del cliente. El sistema debe permitir el registro de productos para la venta.
Requisitos no funcionales	La aplicación debe permitir la conexión de al menos 1000 usuarios de manera simultánea. La aplicación debe consumir menos de 500 MB de memoria RAM. El sistema debe estar en capacidad de recuperarse de un error en menos de 5 minutos. El sistema debe generar el reporte mensual de ventas en menos de 30 segundos. El sistema debe garantizar la protección de los datos de las ventas mediante el uso de criptografía.

Tabla 1 – Ejemplo de requisitos funcionales y no funcionales

5. Evaluación del videojuego

Con el propósito de evaluar la pertinencia del videojuego propuesto como herramienta de apoyo didáctico en los cursos de ingeniería de software, un grupo de profesores de cinco esta área y con experiencia en interacción humano computador evaluaron la usabilidad del juego, haciendo uso de un método de inspección guiado por las heurísticas de videojuegos propuestas por Pinelle, Wong, & Stach (2008). Una inspección de usabilidad es el nombre genérico para un conjunto de técnicas o métodos eficaces de evaluación de las interfaces de usuario con el objetivo de encontrar problemas de usabilidad, son muy informales y fáciles de usar. Este método consiste en la conformación de un grupo de expertos que analizan o inspeccionan una aplicación específica. Estos expertos realizan un informe comentando distintos aspectos de usabilidad de la aplicación, basándose en su experiencia en el área y teniendo en cuenta un conjunto de principios previamente definidos. Este informe es utilizado para realizar los cambios o ajustes necesarios en la aplicación y resolver los problemas indicados (Enriquez & Casas, 2013; Valentim & Conte, 2014).

Adicionalmente, la población para la evaluación de usabilidad del videojuego está conformada por 5 docentes de ingeniería de software con entre 5 y 8 años de experiencia en la enseñanza de esta área a nivel universitaria y con un nivel de conocimiento medio y/o en el área de interacción humano-computador en aspectos de usabilidad.

5.1. Heurísticas de la evaluación

En la Tabla 2 se presenta una descripción de cada una de las diez heurísticas propuestas por Pinelle, Wong, & Stach (2008) las cuales están enfocadas al diseño, construcción y evaluación de videojuegos. Estas heurísticas fueron obtenidas por los autores a partir del análisis y revisión de 108 reportes de problemas de usabilidad realizados en el portal GameSpot. Cabe resaltar que las heurísticas tratan de abordar las diferentes categorías de los videojuegos, por lo que en algún tipo de videojuego pueden no aplicar todas las heurísticas.

Heurística	Descripción
H1. Respuesta consistente a las acciones del usuario.	El videojuego debe responder de manera predecible a las diferentes acciones del usuario. Los movimientos del personaje, las colisiones y las leyes físicas se corresponden con el mundo real.
H2. Personalización de configuraciones multimedia.	El videojuego debe permitirle al usuario configurar las opciones de audio, video, la velocidad del juego y el nivel de dificultad.
H3. Comportamiento de las unidades controladas.	Las unidades tienen un comportamiento predecible y razonable dentro del videojuego, guardando relación con el mundo real.
H4. Vistas sin obstrucción para las acciones del usuario.	Se debe proporcionar vistas claras y libres de obstrucción. Debe tener la posibilidad de seleccionar la cámara más adecuada.
H5. Omisión de contenidos frecuentes y repetitivos.	El juego debe posibilitar al usuario la opción de omitir contenidos frecuentes y repetitivos que se presenten en diferentes momentos.
H6. Entradas intuitivas y personalizadas.	Las entradas con los que el usuario interactúa deben ser intuitivos y personalizables, con el fin de hacer más eficiente la interacción.
H7. Controles fáciles de gestionar.	Los controles de interacción con el juego deben tener el nivel de sensibilidad y respuesta que facilite la interacción del usuario.
H8. Información sobre el estado del juego.	El juego debe proporcionar al usuario información clara sobre el estado del juego (nivel, vidas, salud, armas, etc), la cual le permita cumplir los objetivos del juego de manera adecuada.
H9. Instrucciones, entrenamiento y ayuda.	La ayuda debe ser de fácil acceso y presentarse en forma clara. Se deben proveer niveles de entrenamiento que faciliten el aprendizaje del funcionamiento del juego.
H10. Representaciones visuales fáciles de interpretar.	Las representaciones visuales usadas por el juego deben ser fáciles de interpretar y acordes con la información del mundo real.

Tabla 2 – Heurísticas de usabilidad de Pinelle, Wong & Stach (2008)

5.2. Resultados de la evaluación de usabilidad

Una vez inspeccionado el cumplimiento de las diferentes heurísticas de usabilidad presentadas en la Tabla 2, se obtuvieron a partir de los comentarios de los profesores del área de ingeniería de software un conjunto de aspectos positivos y por mejorar del videojuego para la identificación y clasificación de requisitos de software (ver Tabla 3). Estos aspectos buscan contribuir a mejorar la usabilidad del videojuego y por ende el nivel de aceptación por parte de los estudiantes, de tal modo que el juego sea más cercano al usuario y pueda contribuir a mejorar las habilidades de los estudiantes en la clasificación de los requisitos funcionales y no funcionales.

Heurística	Comentarios
H1	El videojuego responde de manera consistente a las acciones del usuario, siendo posible obtener retroalimentación en cuanto al movimiento del requisito en pantalla hacia la derecha o hacia la izquierda. El botón iniciar y/o terminar del videojuego responde de manera adecuada a lo que el usuario espera que ocurra antes de presionarlo.
H2	El videojuego carece de las opciones para modificar la velocidad con la que el requisito desciende, y también de las opciones para configurar los efectos multimedia del mismo (deshabilitar la música de fondo y los efectos de sonido).

H3	Los diferentes objetos del videojuego se comportan en su mayoría guardando relación con el mundo real. Se puede mejorar la retroalimentación, agregando una animación al momento en que cada requisito es depositado en alguna de las carpetas de requisitos funcionales y no funcionales.
H4	El juego no presenta ninguna obstrucción visual en las diferentes interacciones que realiza el jugador.
H5	El juego carece de contenido frecuente y repetitivo como publicidad o videos alusivos al juego.
H6	El juego hace uso de entradas sencillas e intuitivas (flecha hacia la derecha y flecha hacia la izquierda) para el movimiento de los requisitos hacia la derecha o izquierda. El juego no permite la personalización de las teclas con las que el jugador interactúa. En este sentido se podría agregar dicha funcionalidad para configurar otras teclas comunes como (A y D).
H7	El juego no permite la configuración de la sensibilidad y el nivel de respuesta de los controles, sin embargo debido a su sencillez, presenta un tiempo de respuesta adecuado a las acciones del usuario.
H8	El juego presenta durante toda la interacción el número de intentos y el puntaje obtenido por el jugador. Con el fin de generar una mayor retroalimentación en el jugador, se sugiere que en el estado del juego se presente un indicador con el número de requisitos funcionales y no funcionales acertados.
H9	Si bien el juego es intuitivo y sencillo no presenta instrucciones de ayuda o manejo, por lo que se recomienda incluir esta opción. Se sugiere incluir una opción que muestre brevemente las definiciones de requisitos funcionales y no funcionales.
H10	Las representaciones visuales del juego son adecuadas y están relacionadas con el mundo real (carpeta de requisitos, post-it con el requisito aleatorio generado, etc.).

Tabla 3 – Comentarios de los evaluadores

6. Conclusiones y trabajos futuros

Los requisitos funcionales y no funcionales son conceptos fundamentales en la etapa de análisis del proceso de desarrollo de software, pues definen aspectos que se ven reflejados en el diseño y construcción del producto final. En este sentido es fundamental para los estudiantes de asignaturas de ingeniería de software y afines, reconocer, distinguir y clasificar claramente estos requisitos.

En este trabajo se propuso como aporte el diseño y construcción de un videojuego para el reconocimiento y diferenciación de requisitos funcionales y no funcionales. Este videojuego pretende servir como apoyo didáctico al docente de los cursos asociados a la ingeniería de software, con el fin de mejorar las habilidades de sus estudiantes en la identificación y definición de requisitos.

La metodología empleada para la construcción del videojuego de clasificación de requisitos, permitió identificar ciertos elementos claves a la hora de construir aplicaciones centradas en el usuario. En este sentido, en la fase de diseño además de posibilitar la definición de la lógica funcional del juego, se identificaron elementos que podían ser mejorados en la fase de construcción, como es el caso de la representación visual de las cestas de requisitos, las cuales se cambiaron por carpetas. Así mismo, en la fase

de evaluación del videojuego, orientada a una revisión de usabilidad, se identificaron diferentes aspectos funcionales a considerar para hacer más usable la aplicación, como resultado del análisis de las diez heurísticas, para el caso puntual del videojuego descrito en el presente artículo.

La evaluación realizada al videojuego permitió evidenciar según la opinión de los docentes expertos en ingeniería de software, que el juego es sencillo e intuitivo para la interacción con el usuario final. Sin embargo, es posible mejorar ciertos aspectos como la inclusión de las definiciones de requisito funcional y no funcional en la ayuda del juego, así como la discriminación en el puntaje de los aciertos en los dos tipos de requisitos. De este modo, la evaluación de usabilidad realizada busca refinar la calidad del prototipo generado con el fin de que resulte más cercano a los usuarios finales, en este caso los estudiantes del área de ingeniería de software, al momento de hacer uso de este videojuego en el aula en un escenario real.

La plataforma GDevelop demostró ser adecuada para el diseño y construcción de recursos que pueden ser utilizados en el aula de clase. Esta plataforma está dirigida a usuarios no expertos en programación y hace uso de programación orientada a eventos y acciones de manera gráfica, por lo que resulta intuitiva y con una curva de aprendizaje menor a la de los lenguajes de programación convencionales. Adicionalmente esta plataforma permite la exportación del videojuego a diferentes plataformas, aportando ventajas de portabilidad y flexibilidad.

Como trabajo futuro derivado de esta investigación se tiene: 1) incorporar en el videojuego las mejoras sugeridas por los docentes expertos y generar una nueva versión del videojuego, 2) aplicar esta nueva versión del videojuego en diferentes cursos de ingeniería de software para evaluar el aporte a nivel del aprendizaje en los estudiantes del área de ingeniería de software, y 3) incluir en el videojuego la clasificación de requisitos no funcionales en las subcategorías rendimiento, fiabilidad, exactitud, entre otras.

Referencias

Berzal, F. (2006). El ciclo de vida de un sistema de información. Granada-España: Universidad de Granada.

Borgida, A., Dalpiaz, F., Horkoff, J., & Mylopoulos, J. (2013). Requirements models for design- and runtime: A position paper. 5th International Workshop on Modeling in Software Engineering (MiSE) (págs. 62-68). San Francisco, CA, USA: IEEE.

Buitrón, S., Flores-Rios, B., & Pino, F. (2018). Elicitación de requisitos no funcionales basada en la gestión de conocimiento de los stakeholders. Revista Ingeniare, 26(1), 142–156.

Chung, L., & do Prado Leite, J. (2009). On Non-Functional Requirements in Software Engineering. En V. Chaudhri, G. P., & E. Yu, Conceptual Modeling: Foundations and Applications. Lecture Notes in Computer Science (págs. 363-364). Springer, Berlin, Heidelberg.

Cuartas, J. (2016). Creación de videojuegos con GDevelop. Bogota, Colombia: Fundación Universitaria Los Libertadores.

Durán, E. (2011). El uso del uml en la fase de análisis del proceso de desarrollo de un software educativo. Revista Ingeniería Solidaria, 7(12-13), 83–91.

Enriquez, J., & Casas, S. (2013). Usabilidad en aplicaciones móviles. Informe Científico Técnico UNPA, 25–47.

Gasca-Hurtado, G., Muñoz, M., Mejia, J., & Calvo-Manzano, J. (2014). Software Requirements Development: A Path for Improving Software Quality. Communications in Computer and Information Science, 425, 194–205.

Henriksen, D., Richardson, C., & Rohit, M. (2017). Design Thinking: A Creative Approach to Educational Problems of Practice. Thinking Skills and Creativity, 26, 140–153.

IEEE Std. 830-1998. (2008). Especificación de Requisitos según el estándar IEEE 830. Obtenido de https://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieee830.pdf

Jabangwe, R., Edison, H., & Nguyen, A. (2018). Software engineering process models for mobile app development: A systematic literature review. Journal of Systems and Software, 145, 98–111.

Laird, L. (2016). Strengthening the "Engineering" in Software Engineering Education: A Software Engineering Bachelor of Engineering Program for the 21st Century. IEEE 29th International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET) (págs. 128-131). Dallas-USA: IEEE.

Lauenroth, K., Kamsties, E., & Hehlert, O. (2017). Do Words Make a Difference? An Empirical Study on the Impact of Taxonomies on the Classification of Requirements. IEEE 25th International Requirements Engineering Conference (RE) (págs. 273-282). Lisbon: IEEE.

Mall, R. (2018). Fundamentals of Software Engineering. Delhi: PHI Learning.

Medina, J., Hernández, V., Alonso, L., & Solis, E. (2012). Análisis de Ingeniería de Requerimientos: Alta de Unidades de Aprendizaje en la UAI-Agro (México). Revista Vinculos, 25–40.

Melegati, J., Goldman, A., Kon, F., & Wang, X. (2019). A model of requirements engineering in software startups. Information and Software Technology, 109, 92–107.

Mutis, E. (2016). Diseño de una Aplicación dirigida al área de la salud para el control de agendamiento de citas y servicios domiciliarios médicos para pacientes. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.

Pérez-Ortega, I. (2017). Creación de Recursos Educativos Digitales: Reflexiones sobre Innovación Educativa con TIC. International Journal of Sociology of Education, 244–268.

Pinelle, D., Wong, N., & Stach, T. (2008). Heuristic Evaluation for Games: Usability Principles for Video Game Desing. CHI 2008 Proceedings - Game Zone, (págs. 1453-1462). Florencia-Italia.

Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What Is Design Thinking and Why Is It Important? Review of Educational Research, 82(3), 330–348.

Serrano, M., & Blázquez, P. (2015). Design Thinking - Lidera el presente, crea el futuro. Madrid: ESIC Editorial.

Valentim, N., & Conte, T. (2014). Improving a Usability Inspection Technique Based on Quantitative and Qualitative Analysis. Brazilian Symposium on Software Engineering (págs. 171-180). Maceio: IEEE.

Vetterli, C., Brenner, W., Uebernickel, F., & Petrie, C. (2013). From palaces to yurts: Why requirements engineering needs design thinking. IEEE Internet Computing, 17(2), 91–94.

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

Recebido/Submission: 09/03/2019
Aceitação/Acceptance: 11/06/2019

Estimación de la calidad de la experiencia del videostreaming desplegado sobre redes WiFi 5 definidas por software

Luis Eduardo Echeverry Londoño[1], Wilmar Yesid Campo Muñoz[2], Gabriel Elías Chanchí Golondrino[3]

leecheverryl@uqvirtual.edu.co, wycampo@uniquindio.edu.co, gchanchig@unicartagena.edu.co

[1, 2] Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

[3] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B - 192, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

Pages: 15–28

Resumen: El tráfico en internet se ha incrementado gracias al servicio de videostreaming cuyo consumo en su mayoría se realiza a través de dispositivos móviles desde los hogares, lugar donde por lo regular se hace uso de redes WiFi. Por tanto, se han impulsado nuevos estándares, que ofrecen mayor ancho de banda como es el WiFi 5, y que permiten la adaptabilidad de la infraestructura de red mediante las redes definidas por software SDN. Así, en este artículo se presenta la convergencia de estas dos tecnologías. Se construye una red emulada WiFi 5 SDN conformada por equipos reales y virtualizados, se emiten videos con diferentes códec a través de la red y se estima su QoE, mediante la métrica subjetiva de puntuación de opinión media MOS y objetivamente mediante la herramienta Evalvid. Así, Los experimentos permiten conocer el comportamiento de la red WiFi 5 SDN desde la perspectiva de la QoE.

Palabras-clave: Evalvid; MOS; QoE; videostreaming; WIFI 5 SDN.

Estimation of the quality of experience the video streaming deployed over WiFi 5 networks defined by software

Abstract: Internet traffic has increased thanks to the video streaming service whose consumption is mostly made through mobile devices from homes, where WiFi networks are regularly used. Therefore, new standards have been promoted, which offer greater bandwidth such as WiFi 5, and allow the adaptability of the network infrastructure through networks defined by SDN software. In this paper we present the convergence of these two technologies. We build a WiFi 5 SDN emulated network made up of real and virtualized equipment, videos with different codecs are emitted through the network and their QoE is estimated, by means of the subjective MOS mean opinion score metric and objectively by means of the Evalvid tool. Thus, the experiments allow to know the behavior of the WiFi 5 SDN from the perspective of the QoE.

***Keywords**:* Evalvid; MOS; QoE; video streaming; WIFI 5 SDN.

1. Introducción

En los últimos años se ha incrementado de manera notoria la cantidad de usuarios de internet, así mismo, cada vez se ofertan nuevas aplicaciones para la variedad de usuarios de internet. El incremento del consumo de contenido vía streaming en Latinoamérica en enero del año 2018, creció un 15% respecto del año anterior, además el consumo supera ampliamente a la televisión abierta (Elgabli & Aggarwal, 2018). Así mismo se estima que para el año 2021 se triplicará el tráfico de internet con respecto al generado en el año 2016, siendo el consumo de video uno de los grandes responsables de dicho aumento, ya que se calcula que para ese año alcanzará una cifra del 82 % del total del tráfico de la red (Cisco, 2015). Como consecuencia de esta alta demanda de tráfico se puede presentar congestión, además, se debe tener en cuenta que los datos de control también terminan sumándose al tráfico general de la red, causando en muchas ocasiones una mala calidad del servicio QoS (del inglés Quality of Service) y generando a su vez una mala percepción en los servicios por parte de los usuarios, esto es, una mala calidad de la experiencia QoE (del inglés Quality of Experience) (Nunes Astuto et al., 2014).

La QoS puede ser desglosada en cuatro polos. El primer polo trata las necesidades de QoS del cliente, mediante las cuales se define la calidad que se exige para un determinado servicio, se expresan en un lenguaje corriente. El segundo polo habla de la QoS ofrecida por el proveedor, en este caso se expresa mediante los valores especificados de los parámetros como el retardo, la variación del retardo, pérdida de paquetes o throughput. El tercer polo hace referencia a la QoS conseguida por el proveedor, que es en realidad la calidad real alcanzada y entregada al cliente, esta se mide mediante valores proporcionados a los parámetros del segundo polo. El último polo, donde se desarrolla esta investigación, hace alusión a la QoS percibida por el cliente, mediante la cual se dictamina el nivel de QoE que los clientes creen haber experimentado, esta se expresa en términos del nivel de satisfacción y no en terminología técnica (UIT-T, 2001).

En el año 2016 se calculó que en los años futuros la mayoría del tráfico multimedia de internet se transmitirá de forma inalámbrica (Cisco, 2015) y en el inicio del año 2018 se publicaron cifras que indican que el consumo de este tipo de contenido en su gran mayoría se realiza desde dispositivos móviles como celulares y tabletas, llegando a un 82 % del consumo multimedia total, mientras que los computadores llegan tan solo al 10 % (Elgabli & Aggarwal, 2018). Es en el hogar en donde más se consume el contenido multimedia, lugar en donde los dispositivos mencionados anteriormente, por lo regular hacen uso de una conexión inalámbrica de área local para consumir estos servicios (Flaithearta, Melvin, & Schukat, 2015).

Por lo anterior el instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos IEEE (del inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers) ha realizado investigaciones para aumentar las velocidades de transmisión, así en sus más recientes versiones presenta la capacidad de expandir su ancho de banda al doble de sus antecesores, alcanzando velocidades teóricas de hasta 1.3 Gbps, mediante el uso de tres flujos de información (Eng Hwee Ong et al.,

2011) con el estándar denominado en principio como IEEE 802.11ac y renombrado en el año 2018 como WiFi 5.

También la academia ha impulsado otro tipo de soluciones orientadas a contribuir sobre la gestión de las redes que permita un manejo más eficiente del plano de control y del plano de datos, así como también a mitigar el problema de la no adaptabilidad de la infraestructura de red desplegada. Con estos objetivos ha surgido un nuevo paradigma, las redes definidas por software SDN (del inglés Software Defined Networking). Una SDN es una arquitectura emergente que separa el plano de control del plano de datos, que permite la implementación e implantación de servicios de red de una manera dinámica, es gestionable, escalable y adaptable, razón por la cual es ideal para la naturaleza cambiante y de alto consumo de ancho de banda de las aplicaciones y servicios ofertados (Estrada-Solano, Ordonez, Granville, & Caicedo Rendon, 2017). Por lo anterior, se espera que el trabajo en conjunto de las tecnologías WiFi 5 y SDN permita afrontar los retos que trae consigo el aumento de los usuarios y su consumo de contenido multimedia, específicamente el consumo de videostreaming. Por ejemplo, en (Peng, He, Wang, & Kai, 2019) los autores proponen un esquema de selección de puntos de acceso para un escenario SDN-WiFi, los resultados muestran que se puede lograr un mejor rendimiento que los esquemas existentes, en términos de QoS.

Los aportes de este artículo son: la construcción de una red WiFi 5 SDN emulada que permita el consumo de un servicio de videostreaming bajo el protocolo de RTMP (del inglés Real Time Messaging Protocol) permitiendo así que converjan dos tecnologías como son WiFi y SDN; la estimación de la calidad de la experiencia mediante la métrica subjetiva de puntuación de opinión media MOS (del inglés mean opinion score) a partir de la Recomendación UIT-T P.911 (UIT, 2003). Como aporte al estado del arte se presenta la integración de la norma WiFi 5 con SDN y también con el framework Evalvid para la estimación objetiva de la QoE. Evalvid permite la codificación y comparación del video original versus el recibido a partir de lo cual se obtienen las diferencias a causa de su tránsito por la red (Shakir, Rehman, Abbas, Masood, & Shahid, 2016).

2. Metodología

En la figura 1, se muestra la arquitectura utilizada para el desarrollo de este artículo la cual está constituida por tres diferentes etapas. A continuación, se realiza la descripción de cada una de ellas.

2.1. Etapa uno

Esta etapa consta de un computador real, el cual se considera un dispositivo SDN puesto que se incluye con sus funcionalidades y su equipamiento real dentro del entorno de emulación y es administrado por el controlador SDN. Este computador aloja el servidor encargado de ofrecer el servicio de videostreaming. Para su implementación, se llevó a cabo la instalación de la herramienta y servidor HTTP NGINX (Li, Li, & Li, 2018), quien hace uso de la herramienta software OBS como interfaz gráfica y de transmisión, para enviar el contenido multimedia a todos los dispositivos conectados a la red.

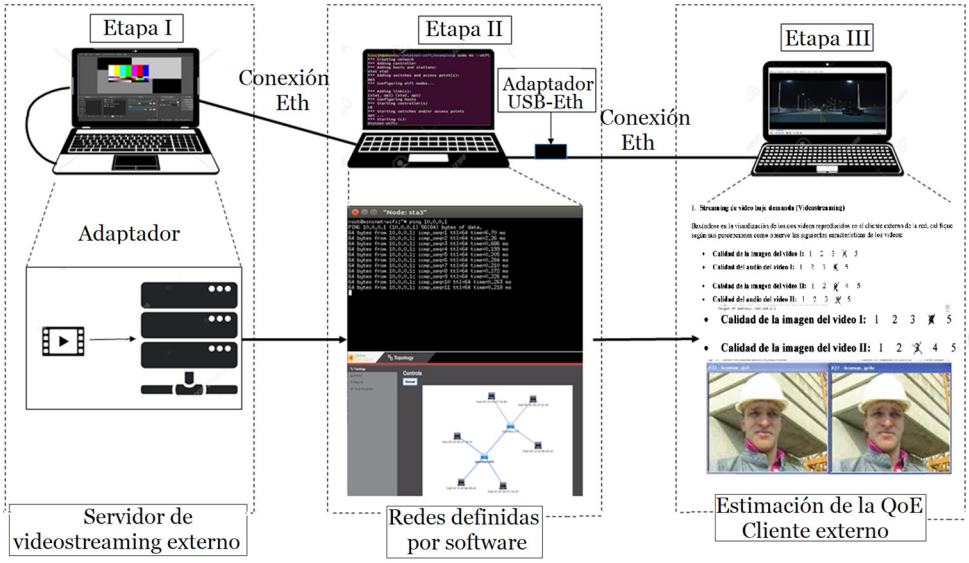


Figura 1 – Arquitectura para la estimación de la QoE en redes WiFi 5 SDN

Este servidor se comunica con la red SDN mediante una conexión de tipo ethernet, a través de la cual se realiza la distribución del contenido multimedia generado por NGINX. Para esta investigación el contenido de videostreaming corresponde a dos videos. El primer video denominado *Stole The Show feat* utilizado para el servicio de video bajo demanda VoD (del inglés video on demand) soportado por el protocolo RTMP cuya duración de la transmisión fue de 1 minuto y 30 segundos. El segundo video denominado *Foreman* que esta sin codificar el cual se entrega a la herramienta Evalvid que está implantada de manera distribuida entre el servidor de la etapa I y el cliente de la etapa III. Evalvid es programado para codificar a *Foreman* mediante tres códec diferentes y así poder comparar los resultados y determinar cuál de ellos presenta una mejor QoE.

2.2. Etapa dos

En esta etapa se observa un computador portátil en la parte superior, el cual es el encargado de alojar la red SDN y de permitir la inclusión a la infraestructura de red, tanto del servidor externo de la etapa I, como del cliente externo de la etapa III. Para llevar a cabo dicho proceso, se hace uso de la herramienta SDN Mininet-WiFi, en conjunto con el controlador ODL (del inglés OpenDaylight) y el Gestor OpenFlow OFM (del inglés Openflow Manager). La herramienta Mininet-Wifi proporciona los medios para llevar a cabo la emulación de los dispositivos de red tales como: puntos de acceso AP (del inglés access point), Switches, computadores anfitriones (host) y estaciones o dispositivos móviles. Además, permite la inclusión de los computadores portátiles reales a la infraestructura de red (los computadores de la etapa I y III).

El controlador ODL permite la gestión y el control de la SDN, encargándose con su lógica centralizada de toda la parte inteligente de la red, es decir, que es el encargado de la

manipulación del tráfico y de gestionar su paso por cada uno de los equipos implicados en la red, empezando por el servidor y terminando en el cliente externo. El controlador también se encarga de toda la gestión y de dictaminar como debe ejecutarse el tratamiento de los paquetes en los switches de la red. Por el lado de los AP el ODL cubre las características más importantes como el SSID (del inglés Service Set Identifier), el canal, el estándar 802.11, la contraseña, etc. Así, el controlador ODL sirve para establecer un puente entre el modelo tradicional de control de gestión de red y la arquitectura SDN, a través de capacidades de visibilidad y control mejorados que incluyen aspectos como; una topología y estado basados en una lógica centralizada para los recursos de red tanto físicos como virtuales, capacidades de monitorización sin interrupción que no afectan las comunicaciones, capa de abstracción de servicios dirigida al modelo YANG, que es el estándar de la industria para asignar aplicaciones de red a dispositivos subyacentes, una interfaz modular y estándar hacia el sur de gestión de red como OpenFlow, interfaces hacia el norte que exponen las capacidades SDN a las aplicaciones de red, al mismo tiempo que realiza la abstracción de la infraestructura subyacente.

El gestor OFM brinda las capacidades necesarias para manipular de forma centralizada las tablas de conmutación implícitas en los switches y AP de la red, permite establecer las reglas que serán entregadas al ODL para controlar el tráfico, de forma que se pueda restringir o habilitar en algunas secciones de la topología, a través de la creación de listas de control de acceso. Por otra parte, el OFM es una aplicación que llama a las API REST (del inglés Application Programming Interface Representational State Transfer) para recuperar el inventario de información del dispositivo Openflow y para la recopilación estadística de su comportamiento (Lee, Ko, Suh, Jang, & Pack, 2017).

Con la integración de estas herramientas, fue posible llevar a cabo la construcción de la red que hace parte del escenario de experimentación. En la figura 2 se muestra la topología de red WiFi 5 SDN que se implementó, la cual cuenta con dispositivos reales y emulados, conexiones cableadas reales y virtuales y, con conexiones inalámbricas virtuales.

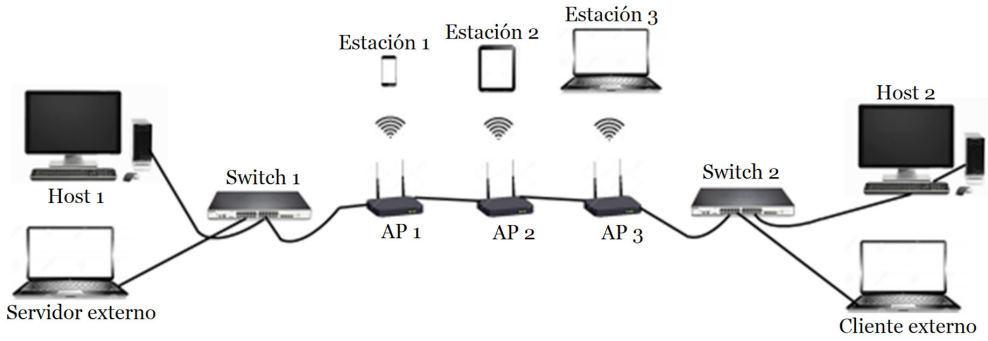


Figura – 2 Topología de red para los escenarios de emulación

La Etapa II, cuenta además con un dispositivo adaptador USB-Ethernet que permite la conexión cableada entre el computador portátil que aloja la red WiFi 5 SDN y el computador portátil externo, el cual realiza la estimación de la QoE.

2.3. Etapa tres

En la Etapa III de la arquitectura de red mostrada en la figura 1, se puede observar en la parte superior un computador portátil, en el cual se encuentra ubicado el reproductor multimedia VLC (del inglés VideoLAN Client) que consume los servicios ofertados por el servidor de Videostreaming NGINX después de transitar por la red WiFi 5 SDN. En esta etapa, en primera instancia se realiza la estimación subjetiva de la QoE, la cual se lleva a cabo mediante las percepciones y opiniones subjetivas de los usuarios de la red del video *Stole The Show feat*. Dichas percepciones se registran en un instrumento que arroja como resultado una calificación cuantitativa que representa el nivel de satisfacción del usuario con respecto a la reproducción del contenido.

En segunda instancia para la estimación objetiva de la QoE, se hace uso de la herramienta Evalvid con el video *Foreman*, el cual no cuenta con audio. Para la transmisión a través de la red WiFi 5 SDN el video se entrega en formato ".yuv" a la herramienta Evalvid que lo codifica mediante tres códec diferentes los cuales son: MPEG-4 parte 2, parte 2/H.263 y parte 10/H264. El video así codificado y transmitido corresponde a tres transmisiones diferentes y adicionales a las de la primera instancia, que permiten determinar bajo que códec se presenta una mejor estimación de la QoE.

3. Escenario de experimentación

Una vez realizadas las pruebas de conectividad entre todos los dispositivos de la SDN del escenario emulado, el controlador ODL ya cuenta con la información de todos los dispositivos implicados y la topología de red la cual se muestra a través de su interfaz gráfica, ver figura 3. En la figura 3 se puede observar la topología del escenario de experimentación completa, incluyendo los dos computadores portátiles en donde están

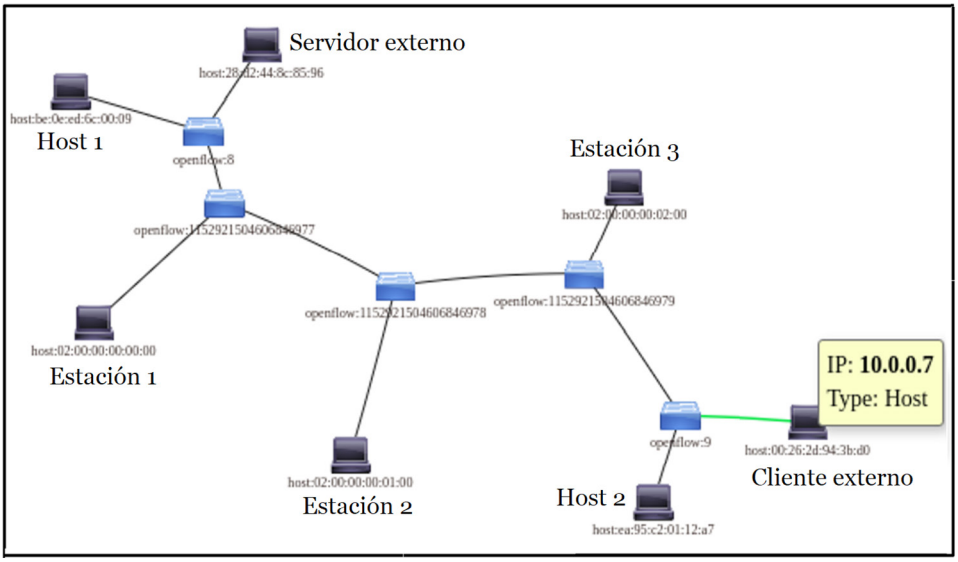


Figura 3 – Escenario de experimentación WiFi 5 SDN en la interfaz gráfica del ODL

alojados el servidor y el cliente externo. Las conexiones entre las estaciones y los AP son representadas por el controlador ODL como cableadas, debido que la versión utilizada no cuenta aún con el soporte para representar conexiones inalámbricas.

En la figura 4 se presenta la interfaz del OBS y la transmisión del video con el protocolo RTMP.

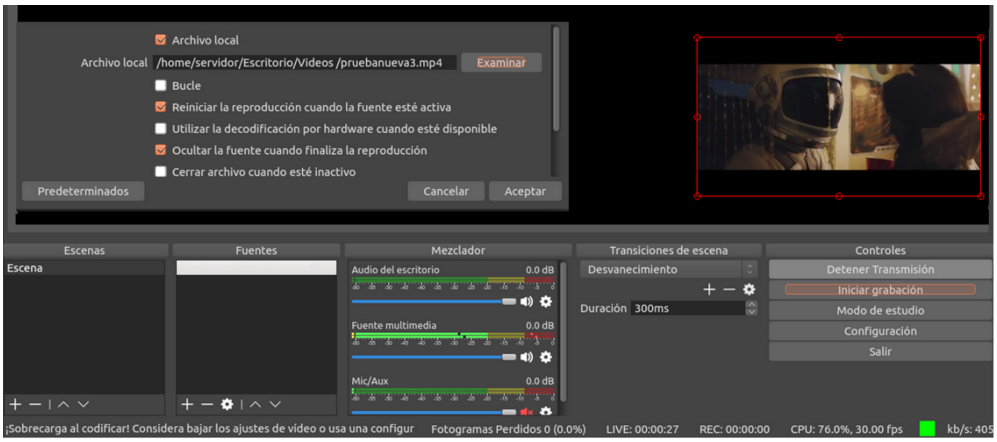


Figura 4 – Transmisión del Videostreaming con RTMP mediante NGINX y OBS

Sobre esta transmisión, se llevó a cabo una inspección con mayor detalle de las capacidades y funcionalidades que presenta el controlador ODL. Por ejemplo, en la figura 5 puede observarse que el ODL permite para los dispositivos de red tales como los AP y los switches, visualizar información estadística recopilada por el controlador, referente a los flujos de información que han pasado por un nodo en específico, para este caso en particular se presentan los datos estadísticos del AP 2 (la última fila) luego de realizar la transmisión del Videostreaming, desde la interfaz del controlador también se pueden obtener datos como la dirección MAC de los dispositivos de red, el nombre de la interfaz y el puerto de conexión.

Node Connector Id	Rx Pkts	Tx Pkts	Rx Bytes	Tx Bytes	Rx Drops	Tx Drops	Rx Errs	Tx Errs	Rx Frame Errs	Rx OverRun Errs	Rx CRC Errs	Collisions
openflow:1152921504606846978:1	24	1925	1768	353742	2	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1152921504606846978:LOCAL	0	116	0	11232	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1152921504606846978:3	4938	7331	434701	5998403	0	0	0	0	0	0	0	0
openflow:1152921504606846978:2	6941	5326	5930149	503634	2	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5 – Datos estadísticos del AP 2

Los dispositivos móviles, o referidos en este artículo como estaciones, también consumen el contenido multimedia transmitido por el servidor, esto puede verse en la

figura 6, en donde las estaciones 2 y 3 están reproduciendo dicho contenido, mediante el cliente VLC.

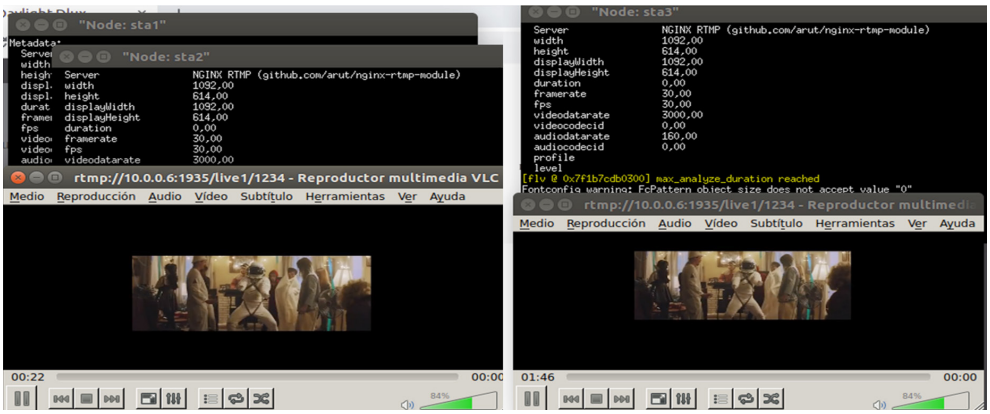


Figura 6 – Nodos virtuales (estación 1 y 3) consumiendo el servicio de Videostreaming

3.1. Métrica para la estimación de la QoE

Para estimar la QoE se implementó un modelo de evaluación subjetivo pasivo a través de una encuesta. Para esto se empleó la métrica MOS, dado que la calidad del audio y de la imagen del video, son completamente subjetivas. Para la implementación de la métrica MOS, se usó la escala ACR (del inglés Absolute Category Rating), que tiene asociado un método para la realización del experimento subjetivo, que consiste en presentar las secuencias de video una tras otra, cada una de las cuales se califica de forma independiente. Específicamente, este método establece que después de la presentación de una secuencia, el usuario debe calificar la calidad percibida (UIT-T, 2008) La encuesta se realizó con 19 usuarios de acuerdo a lo establecido en la Recomendación UIT-T P.911 y UIT-T P.800.2 (ITU-T, 2016), que establece la cantidad de participantes entre 4 y 40, además la recomendación establece que para un experimento de observación y escucha deben participar un mínimo de 15 usuarios (UIT-T 2008).

Para determinar la calidad del audio y la imagen del video, se parte de las condiciones establecidas por las recomendaciones UIT-T P.911 y UIT-T P.800.2, con las cuales se busca tener un ambiente controlado, especificando aspectos como: la distancia mínima y máxima en la que los usuarios deben estar de la pantalla, que para este caso fue de 1.5 m y 2.5 m respectivamente. La visibilidad directa con la pantalla en la que se reproduce el video, el control sobre el ruido generado por los usuarios, el tiempo de reproducción de las secuencias de video de exactamente 1 minuto y 30 segundos, y el tiempo de calificación de aproximadamente 15 segundos por pregunta. La escala obtenida se observa en la tabla 1.

El término calidad de la imagen del video incluye aspectos como: la definición y calidad de la imagen, la velocidad de reproducción, la continuidad en la reproducción y las pérdidas de pixeles en la reproducción. La calidad del audio del video, incluye aspectos como la claridad del sonido, el entendimiento de lo que se dice, la velocidad en la reproducción y la continuidad de la reproducción del audio.

Calificación promedio	Nivel de la calidad	Descripción
4, 5 – 5,0	Excelente	El usuario alcanza una satisfacción total con la visualización del contenido reproducido.
3,9 – 4,4	Bueno	El usuario alcanza una satisfacción buena con la visualización del contenido reproducido.
3,0 – 3,8	Aceptable	El usuario alcanza una satisfacción media, encontrando aspectos que no le gusto observar en la reproducción del contenido.
2,0 – 2,9	Pobre	El usuario alcanza una satisfacción baja, encontrando más aspectos que no le gusto observar, en comparación con los que le gustaron en la reproducción del contenido.
0,0 – 1,9	Mala	El usuario presenta una insatisfacción total con la reproducción del contenido.

Tabla 1 – Métrica para la estimación de la QoE

Para la estimación de la QoE mediante Evalvid se calcula la proporción máxima de señal a ruido PSNR (del inglés Peak Signal-to-Noise Ratio). Esta metodología requiere de una referencia, por lo que se necesita tanto el fichero de video recibido, como el fichero de video enviado. La medición de PSNR se pueden transformar a la escala MOS de acuerdo con la tabla 2 (Klaue, Rathke, & Wolisz, 2003).

PSNR (dB)	MOS
> 37	5
31 – 37	4
25 – 31	3
20 – 25	2
< 20	1

Tabla 2 – Conversión PSNR a MOS

4. Resultados y Análisis

En esta sección se presentan los resultados obtenidos con las pruebas realizadas para la estimación de la QoE para el video *Stole The Show feat* usando el servidor NGINX y los resultados de las transmisiones por videostreaming del video *Foreman*, el cual originalmente se encuentra en formato ".yuv" por lo que no se incluye audio. *Foreman* es codificado mediante la herramienta Evalvid y posteriormente es enviado a través de la red WiFi 5 SDN.

4.1. Resultado de las transmisiones de videostreaming mediante el protocolo RTMP

En la figura 7 se aprecian las calificaciones de los 19 usuarios para el video *Stole The Show feat* en cuanto a la calidad del video y del audio, para la transmisión de videostreaming mediante el servidor NGINX sobre la red WiFi 5 SDN.

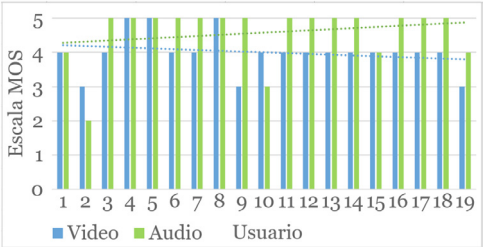


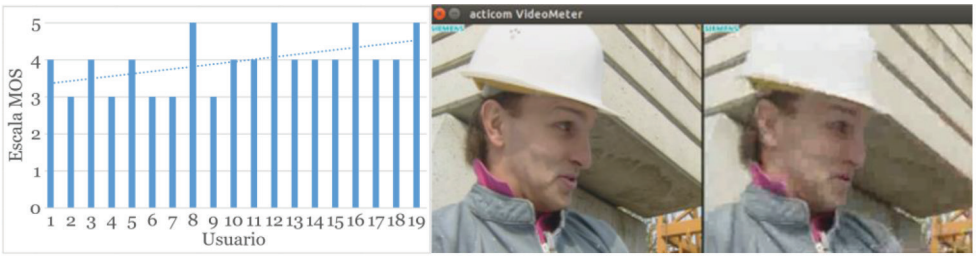
Figura 7 – Calificaciones de los 19 usuarios para el videostreaming sobre la red WiFi 5 SDN

De acuerdo a la figura 7, la calidad del video obtuvo una calificación promedio para la MOS de 4,0 y la calidad del audio obtuvo una calificación promedio para la MOS de 4,58. Con estos valores promedio y tomando como referencia la métrica MOS de la tabla 1, se establece que la calidad del video se ubica en un nivel bueno, mientras que la calidad del audio se ubica en un nivel excelente. Si se le da el mismo peso a la calidad del audio que a la calidad del video, para la transmisión de videostreaming sobre la red WiFi 5 SDN, se obtiene en promedio un valor de MOS de 4,29 que corresponde a un nivel bueno de acuerdo a la tabla 1.

4.2. Resultados de las transmisiones de videostreaming codificado en el formato MPEG-4 Parte 2

Para este caso Evalvid codifica a *Foreman* en formato MPEG-4 Parte 2 para su posterior transmisión. En la figura 8.a se aprecian las calificaciones de cada uno de los 19 usuarios para la calidad del video. En la figura 8.b se observa el video original versus el video recibido y reconstruido con Evalvid en el cliente externo, esto es, después de viajar a través de la red WiFi 5 SDN.

Con los valores de la figura 8.a, para la calidad del video se obtuvo una calificación promedio para los 19 usuarios de 3,95, este valor estima un nivel de QoE bueno de acuerdo a la tabla 1. Por otra parte, la PSNR arrojada por Evalvid tiene un valor promedio de 25,35 dB, que de acuerdo a la tabla 2 corresponde con una métrica MOS de 3, este valor de MOS estima un nivel de QoE aceptable de acuerdo a la tabla 1. Por lo tanto, las medidas subjetivas dieron una mejor valoración a la calidad del video respecto a la obtenida a través del método objetivo usando la herramienta Evalvid con una diferencia de un nivel (buena versus aceptable).

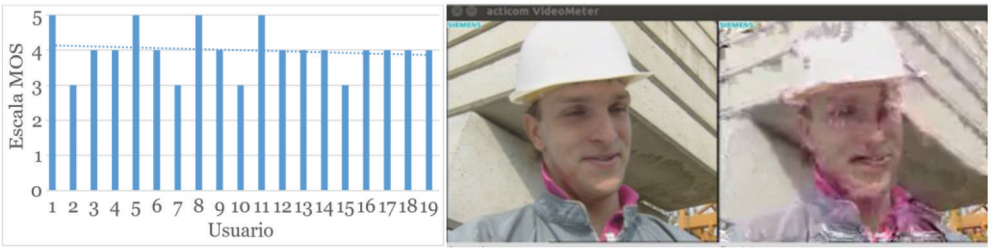


a) Calificaciones de los 19 usuarios b) Evalvid Video original vs video recibido.

Figura 8 – QoE para el video con códec MPEG-4 parte 2 sobre la red WiFi 5 SDN

4.3. Resultados transmisiones de videostreaming codificado en el formato MPEG-4 Parte 2/H.263

Para este caso Evalvid codifica a *Foreman* en formato MPEG-4 Parte 2/H263 para su posterior transmisión. En la figura 9.a se aprecian las calificaciones de cada uno de los 19 usuarios para la calidad del video. En la figura 9.b se observa el video original versus el video recibido y reconstruido con Evalvid en el cliente externo, esto es, después de viajar a través de la red WiFi 5 SDN.



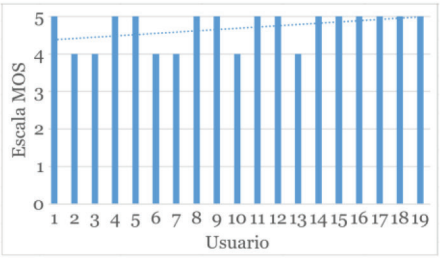
a) Calificaciones de los 19 usuarios. b) Evalvid video original vs video recibido.

Figura – 9 QoE para el video con códec MPEG-4 parte 2/H263 sobre la red WiFi 5 SDN

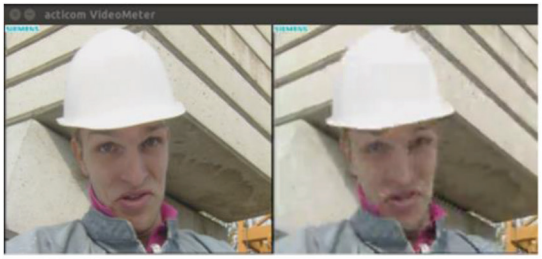
Con los valores de la figura 9.a, para la calidad del video se obtuvo una calificación promedio para los 19 usuarios de 4,0 este valor estima un nivel de QoE bueno de acuerdo a la tabla 1. Por otra parte, la PSNR arrojada por Evalvid tiene un valor promedio de 20,98 dB, que de acuerdo a la tabla 2 corresponde con una métrica MOS de 2, este valor de MOS estima un nivel de QoE pobre de acuerdo a la tabla 1. Por lo tanto, las medidas subjetivas dieron una mejor valoración a la calidad del video respecto a la obtenida a través del método objetivo usando la herramienta Evalvid, con una diferencia de dos niveles (buena versus pobre).

4.4. Resultados de las transmisiones de videostreaming codificado en el formato MPEG-4 Parte 10/H.264

Para este caso Evalvid codifica a *Foreman* en formato MPEG-4 Parte 10/H264 para su posterior transmisión. En la figura 10.a se aprecian las calificaciones de cada uno de los 19 usuarios para la calidad del video. En la figura 10.b se observa el video original versus el video recibido y reconstruido con Evalvid en el cliente externo, esto es, después de viajar a través de la red WiFi 5 SDN. Con los valores de la figura 10.a, para la calidad del video se obtuvo una calificación promedio para los 19 usuarios de 4,75 este valor estima un nivel de QoE excelente de acuerdo a la tabla 1. Por otra parte, la PSNR arrojada por Evalvid tiene un valor promedio de 28,67 dB, que de acuerdo a la tabla 2 corresponde con una métrica MOS de 3, valor que estima un nivel de QoE aceptable de acuerdo a la tabla 1. Por lo tanto, las medidas subjetivas dieron una mejor valoración a la calidad del video respecto a la obtenida a través del método objetivo usando la herramienta Evalvid, con una diferencia de dos niveles (Excelente versus aceptable).



a) Calificaciones de los 19 usuarios



b) Evalvid video original vs video recibido

Figura – 10 QoE del video con códec MPEG-4 Parte 10/H.264, sobre la red WiFi 5 SDN

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

Luego de realizar la implementación y puesta en funcionamiento del escenario de experimentación se pueden ver las ventajas que presenta la arquitectura de red SDN mediante software libre como es el controlador OpenDaylight ODL y el OpenFlow Manager OFM. Gracias a estas herramientas de SDN es posible tener una visión general de toda la topología de red, esto es, red cableada y red inalámbrica, pudiendo tener un control basado en una lógica centralizada, que permite llevar acabo procesos de gestión de la red como la visualización de estadísticas desde un solo punto, sin la necesidad de implantar en cada dispositivo agentes o gestores para llevar acabo las acciones que deseen ejecutarse.

La herramienta de SDN Mininet-WiFi demostró ser lo suficientemente robusta, puesto que permitió la implementación de una de las nuevas normas de WiFi, como es la norma 802.11ac renombrada desde el 2018 como WiFi 5. Además, permitió la construcción de un entorno de emulación para el consumo en tiempo real del servicio de videostreaming, combinando elementos reales y virtualizados.

Respecto a la estimación de la QoE se pudo determinar que la norma WiFi 5 sobre SDN en conjunto con el códec de video MPEG-4 parte 10/H.264 fue la que mejor calificación obtuvo, tanto para la estimación de la QoE subjetiva como objetiva. De acuerdo a la valoración de los usuarios alcanzo una calificación de excelente y de acuerdo a Evalvid alcanzo una calificación de aceptable. En tanto que para el videostreaming transmitido por NGINX, donde se realizó la estimación de la QoE subjetiva alcanzo un nivel de bueno para el video y de excelente para el audio.

La estimación subjetiva de la QoE pudo determinar que para las transmisiones de videostreaming codificado en el formato MPEG-4 parte 2 y 2/H.263 se posicionó en un nivel bueno con una MOS 3,95 y 4,0 respectivamente y para el formato MPEG-4 parte 10/H.264 se posicionó en un nivel excelente con una MOS de 4,75. Sin embargo, no se puede decir lo mismo si se tiene en cuenta la estimación objetiva de la QoE mediante la herramienta Evalvid donde los valores de la MOS obtenidos fueron 3, 2 y 3 para los formatos MPEG-4 parte2, 2/h263 y 10/H264 respectivamente. Estas diferencias entre los usuarios y la herramienta Evalvid se pueden atribuir a que para los primeros tiene impacto el lugar donde los pixeles se pierden, mientras que para la herramienta no.

Como trabajo futuro se propone desarrollar un controlador SDN, capaz de configurar los AP dependiendo del número de disp.-ositivos que tenga conectados, usando el controlador ODL y su complemento CAPWAP (Control And Provisioning of Wireless Access Points).

Referencias

Cisco. (2015). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2015-2020. *Forecast Methodol.*, 22.

Elgabli, A., & Aggarwal, V. "GroupCast: Preference-aware cooperative video streaming with scalable video coding," *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, Honolulu, HI, 2018, pp. 616-621.

Eng Hwee Ong, Kneckt, J., Alanen, O., Chang, Z., Huovinen, T., & Nihtila, T. (2011). IEEE 802.11ac: Enhancements for very high throughput WLANs. In *2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications* (pp. 849–853). IEEE. https://doi.org/10.1109/PIMRC.2011.6140087

Estrada-Solano, F., Ordonez, A., Granville, L. Z., & Caicedo Rendon, O. M. (2017). A framework for SDN integrated management based on a CIM model and a vertical management plane. *Computer Communications*, *102*, 150–164. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.08.006

Flaithearta, P., Melvin, H., & Schukat, M. (2015) A QoS enabled multimedia WiFi access point. Int. J. Network Mgmt, 25: 205– 222. doi: 10.1002/nem.1895.

ITU-T. (2016). Recommendation ITU-T-P.800.2 : Mean opinion score interpretation and reporting.

Klaue, J., Rathke, B., & Wolisz, A. (2003). *EvalVid-A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation*. Retrieved from https://www.eecs.tu-berlin.de/fileadmin/fg112/Papers/evalvid.pdf

Lee, J., Ko, H., Suh, D., Jang, S., & Pack, S. (2017). Overload and failure management in service function chaining. In *2017 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft)* (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/NETSOFT.2017.8004241

Li, R., Li, Y., & Li, W. (2018). An Integrated Load-balancing Scheduling Algorithm for Nginx-Based Web Application Clusters. *Journal of Physics: Conference Series*, *1060*(1), 012078. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1060/1/012078

Nunes Astuto, B., Mendonça, M., Nam Nguyen, X., Obraczka, K., Turletti, T., Astuto Nunes, B. A., Nguyen, X.-N. (2014). A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks, *16*(3), 1617–1634. https://doi.org/10.1109/SURV.2014.012214.00180

Peng, M., He, G., Wang, L., & Kai, C. (2019) "AP Selection Scheme Based on Achievable Throughputs in SDN-Enabled WLANs," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 4763-4772.

Shakir, M., Rehman, O. U., Abbas, Z., Masood, A., & Shahid, W. (2016). Evaluation of Video Quality in Wireless Multimedia Sensor Networks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, *6*(1), 223–234. https://doi.org/10.11591/ijece.v6i1.7573

UIT-T. (2001) "G.1000 Calidad del servicio en las comunicaciones: marco y definiciones.," *Ser. G Sist. Y MEDIOS Transm. Sist. Y REDES Digit. Calid. Serv. y Transm.*, pp. 58–60, 2001.

UIT-T. (2008). UIT-T P.910: "Métodos subjetivos de evaluación de la calidad vídeo para aplicaciones multimedios". Pp. 13. 2008.

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

Recebido/Submission: 15/03/2019
Aceitação/Acceptance: 28/06/2019

Aplicación móvil en los ambientes educativos en Ecuador: "Monitoreando tareas y Asistencia en tiempo Real"

Lady M.Sangacha-Tapia[1], Eleanor Varela-Tapia[2], Jenny A.Ortiz-Zambrano[3], Isaakc Ortiz Aguirre[4], Lissette G.Masabanda-Campoverde[5], William S.Ferruzola-Duque[6]

lady.sangachat@ug.edu.ec, eleanor.varelat@ug.edu.ec, jenny.ortizz@ug.edu.ec, Isaakc.ortiza@ug.edu.ec, lissette.masabandac@ug.edu.ec, william.ferruzolad@ug.edu.ec

[1] Directora de proyecto de desarrollo, Universidad de Guayaquil, 593, Guayaquil, Ecuador.

[2] Investigador secundario 1 desarrollo, Universidad de Guayaquil, 593, Guayaquil, Ecuador.

[3] Investigador secundario 2 diseño, Universidad de Guayaquil, 593, Guayaquil, Ecuador.

[4] Analista de datos estadísticos, Universidad de Guayaquil, 593, Guayaquil, Ecuador.

[5] Estudiante 1 base de datos, Universidad de Guayaquil, 593, Guayaquil, Ecuador.

[6] Estudiante 2 aplicativo móvil, Universidad de Guayaquil, 593, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 29–40

Resumen: El uso de los Smartphone esta a la vista y uso de todos, conteniendo aplicaciones llamados apps que permiten facilitar las actividades del ocio, ámbito profesional o educativo. En el campo de la educación ecuatoriana todavía existe la falta de participación de los padres en el desarrollo de enseñanza de sus hijos donde muchas veces no copian ni transcriben lo dictado. Por tal razón se pretende conocer una aplicación móvil de fácil acceso que podrá monitorear en tiempo real las actividades escolares brindando un apoyo en el servicio educativo de calidad a la sociedad en general, con métodos de investigación y scrum (desarrollo de software). Se determino un mejor control de tareas, asistencias y comunicación entre el representante, representado de 7 a 9 años y profesor de forma significativa, la aplicación tuvo una gran aceptación entre los participantes, demostrando que es una herramienta que aporta en el proceso de aprendizaje.

Palabras-clave: Teléfono-inteligente, aplicaciones-móviles, estrategias-aprendizaje, plataformas, computadora-educación.

Aplicación móvil en los ambientes educativos en Ecuador: "Monitoreando tareas y Asistencia en tiempo Real"

Abstract: The use of the Smartphone is in sight and use of all, containing applications called apps that allow to facilitate leisure activities, professional or educational. In the field of Ecuadorian education there is still a lack of parental involvement in the development of their children's education where they often do

not copy or transcribe what has been dictated. For this reason it is intended to know an easy-to-access mobile application that will be able to monitor school activities in real time by providing support in quality educational service to society in general, with research and scrum methods (software development). It was determined a better control of tasks, assists and communication between the representative, represented from 7 to 9 years and teacher in a meaningful way, the application had a great acceptance among the participants, demonstrating that it is a tool that contributes in the learning process.

***Keywords**:* Smart-phone, mobile-applications, learning-strategies, platforms, computer-education

1. Introducción

Existen dos escenarios de incorporación de nuevo conocimiento para las organizaciones: 1) la adaptación del nuevo conocimiento creado de manera informal por sus propios actores y procesos, y 2) la adopción de un nuevo conocimiento que es ajeno a las estructuras institucionales (Escudero Nahón, 2017). La tecnología tiene distintos medios o formas para poder realizar el proceso de adaptación y adopción que permite un mayor desarrollo en el servicio de educación de las instituciones que adoptan las nuevas tecnologías como se ha realizado en las instituciones financieras que invierten a plataformas tecnológicas (Rossi, 2018). La presencia de ello aporta a los estudiantes para su desarrollo estudiantil, por lo tanto, es necesario mejorar el aprendizaje educativo y una de las forma es la participación por medio de un aplicativo móvil que facilitara el control de tareas, asistencia y las comunicaciones de actividades de la escuela obteniendo estadísticas que se podrán relacionar con el rendimiento académico de los estudiantes (Basantes et al., 2017).

Para conocer el impacto del uso de la aplicación se escogió una escuela de sur este de Guayaquil de Ecuador “Ciudad de Ariel” donde utiliza una hoja elaborada que contempla el listado de los estudiantes con sus fechas de asistencia que tiene que ser llenada primero a mano y luego digitalizarla tomándose mucho tiempo para obtener los resultados. Para poder sanear este problema se han creado diferentes mecanismos o estrategias, las cuales no cubren todas las necesidades de mejorar la asistencia de los estudiantes. Otro problema que se presenta con mucha frecuencia en esta institución es que los estudiantes, especialmente de nivel de educación básica de Ecuador no transcriben correctamente las tareas enviadas por el profesor, lo que conlleva a presentar molestias tanto a los padres como profesores.

El instituto nacional de evaluación de Ecuador indica por medio de inec (Instituto Nacional de Estadística y Censos) que “El objetivo de la EGB es desarrollar las capacidades, habilidades, destrezas y competencias de los niños y adolescentes desde los 5 años de edad en adelante, propiciando una participación universal de forma crítica, responsable y solidaria en la vida de los ciudadanos, permitiendo la continuidad de la trayectoria escolar de los estudiantes en el bachillerato” (Spencer, Restrepo, Javier, & Reyna, s/f). “La EGB está compuesta por diez años de atención obligatoria en los que se refuerzan, amplían y profundizan las capacidades y competencias adquiridas en la etapa anterior, y se introducen las disciplinas básicas garantizando su diversidad cultural y lingüística” (LOEI, 2011).

La tecnología informática ha tenido un desarrollo muy rápido y a su vez se ha hecho más accesible. El internet y los dispositivos móviles son los que presentan mayores avances, tal es el caso que se han desarrollado Smartphones que asimilan la funcionalidad de una computadora de forma mas rápida, en el procesamiento, la administración de los recursos, el acceso a internet, etc ya sea para varios campos como en la salud como en la educación (García De Ribera et al., 2014). Este desarrollo de la tecnología fusiona la tecnología con la educación a las actividades de los seres humanos (Jiménez-Saavedra, 2014).

Haciendo uso de las actuales tecnologías, se plantea una solución de mejora para automatizar el proceso del envío de tareas, comunicados y el control de asistencia con el desarrollo de un aplicativo móvil (Android) llamado "ESCUAPP", que ayudará a la comunidad de aprendizaje en genera (Baeza, s/f).

En vista de que la institución particular educativa nivel primario "Ciudad de Ariel" no cuenta con una herramienta que le permita mitigar los problemas mencionados con anterioridad, se propone una aplicación que permita una mejor gestión de los procesos antes mencionados que permitirá mejorar y automatizar el desarrollo de las actividades internas y a su vez un crecimiento en la calidad de la educación prevista.

Para cumplir con este fin se utilizó la plataforma de desarrollo Android Studio ya que es el IDE oficial del desarrollo de aplicaciones móviles, diseñada para dispositivos móviles con sistema operativo Android 4.0 o hasta 6.0, que cuenten con conexiones inalámbricas. En la aplicación se manejan dos perfiles: Personal Profesor y Representantes (padres), en el primer perfil la aplicación permite el registro de asistencia y el envío de tareas de los estudiantes asignados al profesor, en el segundo perfil la aplicación permite la visualización de las asistencias y faltas de los estudiantes mediante gráficos estadísticos, además de la recepción y visualización de las tareas enviadas por el personal profesor, adicionalmente la aplicación le permite al administrador obtener un reporte de las asistencias de los estudiantes para realizar el correspondiente análisis o cualquier otra actividad que necesiten realizar con los datos obtenidos de la aplicación. De una población de 17 maestros y mas de 220 padres de familia, se seleccionaron 9 profesores y 10 usuarios para las pruebas de aceptación, usabilidad, rapidez y satisfacción del aplicativo móvil, las cuales el 80% es fácil de usar, 70% brinda mucha confianza en la gestión de la información, el 89,9% es rápido, 70% de señalan que están muy satisfechos con el rendimiento del aplicativo.

2. Uso de los medios electrónicos en la comunicación

Los diversos medios electrónicos con los que se cuenta en la actualidad han facilitado la comunicación en los campos que adoptan estos medios, entre los campos que han obtenido más beneficios con la implementación de estos medios están: el campo empresarial, educativo y médico, siendo el educativo el que adopta mayores tecnologías de comunicación ya sean redes sociales, aplicaciones, etc (Zhao et al., 2019). Es importante el aprendizaje en el manejo adecuado de aplicaciones pedagógicas y didácticas, como también en la adopción de nuevas aplicaciones que permitan la organización y la clasificación de la información, que propicien el desarrollo de habilidades de síntesis, análisis, deducción, argumentación y toma de decisiones. La misma que se puede utilizar las aplicaciones móviles como estrategia de educación. Actualmente estamos inmersos

en un mundo tecnológico, ya sea con el uso de dispositivos móviles, laptop, la educación también están inmerso en este ámbito ya sea con la implementación de pizarras táctiles, el uso de aplicaciones asistencia, que aportan en el aprendizaje por el alto uso de ella (Silva Calpa & Martínez Delgado, 2017). En el mercado existen muchas aplicaciones con estas funcionalidades ya sean empresariales o educativas, las cuales se asemejan a la propuesta en este proyecto, dicha aplicación tiene características que hacen que se diferencie de las otras, las cuales se detallan a continuación.

NOMBRE	Móvil o Escritorio	Sistema Web	FREE	Ámbito de Aplicación	Integra Modulo de Asistencia y Envío de Tareas
Alexia	Móvil	Si	No	Educativo	No
Abra	Escritorio	No	No	Empresarial	No
Bioadmin Presencia Plus	Escritorio	No	No	Empresarial	No
Iteacherbook	Móvil	No	No	Educativo	No
Escuapp	Móvil	Si	Si	Educativo	Si

Figura 1 – Cuadro comparativo con aplicaciones similares en el mercado

3. Método y metodología

Teniendo en cuenta que el objetivo general de este articulo es dar a conocer un aplicativo móvil que aportara en el monitoreo de las tareas, asistencias y la mejora de la comunicación entre padres de familia y profesores en beneficio del desarrollo académico del niño por medio de 2 metodología, la primera que hace referencia a metodología de investigación descriptiva y cuantitativa y la segunda de desarrollo SCRUM (Etimológicamente, la palabra Scrum hace referencia a un término usado en el rugby. No se trata de una abreviación o sigla, sino que significa gestión ágil de proyectos).

En la primera metodología se utilizó como instrumento de medición un cuestionario virtual de forma Likert, que se remitió por correos electrónicos, redes sociales o físico. Para determinar la muestra se contemplo con la colaboración de la autoridad del instituto de 224 estudiantes mas 200 representantes de familia y 16 profesores en base a la población de 33´372.493 estudiantes de educación general básica llamada EGB del Ecuador como lo da a conocer el INEC.

En la segunda metodología de desarrollo del aplicativo móvil se aplicó las siguientes fases:

1. Fase 1: Levantamiento de información
2. Fase 2: Análisis en base a los resultados de la medición del instrumento del cuestionario.

3. Fase 3: Desarrollo del aplicativo
4. Fase 4: implementación, pruebas y corrección

Para mas detalle a continuación se explicara la arquitectura, caso de uso, arquitectura de aplicación etc que presenta a continuación:

3.1. La arquitectura

Para el desarrollo de la aplicación se empleó la metodología de desarrollo Scrum, un framework iterativo, rápido, eficaz, flexible y con altos índices de adaptabilidad al cambio, modelo que se entregó el valor al cliente durante todo el proceso de desarrollo del proyecto. La satisfacción de las necesidades del cliente es el enfoque primordial de esta metodología a través del progreso continuo. Los instrumentos para obtener el análisis de aceptación, usabilidad, rapidez y satisfacción del aplicativo móvil fue por medio de encuestas después de usar el aplicativo.

3.2. Caso de Uso

Los casos de uso describieron la secuencia de eventos que los actores realizaron al momento en que se lleva a cabo un proceso en el sistema que facilita el entendimiento del sistema (Arias Chaves, 2006). Los actores que hicieron usos del sistema de envío de tareas y registro de asistencia han sido clasificados de acuerdo a las funciones que cumplen en el sistema.

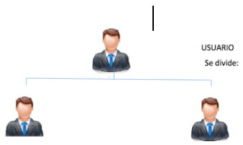


Figura 2 – Roles Usuario Padres y Usuario Profesor
Elaborado por: William Ferruzola y Lissette Masabanda
Fuente: Datos de Investigación

CASO DE USO:

Actores	**Teacher**
Descripción	Se encarga de realizar la toma de asistencia de los estudiantes asignados en cada curso al personal profesor realizado desde el dispositivo móvil.
Precondición	Existan estudiantes y cursos asignados al usuario.
Flujo Básico	1. El usuario selecciona el curso, fecha y materia al que desea realizar el proceso de toma de asistencia. 2. El aplicativo muestra un listado de los estudiantes asociados al curso seleccionado. 3. El usuario ingresa los datos correspondientes a las asistencias de los estudiantes y graba dicha información. 4. El aplicativo verifica si la información destinada para su almacenamiento es nueva o modificada y según sea el caso la almacena.

Actores	**Teacher**
Flujo Alterno	En caso de que no esté asignado estudiantes al curso seleccionado se indicara mediante un mensaje de error que se mostrara en la pantalla. En el caso de que sea nueva la información ingresada de las asistencias se creara una nueva tabla en la cual se almacena información con su estado correspondiente. En el caso de que la información corresponda a una modificación de la misma se procederá a actualizar en la tabla correspondiente.

Tabla 1– Caso de uso de toma de asistencia

Actores	**Teacher**
Descripción	Se encarga de realizar el envío de tareas de los estudiantes asignados en cada curso al personal profesor realizado desde el dispositivo móvil.
Precondición	Existan estudiantes y cursos asignados al usuario.
Flujo Básico	1. El usuario escoge la opción de Tareas. 2. El usuario selecciona el curso al que desea realizar el proceso de envío de tareas. 3. El sistema muestra un listado de los estudiantes asociados al curso seleccionado. 4. El usuario selecciona la casilla “todos”. 5. El usuario selecciona la opción “Envío”. 6. El sistema muestra un formulario con los datos relacionados a las tareas. 7. El usuario selecciona la opción “enviar”. 8. El sistema muestra un mensaje de éxito. 9. El sistema verifica si la información destinada para su almacenamiento es nueva o modificada y según sea el caso la almacena.
Flujo Alterno	En caso de que no esté asignado estudiantes al curso seleccionado se indicara mediante un mensaje de error que se mostrara en la pantalla. En el caso de que sea nueva la información ingresada de las tareas el sistema almacena la información con su estado correspondiente.

Tabla 2 – Envío de tareas

Actores	**Padres de familia**
Descripción	Se encarga de realizar la consulta de tareas de los estudiantes. asignados a los padres realizado desde el dispositivo móvil.
Precondición	Existan estudiantes asignados al usuario..
Flujo Básico	1. El usuario escoge la opción de Tareas. 2. El sistema muestra un listado de las tareas de los estudiantes asociados a ese representante. 3. El usuario selecciona la tarea que desea realizar la consulta. 4. El sistema muestra los datos relacionados a las tareas.
Flujo Alterno	En caso de que no esté asignado estudiantes al curso seleccionado se indicara mediante un mensaje de error que se mostrara en la pantalla. En el caso de que sea nueva la información ingresada de las tareas el sistema almacena la información con su estado correspondiente.

Tabla 3 – Consulta de tareas

Actores	**Director (Administrador).**
Descripción	Se encarga de cargar los datos relacionados a los profesors, cursos y estudiantes necesarios para permitir el proceso de toma de asistencia y envío de tareas desde el dispositivo móvil.
Precondición	El usuario haya ingresado a la aplicación.
Flujo Básico	1. El usuario realiza el ingreso de los datos necesarios para la operatividad de la aplicación. 2. El sistema muestra un listado de los estudiantes asociados al curso seleccionado. 3. El usuario ingresa los datos correspondientes a las asistencias de los estudiantes y graba dicha información.
Flujo Alterno	En caso de que no esté asignado estudiantes al curso seleccionado se indicara mediante un mensaje de error que se mostrara en la pantalla. En el caso de que sea nueva la información ingresada de las asistencias se creara una nueva tabla en la cual se almacena información con su estado correspondiente. En el caso de que la información corresponda a un modificación de la misma se procederá a actualizar en la tabla correspondiente.

Tabla 4 – Carga de dato móvil

3.3. Arquitectura de la aplicación

Se desarrolló en aplicación es MVP (Model View Presenter) en la cual se separó la lógica del negocio de la Vista permitiendo tener un mejor análisis del desarrollo, además de facilitar la testabilidad. La utilización de esto fue el patrón arquitectónico se utiliza generalmente para crear interfaces de usuario, en este proyecto podemos identificar las tres capas de este modelo: Model: Esta capa se encarga de administrar los datos, está conectada a la base de datos MySQL que almacena la información de los estudiantes, personal profesor, representantes, etc. La cual es utilizada para alimentar a la aplicación con los datos necesarios para su funcionalidad (Suehring, 2002). View: Esta capa es la encargada de recibir los datos de entrada y mostrar el resultado a los usuarios, en la aplicación móvil "ESCUAPP" las pantallas son las encargadas de realizar este proceso utilizando Fragments, Activies, Holders y Adapters, los cuales para la ejecución del proceso. Controller: Esta capa se comprendió por objetos, se encargo de configurar la vista de asistencia que son utilizados en los eventos enviados desde la capa View (Fragments, Activies).

3.4. Arquitectura MVP

MVP es una arquitectura que buscó segmentar el código en tres capas las cuales permitieron tener un mejor análisis del desarrollo, además que facilitó el testeo de las características del software.

Hardware	**Descripción**
Dispositivo	Samsung Galaxy smart phone
Procesador	ARM Mali-400 MP.
Memoria	RAM 2 GB

Hardware	Descripción
Cámara	frontal de 2 megapixels
Tamaño	1080 x 1920 pixels, 4.99 pulgadas
Dimensiones	136.6 x 69.8 x 7.9 mm
Peso (g)	130g
Sistema Operativo	Android

Tabla 5 – Requerimientos del hardware utilizado

3.5. Android Studio

Android Studio es la plataforma oficial que se desarrolló en la aplicación móvil para Android esto debido a que reemplazo a Eclipse el cual era el IDE oficial hasta el 2013. Google lo recomienda como el IDE oficial para el desarrollo de aplicaciones para su sistema operativo.

Características: Ofreció soporte para el desarrollo de aplicaciones con sistema operativo para dispositivos corporales “Android Wear”. Lint. Este tipo de herramientas nos permiten detectar códigos que no sean compatibles entre las diferentes arquitecturas.

3.6. Procedimientos

Una vez terminado la fase de desarrollo se procedió a instalar en los teléfonos móviles de los docentes, incluyendo Tablet con sistema operativo Android, días después con la ayuda del director de la escuela se convoco a los padres de familias de 3 cursos para dar a conocer del aplicativo móvil.

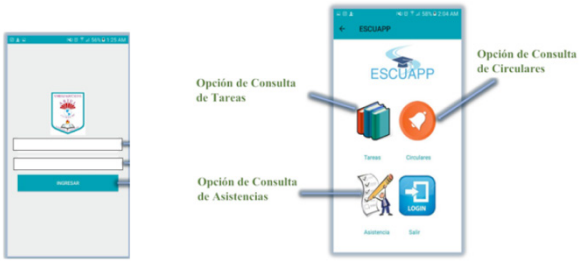


Figura 3 – Ingreso al aplicativo, con el usuario Padre de familia

Debido a la demanda de padres de familia se indico que podían descargarlo por medio del APPS y luego instalarlo en sus celulares para que puedan interactuar del uso de ello.

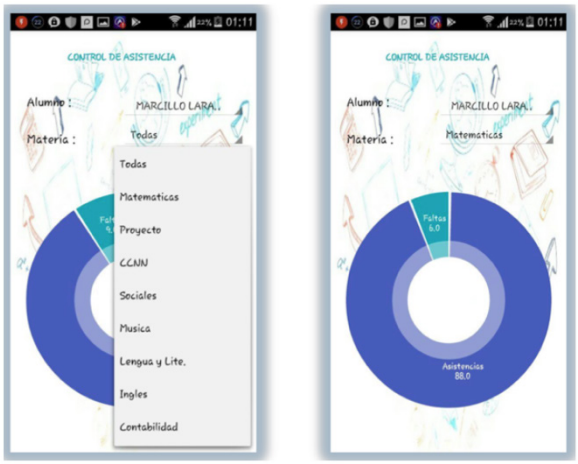


Figura 4 – Monitoreo en tiempo real

3.7. Formulas: Criterios de Validación de la Propuesta

Para establecer los criterios de Validación se procedió a realizar una encuesta con la finalidad de obtener datos acerca de la problemática por la cual está fundamentado este articulo. De una muestra de 200 padres de familia y 16 profesores que comprenden a los 224 estudiantes de nivel básico hasta 3er año de Bachillerato de la institución educativa "Ciudad de Ariel" ubicada en la ciudad de Durán, de los cuales se obtendrán los datos necesarios para el desarrollo del proyecto de una población de 3 337 249 estudiantes de educación general básica llamada EGB.

. Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizará la siguiente fórmula:

Dónde: N= Tamaño de la población de representantes y docentes a los cuales se les va a realizar la encuesta.
Z= Nivel de confianza, 1.96 que equivale al 95% de confianza o 2.58 que equivale al 99% de confianza
σ =Desviación Estándar, valor constante de 0.5.
e= Error muestral, varía entre 1% - 5%, para realizar el cálculo se va a utilizar el 5%.
Calculando el tamaño de la muestra de una población de 200 representantes y 16 docentes de la institución educativa "Ciudad de Ariel" correspondientes a los estudiantes desde 1er año de educación básica hasta 3er año de Bachillerato, con un nivel de confianza del 95% se tiene.
Los valores correspondientes para realizar el cálculo de la muestra son:
Representantes

N= 420;Z= 1.96;σ = 0.5;e= 0.05; 420 × 0.5 2 × 1.96 2;n =0.05;2(400– 1) + 0.5 2 × 1.96 2
Que dan como resultado:
n= 200 representantes
Por lo tanto, se va a realizar la encuesta a 200 padres de familias de la institución educativa “Ciudad de Ariel”.
Realizando la misma operación para determinar la muestra de la cantidad del personal docente a la cual se procederá a realizar la encuesta tenemos los siguientes datos:

N= 17 ;Z= 1.96; σ = 0.5;e= 0.05;17 × 0.5 2 × 1.96 2;n =0.05 2 (17 – 1) + 0.5 2 × 1.96 2
Que dan como resultado:
n= 16 maestros
Por lo tanto, se va a realizar la encuesta a 16 maestros de la institución educativa “Ciudad de Ariel”.
Entre los aspectos que se evaluaron están:

Disponibilidad. - La información que la aplicación proporciona deberá estará disponible en cualquier momento en que sea requerida, siempre y cuando esté conectado en línea y enlazado a internet, ya sea por los representantes de los estudiantes para controlar las asistencias y tareas de sus representados, o por el 95 personal docente para realizar los procesos de registro de asistencia y envío de tareas.

Interactividad. - La aplicación brinda una óptima interactividad con el usuario,

permitiéndoles que la experiencia en la utilización del aplicativo sea placentera.

Accesibilidad a la información. - La aplicación permite el acceso a la información de los estudiantes de forma oportuna y rápida, brindando de esta forma una óptima accesibilidad a la información que el aplicativo provee.

Veracidad de la información. - La información que la aplicación provee es exclusivamente proporcionada por la unidad educativa Ciudad de Ariel y generada por el personal docente de la institución en el caso de las asistencias de los estudiantes.

Satisfacción. – La aplicación brinda satisfacción en cuanto a su rendimiento y por lo tanto garantiza su operatividad y mantenibilidad. Para obtener información acerca de los aspectos antes mencionados se realizó una encuesta a los docentes y representantes.

¿Actualmente cuenta usted con un Smartphone (Teléfono Celular que permite acceder y navegar por internet)?

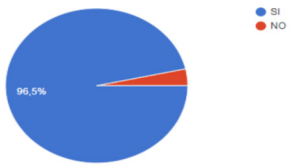


Figura 5 – Aceptación del uso de smartphone
¿La interfaz de la aplicación es fácil de usar?

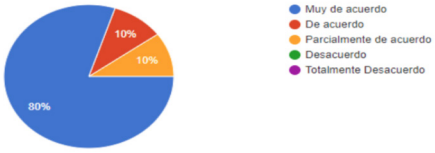


Figura 6 – Resultado de usabilidad del aplicativo

4. Resultados

Los resultados son obtenidos en base al objetivo planteado al inicio de este articulo. Se desarrolló el aplicativo interactivo creando funcionalidades para el control de tareas, asistencia y comunicación. De una muestra de 200 padres de familias que son los representantes de los 224 estudiantes y 16 maestros que se encontraban como profesores de la escuela donde en esta investigación y desarrollo permitió demostrar que por medio del aplicativo los padres lograron monitorear las tareas de sus hijos, mejorando la comunicación por medio de factores de usabilidad con el 80%, rapidez 89,9% y satisfacción del 70% de manipular el aplicativo móvil.

Estos datos fueron obtenidos en base a la encuesta a los profesores y padres de familias quienes representan a sus hijos de la escuela Ariel, los usuarios se muestran satisfechos con la interactividad del aplicativo. A través de la aplicación se automatizan los procesos educativos de registro de asistencia y envío de tareas para el personal docente, debido a que ya no es necesario la utilización de hojas de asistencias como lo han venido realizando en la institución, si no que al hacer uso del módulo de asistencia que la aplicación provee para los docentes este proceso se realiza más rápido y óptimo.

5. Discusión y Conclusiones

Dentro de la realización de la investigación se encontró 4 aplicaciones similares como se muestra en la Fig 1 donde se podrá visualizar que el apps que esta desarrollado es gratuita, que además contiene un módulo creado adicional que no contiene los demás que es el “Modulo de Asistencia y envío de Tareas”.

A través de la implementación de la aplicación que contiene los módulos para el control de asistencia, envío de tareas y la mejora de la comunicación que está diseñada para dispositivos móviles con sistema operativo Android 4.0 o hasta 6.0, que cuenten con conexiones inalámbricas, el personal docente va a poder realizar la asignación y cambio de las asistencias de los alumnos que son asignados a cada docente, además de realizar el envío de tareas a los representantes de los estudiantes, de esta forma permite una comunicación más óptima entre el personal profesor y los representantes.

Referencias

Arias Chaves, M. (2006). InterSedes: Revista de las Sedes Regionales. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, *6*(10), 141–154. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2011.03184.

Baeza, J. P. (s/f). Investigación sobre la Incorporación de Técnicas Multimedia y Tecnologías Web a la Educación Colaborativa.

Basantes, A. V, Naranjo, M. E., Gallegos, M. C., Técnica, U., Julio, C. A. De, José, G., & Córdova, M. (2017). Los Dispositivos Móviles en el Proceso de Aprendizaje de la Facultad de Educación Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de Ecuador Mobile Devices in the Learning Process of the Faculty of Education Science and Technology of the Technica, *10*, 79–88. https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000200009

Escudero Nahón, A. (2017). Aportaciones al proceso horizontal de transversalización de la Educación a Distancia en las instituciones de educación superior. *Revista de la Educacion Superior*, *46*(182), 57–69. https://doi.org/10.1016/j.resu.2017.02.003

García De Ribera, M. C., Bachiller Luque, M. R., Vázquez Fernández, M., Barrio Alonso, M. P., Del Río López, A. M., Hernández Velázquez, P., & Hernández Vázquez, A. M. (2014). Educación para la salud en pediatría a través de una aplicación para teléfonos móviles. *Revista de Calidad Asistencial*, *29*(6), 364–365. https://doi.org/10.1016/j.cali.2014.10.004

Jiménez-Saavedra, S.-A. (2014). Tecnología educativa: campos de formación y perfil diferencial. *j Superior*. https://doi.org/10.1016/S2007-2872(14)70304-X

Rossi, E. L. (2018). Citación sugerida: Bernal Peralta, J., *7*.

Silva Calpa, A. C., & Martínez Delgado, D. G. (2017). Influencia del Smartphone en los procesos de aprendizaje y enseñanza. *Suma de Negocios*, *8*(17), 11–18. https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.01.001

Spencer, H., Restrepo, S., Javier, D., & Reyna, W. (s/f). CIE_ResultadosEducativos-RetosExcelencia201611301.

Suehring, S. (2002). *MySQL™ Bible*.

Zhao, S., Li, S., Ramos, J., Luo, Z., Jiang, Z., Dey, A. K., & Pan, G. (2019). User profiling from their use of smartphone applications: A survey. *Pervasive and Mobile Computing*, *59*, 101052. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2019.101052

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

Recebido/Submission: 10/03/2019
Aceitação/Acceptance: 19/06/2019

Sistema de Indexación de Documentos Jurisprudenciales Soportado en Inteligencia Artificial

Cristian Camilo Ordoñez[1], Edier Anchico Silva[1], Armando Ordóñez[1], Cristian Méndez[1], Hugo Armando Ordoñez[2].

camilo.ordonez@docente.fup.edu.co,ediersilva@fup.edu.co,jaordonez@unicauca.edu.co, cristian.mendez@docente.fup.edu.co, hugoordonez@unicauca.edu.co

[1] Intelligent Management Systems – Fundación Universitaria de Popayán, 190001, Popayán, Colombia.

[2] Information Technology Research Group (GTI) Universidad del Cauca, 190001, Popayán, Colombia.

Pages: 41–52

Resumen: En Colombia el precedente judicial o Jurisprudencia facilita la toma de decisiones por parte de los jueces basándose en sentencias anteriores para poder dar un veredicto. Los profesionales del derecho deben buscar entre un gran número de documentos las sentencias que ayuden como soporte para sus casos en ejecución donde se soportan en diferentes motores de búsqueda y aplicaciones para tener los documentos que puedan solventar las necesidades del caso. En la actualidad el uso de inteligencia artificial y métodos de procesos de lenguaje natural hace que los diferentes sistemas sean más agiles a la hora de dar solución a un problema dado, por lo anterior dentro de este trabajo se propone y evalúa un sistema de búsqueda de documentos judiciales soportado en inteligencia artificial, desarrollado para agilizar los procesos de búsqueda y análisis de dichos documentos judiciales, donde la evaluación de la propuesta obtiene mejores resultados en las diferentes métricas de evaluación frente al buscador del estado del arte.

Palabras-clave: Recuperación de documentos judiciales; Procesamiento de lenguaje Natural judicial; Resumen automatizado**.**

Document Indexing System Jurisprudential Supported in Intelligence Artificial

Abstract: In Colombia, the judicial precedent or jurisprudence facilitates decision-making by specific judges in previous judgments in order to give a verdict. Legal professionals should search through a large number of documents for sentences that help support their cases in execution where they are supported by different search engines and applications to have documents that can meet the needs of the case. At present, the use of artificial intelligence and natural language process methods makes the different systems more agile when it comes to solving a given problem. Therefore, within this work a search system is proposed and evaluated. Judicial documents supported by artificial intelligence, developed to expedite the processes of search and analysis of said judicial documents, where the evaluation of

the proposal obtains better results in the different evaluation metrics compared to the state of the art search engine

***Keywords**:* Recovery of judicial documents; Natural judicial language processing; Automated summary.

1. Introducción

El sistema legal colombiano reconoce la importancia de la jurisprudencia, entendida como un conjunto de sentencias dictadas por jueces, que pueden ser usadas como un precedente legal y una fuente formal de ley. La ley 1437/2011 donde ordena a los jueces que consideren sentencias anteriores del Consejo de Estado y del tribunal constitucional. En ésta ley también creó la figura de la "extensión de la jurisprudencia" que ofrece al ciudadano común la posibilidad de solicitar a las autoridades que tomen decisiones en un caso basándose en casos anteriores y similares (Segura 2011).

En la práctica, la búsqueda de casos similares anteriores se debe realizar en dos fases: en primer lugar, es necesario buscar declaraciones (juicios) en casos similares. La búsqueda se puede hacer usando los motores de búsqueda disponibles en Colombia como lo son buscador de la corte constitucional (Rama Judicial del Poder Publico 2011), buscador de la rama judicial (Estado 2015). Estos motores de búsqueda utilizan palabras clave y concordancia sintáctica, lo que puede resultar en un gran conjunto de resultados. La segunda fase requiere encontrar el argumento central de cada oración que sirvió de base para la decisión (Goytisolo 2009). La identificación de documentos requiere expertos que conozcan el lenguaje técnico legal. En este sentido, aunque existen algunas herramientas legales para ampliar el acceso a la justicia no existe aún una herramienta que permita a los expertos generar automáticamente una búsqueda y resumen de estos documentos en campo judicial.

Varios enfoques han abordado la cuestión del procesamiento de texto automático y la búsqueda de sentencias (De Colla Furquim and De Lima 2012), (Raghuveer 2012), (Lu, Qiang y Conrad, Jack G. y Al-Kofahi, Khalid y Keenan 2011), sin embargo, estos enfoques no son aplicables al contexto legal particular del idioma colombiano y español. Actualmente, se han desarrollado algunas herramientas tecnológicas cuya efectividad es aún baja (Wyner, Mochales-palau, and Moens 2010) y existen en curso igualmente, algunas aproximaciones orientadas al uso del procesamiento de lenguaje natural en ámbitos legales (Venturi 2010). En este escenario, las tecnologías de recuperación de información representan una buena aproximación inicial a la solución del problema. En este sentido el presente trabajo presenta un aplicación basada en modelo de análisis semántico latente (LSA) para la búsqueda, identificación e indexación de documentos judiciales, además de resúmenes de documentos basado en TextRank, con esta aplicación se permite mejorar los procesos judiciales en Colombia donde para entrenar los métodos se creó un dataset con cerca de 28000 documentos extraídos de los buscadores tradicionales, los resultados de esta aplicación denominada PRO-LAW muestra la satisfacción de los usuarios a la hora de generar una jurisprudencia con los documentos generados, además de la mejora de tiempo en la generación de la indexación de los documentos.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta una información relacionada con los trabajos relacionados. La Sección 3 presenta la

arquitectura del marco para la indexación de oraciones y la búsqueda de documentos. La sección 4 presenta la evaluación del sistema por parte de expertos, para finalizar en la sección 5 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

2. Estado del Arte.

Los sistemas de recuperación de documentos jurisprudenciales denominados en la literatura como retrieval-law son diseñados para encontrar diferentes documentos que colaboren a procesar de forma ágil los diferentes casos que se llevan las entidades judiciales. En Colombia existen diferentes aplicaciones para realizar este tipo de búsquedas las cuales son herramientas que generan búsquedas de manera general utilizando consultas en una base de datos. La eficacia de estas aplicaciones puede hacer que sea difícil encontrar documentos correctos para los casos en búsqueda ya que el enfoque explora el contenido completo de las oraciones, por ello a continuación se establecen trabajos relacionados en contextos donde se observan diferentes soluciones que pueden resolver este problema. En 2016 la base de datos oficial de la corte en China registro 19.706.614 documentos judiciales con un crecimiento diario, una herramienta que gestionara la extracción de estos datos y su uso por parte de jueces y personas llegadas al tema era necesario; en (Kim, Kim, and Cho 2017) desarrolla un sistema de consulta legal para China el cual se basó en algoritmos genéticos y aproximaciones de tipo k-nearest neighbours (KNN), dando gran importancia a elementos y características legales de este país, la importancia de la semántica fue esencial para el proceso de creación, esto significa que la más usada era tomada mientras la más ambigua era desechada, esto facilito el mejor uso de los recursos y mayor velocidad en las respuestas sin perder la forma.

(Boella et al. 2016), (Papastefanatos 2016), trabajo sobre ontología jurídica para poder dar solución a la gran cantidad de elementos jurídicos a nivel internacional, el trabajo de esta empresa se basó en identificar diferentes formas de cómo se dan las leyes, como se interpretan y como se toman a nivel jurídico y su contexto, para este software se hace uso de la categorización según el país, esto para poder categorizar cada una de las leyes según su contenido en una base de datos por medio de etiquetado y así poder ubicarlos posteriormente.

De igual manera (Zhang et al. 2017) (Ma, Zhang, and Ma 2018) mediante el uso de semántica y la estructura de la documentación fue de gran importancia para poder dar solución al problema de recuperación de documentos judiciales dejando a cargo una sola herramienta de categorización y agrupamiento KNN, la recurrencia de los escritos sobre la forma de las leyes cambian y su debida interpretación deja ver la importancia sobre la semántica, el contexto, y demás temas relacionados con las culturas como se puede ver en el software EUNOMOS.

En (Chou and Hsing 2010; Wang et al. 2017)the huge amount of law cases and judgment documents, which were digital stored, has provided a good foundation for the research of judicial big data and machine learning. In this situation, some ideas about Chinese courts can reach automation or get better result through the research of machine learning, such as similar documents recommendation, workload evaluation based on similarity of judgement documents and prediction of possible relevant statutes. In trying to achieve all above mentioned, and also in face of the characteristics of Chinese judgement document, we propose a topic model based approach to measure the text

similarity of Chinese judgement document, which is based on TF-IDF, Latent Dirichlet Allocation (LDA trabajó una metodología de clasificación, agrupación y búsqueda de documentos basada en redes neuronales, el cual se evalúa en diferentes casos para administrar escritos de juicios criminales de manera ordenada y eficiente, donde la validación de este sistema de agrupación mejora la búsqueda del buscador evaluado en las diferentes métricas evaluadas.

Presentando los antecedentes, esta propuesta realizada una búsqueda innovadora implementando modelos de inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PNL) para la realización de búsquedas como la extracción de resúmenes, ya que en lo anteriormente expuesto no se observa que se realicen e implementen estos enfoques que generan un aporte a estos sistemas de recuperación de documentos basados en leyes.

3. Propuesta del Sistema

En la actualidad, se han desarrollado algunas herramientas tecnológicas como solución a la problemática mencionada, estas incorporan en su gran mayoría modelos de espacio vectorial (SVM), de igual manera existen herramientas del ámbito judicial orientadas al uso del procesamiento de lenguaje natural (Venturi 2010). En este escenario, las tecnologías de recuperación de información representan una buena aproximación inicial a la solución del problema. Los sistemas de recuperación de documentos jurisprudenciales se componen por tareas de búsqueda, recomendación, consulta de información, clasificación de resultados, almacenamiento de la información, incorporación de resúmenes, clasificación de documentos en grupos pre definidos y agrupamiento de documentos en conjuntos definidos a partir del análisis automático del contenido del documento (Vester and Martiny 2005). A continuación, se presentan los elementos que fueron utilizados para el diseño de la propuesta.

3.1. Vista descomposición de Módulos.

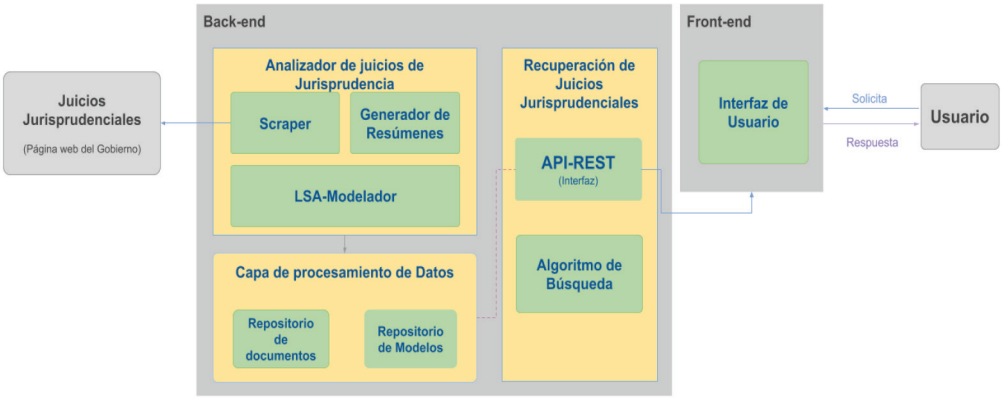


Ilustración 1 – Arquitectura de la aplicación.

3.1.1. Analizador de Juicios Jurisprudenciales

Este módulo está conformado por tres componentes principales, los cuales se detallan a continuación.

3.1.1.1. Scraper

La plataforma utiliza una herramienta web para extraer documentos estructurados de enlaces y descripciones de juicios jurisprudenciales publicados en el sitio web de la corte constitucional de Colombia. Concretamente, este módulo fue desarrollado usando la API de SCRAPY el cual entra a la página web de la corte suprema de justicia y extrae uno a uno hasta extraer el último elemento documento, estos documentos son alojándolos dentro de la base de datos.

3.1.1.2. Generador de Resúmenes

Este módulo crea resúmenes de 300 palabras para cada documento jurisprudencial, para ayudar al usuario a tener una mayor idea sobre el tema de los documentos que pueden ayudar a resolver su caso (Barrios et al. 2016). TEXTRANK consiste en una extensión del algoritmo PAGERANK que posibilita el procesamiento de grafos ponderados, donde la importancia de un nodo no dependerá tan solo del número de nodos que se relacionen con él, sino también el número de repeticiones de las relaciones entre nodos el cual contiene las siguientes características:

$$WS(V_i) = (1 - d) + d * \sum_{V_i \in In(V_i)} \frac{w_{ji}}{\sum_{V_k \in Out(V_j)}} WS(V_j) \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

donde w_{ji} es el peso de la arista que va desde el nodo V_j hasta el nodo V_i.

En la Ecuación 1 tomado de (Cruz, Troyano, and Enríquez 2006) se observa modelo grafico calculado para resumir un texto aplicando TEXTRANK en un esquema no supervisado. En el grafo que se construye, cada nodo representa una frase del texto del documento de jurisprudencia y las aristas representan la relación entre las distintas frases del texto. La forma en que ponderan las aristas se determina mediante el calculó promedio de palabras comunes de las frases de cada arista. Una vez obtenido el grafo, se aplica el algoritmo TEXTRANK donde genera las frases ordenadas del texto, tomando los *N* nodos con mejor promedio, obteniendo las *N* frases más importantes del texto.

3.1.1.3. LSA Modelador

Este módulo crea tres modelos útiles para el entrenamiento del algoritmo LSA y el funcionamiento de la API REST. Este es encargado de procesar, analizar y generar los modelos utilizando del repositorio de documentos previamente construido. Estos modelos son los componentes principales del sistema que permite indexar las consultas de los usuarios los cuales son: modelo DICCIONARIO, modelo LSA, modelo INDEX (Kherwa and Bansal 2017).

3.1.2. Recuperador de Sentencias Jurisprudenciales

Este módulo es el responsable de interpretar las consultas del usuario final y transformarlas mediante el modelo LSA, generado a partir de la base de conocimiento de las 28.000 sentencias extraídas, con el fin de encontrar los documentos indexados que más se aproximen a la consulta del usuario para ser retornados, para que el usuario pueda seleccionar la que más se ajuste a sus necesidades de información.

3.1.2.1. API REST

Este módulo recibe la consulta del usuario y retorna el conjunto de documentos relevantes organizados en orden de relevancia en formato JSON, utilizando el framework Flask escrito en Python.

3.1.2.2. Algoritmo de Búsqueda

Esta modulo recibe las consultas del usuario de parte del módulo API REST y se conecta con otros módulos que son: INDEXER y emparejador de sentencias, para retornar los documentos más relevantes a dicha consulta en formato JSON, el procedimiento se describe a continuación:

- **Paso 1:** Con la herramienta Scrapy se procede a capturar todas las tutelas disponibles en la página http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/ (Constitucional 2015) que contiene 28000 documentos, se define las etiquetas css en la herramienta Scrapy para que esta busque y extraiga la información del link del documento al que se desea ir.
- **Paso 2:** Cada documento encontrado se almacena en el repositorio de documentos, en una base de datos MySQL.
- **Paso 3:** Se procede al procesamiento del texto de todos los documentos del repositorio (conjunto de entrenamiento) este arreglo contiene solo el texto de cada documento, luego se recorre cada documento para detectar y eliminar palabras vacías, después de esto las palabras se convierten a minúsculas, se eliminan los acentos y números, además se eliminan las palabras repetidas por documento, por ultimo tokeniza las palabras resultantes del anterior proceso. Después de hacer todo el procesamiento en todo el arreglo de documentos se crea una matriz donde las filas son los documentos y las columnas son cada palabra (token). Seguido a ello se crea el modelo DICCIONARIO, este asigna una ID(entero) para cada palabra y crea un diccionario de términos que consiste en un conjunto de tuplas con ID y palabra, esto sirve para un mayor procesamiento a nivel de hardware, ya que el procesamiento de números a texto es más eficiente, seguido a ello el modelo es almacenado para poder utilizar en otras consultas.
- **Paso 4:** Lo siguiente es crear un corpus (bolsa de palabras) que recibe como parámetro la matriz *documentos * palabras(token)* y el modelo diccionario. El corpus representa los términos que son las palabras convertidas a token que anteriormente fueron extraídas del procesamiento de texto frente a los

documentos, donde una matriz contiene los números que representa cuantas veces la palabra se repite en un documento (De Jorge-Botana 2010)

- **Paso 5:** Una vez generado el corpus, este se normaliza utilizando el algoritmo TF-IDF. Este algoritmo funciona buscando el número de veces que una palabra ha ocurrido en el documento o una frecuencia de palabras en un documento. Su dominio permanece local al documento. La frecuencia de documentos es la fracción de documentos en los que se ha producido la palabra. Se calcula en base a las estadísticas recopiladas de todo el corpus.
- **Paso 6:** LSA recibe como parámetros el corpus normalizado(TF-IDF), el diccionario y el número k (números de temas). El algoritmo empieza a entrenarse, obteniendo 3 matrices que fueron creadas utilizando las descomposiciones de vectores singulares(SVD) con una dimensionalidad k, este modelo se almacena para poderse utilizar después. El modelo INDEX recibe como parámetros el corpus normalizado(TF-IDF), el modelo LSA, el modelo diccionario, después indexa todos los documentos para poder hacer consultas de similitud de coseno encontrando el documento que más se acerque a la búsqueda realizada por el usuario.

3.1.3. Capa de Procesamiento de Datos

Es módulo define las políticas de gestión de datos del sistema, para lo cual se soporta en dos componentes principales.

3.1.3.1. Repositorio de Documentos

Este componente se encarga de almacenar los documentos generados en la extracción de las sentencias jurisprudenciales por parte del SCRAPER. Esto se realiza con el fin de

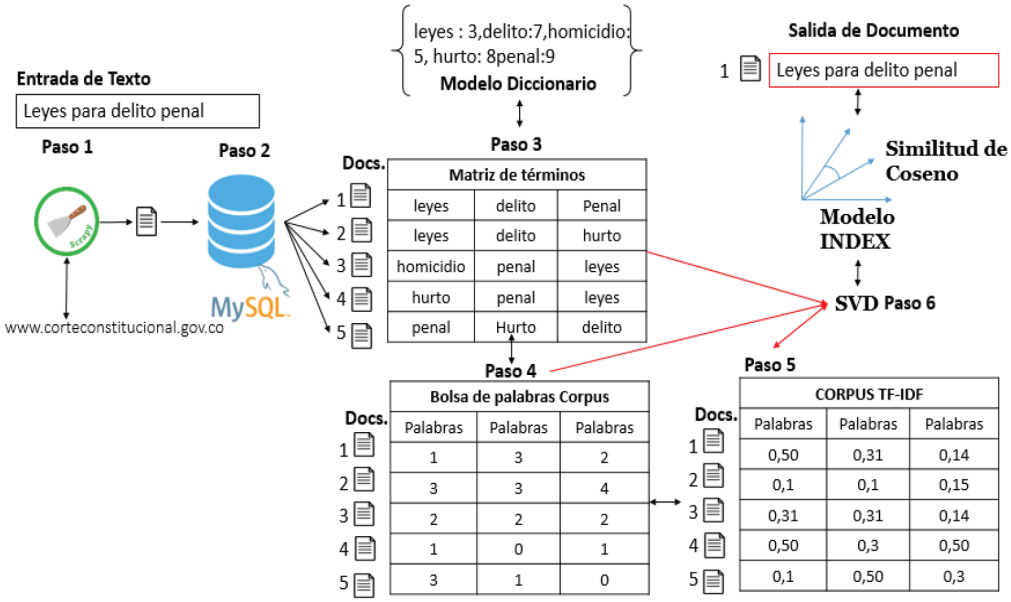


Figura 1 – Proceso de Búsqueda de la Propuesta

poder generar posteriormente el modelo que representa la estructura semántica oculta de las sentencias, las cuales nos permitirá comprender la distribución de temas y así encontrar las sentencias de mayor relevancia a una consulta.

3.1.3.2. Repositorio de modelos

Este módulo almacena los tres modelos generados en el modelador LSA; es decir, los términos DICCIONARIO, el modelo LSA y el INDEX.

- **Modelo DICCIONARIO**: Tiene almacenado todas las palabras tokenizadas con su id, este tiene la función de convertir las consultas del usuario(texto).
- **modelo LSA**: Guarda todas las matrices que fueron creadas utilizando descomposición en valores singulares (SVD), su función es convertir un vector mapeado del modelo diccionario a un vector LSA.
- **El modelo INDEX**: Guarda una matriz indexada de documentos. Su función es retornar una matriz de longitud (documentos) donde su primera columna es el index del documento y la segunda es la similitud que varía entre -1 y 1, respecto a una consulta(texto) que está convertida a un espacio LSA.

4. Evaluación de sistema.

Esta sección describe y determina la calidad de los resultados de la evaluación del buscador propuesto, a comparación de los buscadores de la corte suprema de justicia, esta evaluación se divide en 2 pasos donde a) Evaluación interna de los resultados obtenidos, b) Satisfacción del usuario frente a los resultados obtenidos en las búsquedas.

A.) Evaluación Interna

En esta fase los resultados obtenidos por parte del buscador PRO-LAW son comparados con los resultados de la evaluación del buscador de la corte constitucional, para esta evaluación se contó con 46 evaluadores expertos divididos entre estudiantes de derecho, profesionales del derecho, los perfiles de los evaluadores se pueden observar en la **Tabla 1**

Universidad	Profesional	Estudiante
Fundación Universitaria de Popayán	9	6
Universidad del cauca	8	3
Universidad Mariana	6	4
Universidad Cooperativa	7	3
Total	30	16

Tabla 1 – Perfiles de Evaluadores

Adicionalmente a la Comparación con la evaluación de los buscadores se evaluó la calidad de los resultados obtenidos en la ejecución de consultas a partir de la aplicación de medidas estadísticas utilizadas en evaluación de sistemas de recuperación de información (Manning, Raghavan, and Schütze 2008), estas medidas son Precisión

(P), Recall (R), Medida F (MF). La **Figura 2** presenta los resultados determinados en las diferentes métricas por el buscador propuesto PRO-LAW en la búsqueda de 3 casos dados por expertos en leyes. Los resultados de la evaluación de *P, R, MF* en la búsqueda de los casos se describen a continuación.

La **Figura 2** presenta el nivel de precisión generada por el buscador propuesto en la búsqueda de los diferentes casos. Los resultados de *P* para el caso de búsqueda número 1 demuestran que el 78% de los evaluadores aseguran que PRO-LAW genera mejor precisión a la hora de encontrar documentos para solucionar el caso 1 de igual manera para el caso 2 y 3 el buscador genera búsquedas más precisas con un 83% y 91% respectivamente en comparación al buscador de la corte donde el 22% aprueba precisión en el caso 1, 17% para el caso número 2 y 9% para el caso número 3.

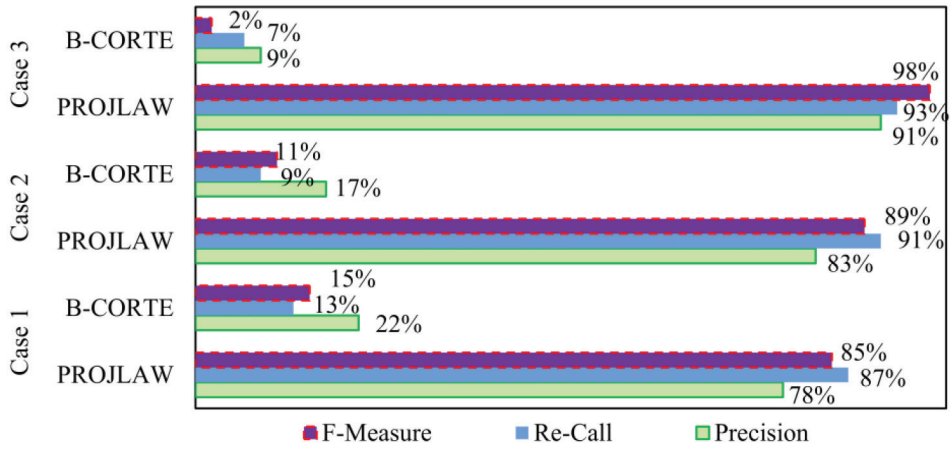


Figura 2 – Evaluación Interna

B) Satisfacción Del Usuario

Para esta sección se describe y pregunta al usuario si los resultados entregados por el buscador propuesto PRO-LAW y la Buscador de la Corte son adecuados y útiles a la hora de solucionar los casos previamente evaluados, por ello se identificó cuantos usuarios están de acuerdo con los resultados obtenidos.

En la **Figura.3** se observa que en la pregunta 1 ¿Los resultados del buscador son relevantes y adecuados para resolver un caso en particular? el 91% de los evaluadores aseguran que el modelo de búsqueda propuesto genera resultados adecuados para resolver el caso evaluado, esto significa que los resultados obtenidos ayudan y contribuyen a los expertos en el tema a solucionar los casos evaluados. Por otra parte, en la pregunta 2 ¿Qué plataforma genera un resumen adecuado a la búsqueda realizada? el 89% aprueba el resumen generado por la plataforma PRO-LAW donde solo el 11% de los evaluadores creen que el resumen dado por la propuesta no genera un resumen adecuado, estas preguntas de satisfacción de usuario se realizan para identificar las cualidades y debilidades de los buscadores evaluados.

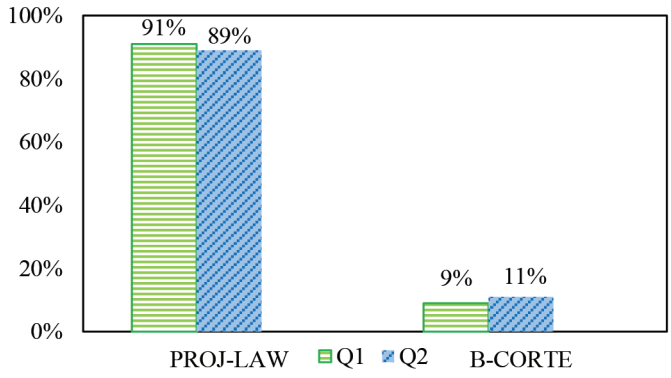


Figura 3 – Consenso de resultados.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros.

Este trabajo desarrolla una plataforma para realizar búsqueda y resúmenes de documentos para resolver casos de jurisprudencia soportado en inteligencia artificial, esta se evalúa con la plataforma de la corte constitucional en diferentes medidas del estado del arte como también preguntas de satisfacción de usuario, donde se determina que la propuesta genera mejores resultados en las diferentes métricas y preguntas realizadas.

Se determina que la plataforma genera una respuesta a las búsquedas eficientemente donde entre más palabras claves ingrese el usuario la búsqueda será más precisa, además, el resumen generado es acorde a la necesidad de las búsquedas planteadas por el usuario.

Se debe destacar que esta herramienta solamente tiene documentos de la corte constitucional, ya que existen otras cortes que para este desarrollo no se tuvieron en cuenta, como trabajo futuro se espera incorporar recomendaciones a la hora de generar una búsqueda todo ello para mejorar los procesos de búsqueda, se determina realizar una evaluación con diferentes buscadores del estado del arte basados en leyes con el fin de comparar los métodos incorporados en la propuesta PRO-LAW en diferentes métricas de referencia, además de utilizar datasets de prueba, todo ello para identificar fortalezas y debilidades de la propuesta como en los buscadores del estado del arte.

Referencias

Barrios, Federico, Federico López, Luis Argerich, and Rosa Wachenchauzer. 2016. "Variations of the Similarity Function of TextRank for Automated Summarization." *Universidad de Buenos Aires* 1–8.

Boella, Guido et al. 2016. "Eunomos, a Legal Document and Knowledge Management System for the Web to Provide Relevant, Reliable and up-to-Date Information on the Law." *Artificial Intelligence and Law* 24(3):245–83. Retrieved (https://doi.org/10.1007/s10506-016-9184-3).

Chou, Shihchieh and Tai-Ping Hsing. 2010. "Text Mining Technique for Chinese Written Judgment of Criminal Case." Pp. 113–25 in *Intellgence and Security Informatics*, edited by H. Chen et al. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

De Colla Furquim, Luis Otávio and Vera Lúcia Strube De Lima. 2012. "Clustering and Categorization of Brazilian Portuguese Legal Documents." Pp. 272–83 in *Computational Processing of the Portuguese Language*, vol. 7243, edited by F. Caseli, Helena and Villavicencio, Aline and Teixeira, António and Perdigão. Springer Berlin Heidelberg.

Constitucional, Corte. 2015. "Corte Contitucional." *Ministerio de Justicia y Del Derecho Colombia*. Retrieved (http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/).

Cruz, Fermín, José A. Troyano, and Fernando Enríquez. 2006. "Supervised TextRank." Pp. 632–39 in *Advances in Natural Language Processing*, edited by T. Salakoski, F. Ginter, S. Pyysalo, and T. Pahikkala. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Estado, Consejo de. 2015. "Consejo de Estado." *Consulta de Jurisprudencia*. Retrieved (http://www.consejodeestado.gov.co/busquedas/buscador-jurisprudencia/).

Goytisolo, J. V. 2009. "El Razonamiento Judicial." *Anales de La Real Academia de Jurisprudencia y Legislación* 39tn editi(Dykinson, Ed.).

De Jorge-Botana, Guillermo. 2010. "La Técnica Del Análisis de La Semántica Latente (LSA/LSI) Como Modelo Informático de La Comprensión Del Texto y El Discurso." *UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID* 1–447.

Kherwa, Ms Pooja and Poonam Bansal. 2017. "Latent Semantic Analysis : An Approach to U Nderstand Semantic of Text." *2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC)* 870–74.

Kim, Han Kyul, Hyunjoong Kim, and Sungzoon Cho. 2017. "Neurocomputing Bag-of-Concepts : Comprehending Document Representation through Clustering Words in Distributed Representation." *Neurocomputing* 266:336–52.

Lu, Qiang y Conrad, Jack G. y Al-Kofahi, Khalid y Keenan, William. 2011. "Agrupación de Documentos Legales Con Segmentación de Tema Incorporada." Pp. 383--392 in *Actas de la 20a Conferencia Internacional ACM sobre Gestión de la Información y el Conocimiento*.

Ma, Y., P. Zhang, and J. Ma. 2018. "An Ontology Driven Knowledge Block Summarization Approach for Chinese Judgment Document Classification." *IEEE Access* 6:71327–38.

Manning, Christopher D., Prabhakar Raghavan, and Hinrich Schütze. 2008. "Introduction to Information Retrieval." *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 1:496.

Papastefanatos, George. 2016. "Towards Automatic Structuring and Semantic Indexing of Legal Documents." in *in Proc. PCI, Patras, Greece*.

Raghuveer, avi Kumar V. y K. 2012. "Agrupación de Documentos Legales Mediante La Asignación de Dirichlet Latente." *Revista Internacional de Sistemas de Información Aplicados* 2(6):27–33.

Rama Judicial del Poder Publico. 2011. "Sistema de Consulta de Jurisprudencia." *Consulta Temática Simultánea En Las Altas Corporaciones*. Retrieved (http://jurisprudencia.ramajudicial.gov.co/WebRelatoria/consulta/index.xhtml).

Segura, Mario Ricardo. 2011. "PRECEDENTE JURISPRUDENCIAL VS UNIFICACIÓN JURISPRUDENCIAL." *Ministerio de Justicia y Del Derecho Colombia*.

Venturi, Giulia. 2010. "Legal Language and Legal Knowledge Management Applications." *Lecture Notes in Artificial Intelligence*.

Vester, Kenneth Lolk and Moses Claus Martiny. 2005. *INFORMATION RETRIEVAL IN DOCUMENT SPACES USING CLUSTERING*.

Wang, Yue et al. 2017. "Topic Model Based Text Similarity Measure for Chinese Judgment Document." Pp. 42–54 in *Data Science*, edited by B. Zou et al. Singapore: Springer Singapore.

Wyner, Adam, Raquel Mochales-palau, and Marie-francine Moens. 2010. "Approaches to Text Mining Arguments from Legal Cases."

Zhang, N., Y. Pu, S. Yang, J. Zhou, and J. Gao. 2017. "An Ontological Chinese Legal Consultation System." *IEEE Access* 5:18250–61.

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

Recebido/Submission: 05/03/2019
Aceitação/Acceptance: 29/06/2019

Análisis de accesibilidad web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador aplicando la norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012

Milton Campoverde-Molina[1], Sergio Luján-Mora[2], Llorenç Valverde[3]

mcampoverde@ucacue.edu.ec, sergio.lujan@ua.es, lvalverde@uib.cat

[1] Unidad Académica de Tecnologías de la Información y la Comunicación Universidad Católica de Cuenca, Vargas Machuca 6-50, 010107, Cuenca, Ecuador.

[2] Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos Universidad de Alicante, 03690, San Vicente del Raspeig, España.

[3] Universitat de les Illes Balears, Departament de Matemàtiques i Informàtica, carretera de Valldemossa km 7.5, 07122 Palma de Mallorca, España.

Pages: 53–68

Resumen: Este artículo revela el análisis de accesibilidad de 55 portales web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador. La Web es un recurso cada vez más importante en muchos aspectos de la vida: educación, empleo, gobierno, comercio, salud, recreación y más. A pesar de la importancia de la accesibilidad web, su cumplimiento en los portales web de las universidades es limitado en Ecuador. El propósito de esta investigación es evaluar la accesibilidad de los portales web de las universidades del Ecuador con la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012, un nivel de conformidad AA y analizar su cumplimiento normativo. El análisis se realizó con las herramientas en línea Examinator, AccessMonitor, TAW y TENON. De las 220 páginas web analizadas ninguna cumple con la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012. Las universidades deben emprender proyectos de accesibilidad web para su cumplimiento normativo.

Palabras-clave: Accesibilidad web; Discapacidad; Educación; Inclusión educativa; NTE INEN ISO/IEC 40500:2012; WCAG 2.0.

Web Accessibility Analysis of the Universities and Polytechnic Schools of Ecuador applying the standard NTE INEN ISO/IEC 40500:2012

Abstract: This article reveals the accessibility analysis of 55 web portals of universities and polytechnic schools in Ecuador. The Web is an increasingly important resource in many aspects of life: education, employment, government, commerce, health, recreation and more. Despite the importance of web accessibility, compliance in university web portals is limited in Ecuador. The purpose of this research is to evaluate the accessibility of the web portals of the universities of Ecuador with the NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012 standard, a level of AA conformity and to analyze its normative fulfillment. The analysis was

performed with the online tools Examinator, AccessMonitor, TAW and TENON. Of the 220 web pages analyzed, none comply with NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012. Universities must undertake web accessibility projects for regulatory compliance.

***Keywords**:* Web accessibility; Disability; Education; Educational inclusion; NTE INEN ISO/IEC 40500:2012; WCAG 2.0.

1. Introducción

La accesibilidad web significa que las personas con algún tipo de discapacidad puedan hacer uso de la Web en las mismas condiciones que el resto de las personas. Al hablar de accesibilidad web se está haciendo referencia a un diseño que permita a personas con discapacidad percibir, entender e interactuar con la página o sitio que está navegando. La accesibilidad web también beneficia a otras personas, incluyendo personas de edad avanzada que han visto mermadas sus habilidades a consecuencia de los años. Una web accesible proporciona un acceso equitativo con igualdad de oportunidades a las personas con discapacidad para participar más activamente en la sociedad (World Wide Web Consortium, 2019).

La ISO/IEC 40500:2012 (International Organization for Standardization, 2012) es igual a las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.0, las cuales cubren una amplia gama de recomendaciones para hacer más accesible el contenido de la Web. Seguir estas directrices hará que el contenido sea accesible a personas con discapacidades, incluyendo ceguera y baja visión, sordera y pérdida auditiva, discapacidades de aprendizaje, limitaciones cognitivas, limitaciones de movimiento, discapacidades del habla, fotosensibilidad y combinaciones de éstas. Seguir estas pautas también hará que el contenido de su sitio web sea más usable para los usuarios en general. Los sitios, las tecnologías o las herramientas que no cumplan con estándares pueden crear barreras que excluyen a las personas del uso de la Web.

Ecuador, al igual que otros países, ha adoptado la norma ISO/IEC 40500:2012 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2014). Para dar seguimiento al cumplimiento obligatorio en el Ecuador de la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012, se crea el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido web” que entró en vigor el 8 de agosto de 2016 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016). Este reglamento se aplica a los contenidos publicados en los sitios web del sector público y privado que presten servicios públicos. En su segunda transitoria, este reglamento establece que, hasta el 8 de agosto de 2020, todos los sitios web ecuatorianos que presten un servicio público deben ser accesibles WCAG 2.0 nivel AA. Conforme la WCAG 2.0 existen tres niveles de conformidad y 61 criterios de éxito que las páginas web deben cumplir A (25 criterios de éxito), AA (13 criterios de éxito) y AAA (23 criterios de éxito). Las instituciones públicas y privadas de la República del Ecuador junto con los desarrolladores web deben acoger e implementar el reglamento para permitir un acceso universal a la Web. Además, hasta el momento no se ha actualizado la normativa en Ecuador, pero es posible que lo haga en el futuro con las WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium, 2018a).

La educación está en un proceso evolutivo que va ajustándose a leyes, reglamentos y nuevas exigencias en la enseñanza-aprendizaje. Un aspecto clave es conseguir la inclusión

y participación de todas las personas en el entorno educativo, tal como se requiere en el artículo 24 Educación de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD) (United Nations, 2006). Para lo cual, los portales web universitarios también deben dar cumplimiento a lo establecido en el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 288. Los administradores de los sitios web deben aplicar la normativa vigente de accesibilidad para que cualquier persona pueda hacer uso de sus portales web.

La Web (World Wide Web Consortium, 2019) es un recurso cada vez más importante en muchos aspectos de la vida: educación, empleo, gobierno, comercio, salud, recreación y más. Es esencial que la Web sea accesible para proporcionar igualdad de acceso e igualdad de oportunidades a las personas con capacidades diversas. El acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones, incluida la Web, se define como un derecho humano básico en la CDPD. La Web ofrece la posibilidad de un acceso sin precedentes a la información y a la interacción para muchas personas con discapacidad. La accesibilidad apoya la inclusión social de las personas con discapacidad. Según las estadísticas publicadas por el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) con información del Ministerio de Salud Pública de las personas registradas con discapacidad en el Ecuador hasta abril 2019 (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2019) se tiene 460,586 personas registradas con discapacidad en Ecuador.

A pesar de la importancia de la accesibilidad web, su cumplimiento en los portales web de las universidades y escuelas politécnicas es limitado en Ecuador. El propósito de esta investigación es evaluar la accesibilidad de los portales web de las universidades del Ecuador con la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012, un nivel de conformidad AA y analizar su cumplimiento normativo. Con este fin, buscamos respuestas a las siguientes preguntas: ¿Qué portales web de las universidades del Ecuador cumplen con la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012 con un nivel de conformidad AA? ¿Cuál es la media de errores en los portales web de las universidades del Ecuador?

En cuanto a la estructura y contenido del artículo, en la sección 2 se presentan los conceptos relacionados con la investigación. En la sección 3 la revisión de diferentes fuentes bibliográficas de experiencias y resultados de investigaciones de accesibilidad web. En la sección 4 se detalla la metodología utilizada para desarrollar esta investigación. En la sección 5 se muestran los resultados de accesibilidad de los portales web de las universidades del Ecuador y su cumplimiento normativo. En la sección 6 se establecen las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos.

2. Conceptos relacionados

2.1. NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012

Las NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012 tiene 12 directrices que están organizadas bajo 4 principios: perceptibles, operables, comprensibles y robustos. Para cada directriz, hay criterios de éxito comprobables, que se encuentran en tres niveles A, AA y AAA (World Wide Web Consortium, 2018b):

1. **Principio 1 – Perceptible:** la información y los componentes de la interfaz de usuario deben ser mostrados a los usuarios en formas que ellos puedan entender.
    - **Directriz 1.1 – Texto alternativo:** proporciona texto alternativo para el contenido que no sea textual, así podrá ser transformado en otros formatos que la gente necesite, como caracteres grandes, lenguaje braille, lenguaje oral, símbolos o lenguaje más simple.
    - **Directriz 1.2 – Contenido multimedia dependiente del tiempo:** proporcione alternativas sincronizadas para contenidos multimedia sincronizados dependientes del tiempo.
    - **Directriz 1.3 – Adaptable:** crear contenido que pueda ser presentado de diferentes formas sin perder ni información ni estructura.
    - **Directriz 1.4 – Distinguible:** facilitar a los usuarios ver y escuchar el contenido incluyendo la distinción entre lo más y menos importante.
2. **Principio 2 – Operable:** los componentes de la interfaz de usuario y la navegación debe ser manejable.
    - **Directriz 2.1 – Teclado accesible:** poder controlar todas las funciones desde el teclado.
    - **Directriz 2.2 – Tiempo suficiente:** proporciona tiempo suficiente a los usuarios para leer y utilizar el contenido.
    - **Directriz 2.3 – Ataques epilépticos:** no diseñar contenido que pueda causar ataques epilépticos.
    - **Directriz 2.4 – Navegación:** proporciona formas para ayudar a los usuarios a navegar, a buscar contenido y a determinar dónde están estos.
3. **Principio 3 – Comprensible:** la información y las operaciones de usuarios deben ser comprensibles.
    - **Directriz 3.1 – Legible:** hacer contenido de texto legible y comprensible.
    - **Directriz 3.2 – Previsible:** hacer la apariencia y la forma de utilizar las páginas web previsibles.
    - **Directriz 3.3 – Asistencia a la entrada de datos:** los usuarios de ayuda evitarán y corregirán errores.
4. **Principio 4 – Robustez:** el contenido deber ser suficientemente robusto para que pueda ser bien interpretado por una gran variedad de agentes de usuario, incluyendo tecnologías de asistencia.
    - **Directriz 4.1 – Compatible:** maximiza la compatibilidad con los agentes de usuario actuales y futuros, incluyendo tecnologías de asistencia.

2.2. Niveles de conformidad

Los niveles de conformidad son tres (World Wide Web Consortium, 2008):

- **Nivel A:** para lograr la conformidad con el nivel A (el nivel mínimo de conformidad), la página web cumple con todos los criterios de éxito del nivel A, o se proporciona una versión alternativa conforme.

- **Nivel AA:** para lograr la conformidad con el nivel AA, la página web satisface todos los criterios de éxito de nivel A y nivel AA, o se proporciona una versión alternativa que cumple con el nivel AA.
- **Nivel AAA:** para lograr la conformidad con el nivel AAA, la página web satisface todos los criterios de éxito de nivel A, nivel AA y nivel AAA, o se proporciona una versión alternativa que cumple con el nivel AAA.

En la Figura 1, se presentan los criterios de éxito, con sus niveles de conformidad por cada uno de los principios de la WCAG 2.0.

2.3. Normativas de accesibilidad web en Ecuador

El 28 de enero de 2014 el Instituto Ecuatoriano de Normalización publicó en el registro oficial No 171 la aprobación de la norma NTE INENISO/IEC 40500 "Tecnología de la información – Directrices de accesibilidad para el contenido web del W3C (WCAG) 2.0 (ISO/IEC 40500:2012, IDT)" (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2014). El 10 de febrero de 2016, el servicio Ecuatoriano de Normalización publicó el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 "Accesibilidad para el contenido web" (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016). Este reglamento entró en vigor el 8 de agosto de 2016 y establece: i) aplica a los contenidos web publicados en los sitios web del sector público y privado que presten servicios públicos, ii) se debe satisfacer por completo el nivel de conformidad AA, establecido en la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500, esta norma es una traducción exacta de WCAG 2.0, iii) por último, se incluyen dos disposiciones transitorias sobre el plazo para cumplir con el reglamento y la norma:

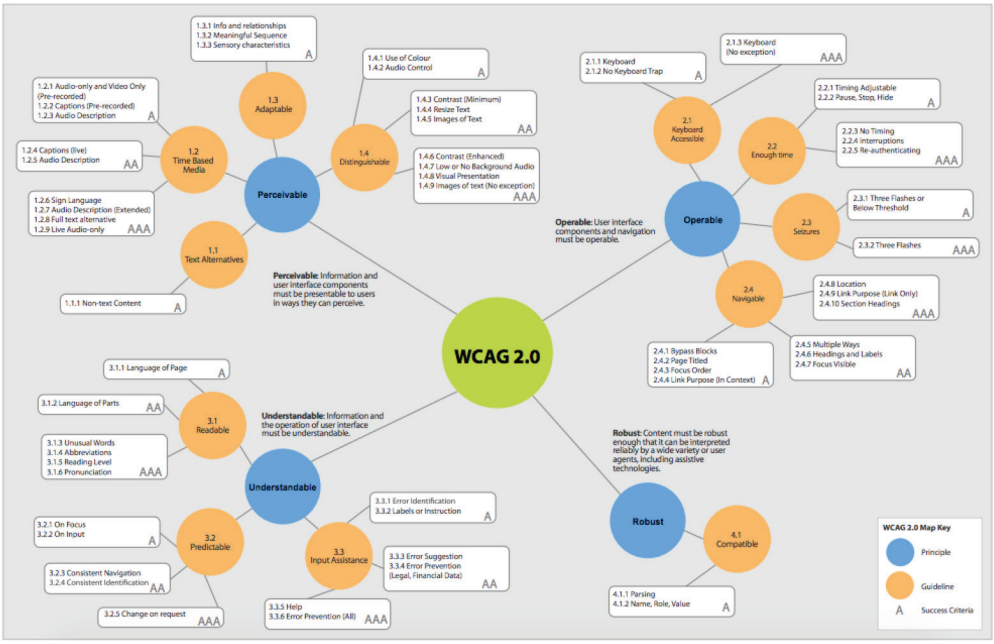


Figura 1 – WCAG 2.0 Map (Stamford Interactive, 2012).

- **Transitoria Primera:** los propietarios de los sitios web a los que se aplica este reglamento técnico tendrán un plazo de 2 años para adecuar sus sitios web existentes al momento de entrar en vigencia el reglamento de acuerdo al nivel de conformidad A de la norma NTE INEN vigente. El 8 de agosto de 2018, todos los sitios web ecuatorianos que presten un servicio público deben ser accesibles WCAG 2.0 nivel A.
- **Transitoria Segunda:** los propietarios de los sitios web a los que se aplica este reglamento técnico tendrán un plazo de 4 años para adecuar sus sitios web existentes al momento de entrar en vigencia el reglamento de acuerdo al nivel de conformidad AA. de la norma INEN vigente. El 8 de agosto de 2020, todos los sitios web ecuatorianos que presten un servicio público deben ser accesibles WCAG 2.0 nivel AA.

Además, el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 "Accesibilidad para el contenido web" (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016) emite un Régimen de Sanciones: el propietario del sitio web que incumpla con lo establecido en este reglamento técnico recibirá las sanciones previstas en la Ley No. 2007-76 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, Ley Orgánica de Comunicación y demás leyes vigentes.

2.4. Herramientas de evaluación de accesibilidad web en línea

Las herramientas de evaluación de accesibilidad web son programas de software o servicios en línea que ayudan a determinar si el contenido web cumple con las directrices de accesibilidad (World Wide Web Consortium, 2006). A veces, las herramientas de evaluación pueden producir resultados falsos o engañosos. Las herramientas de evaluación de accesibilidad web no pueden determinar la accesibilidad ellas solas, solo ayudan a la evaluación que realice un experto en accesibilidad web (World Wide Web Consortium, 2017).

2.4.1. Examinator

Examinator[1] es un servicio en línea para evaluar de modo automático la accesibilidad de una página web, usando como referencia algunas técnicas recomendadas por las WCAG 2.0. Adjudica una puntuación entre 1 y 10 como un indicador rápido de la accesibilidad de las páginas y proporciona un informe detallado de las pruebas realizadas.

2.4.2. AccessMonitor

AccessMonitor[2] es un validador automático que comprueba la aplicación de las WCAG 2.0 en el contenido HTML de un sitio web; se puede utilizar desde cualquier dispositivo que ejecuta un navegador web es totalmente universal. AccessMonitor produce automáticamente un informe cualitativo para cada página que se le envía.

[1] Examinator: Web accessibility evaluation. Retrieved from http://examinator.ws/
[2] AccessMonitor: Nota técnica del validador AccessMonitor. Obtenido de http://www.acessibilidade.gov.pt/accessmonitor/nota_tecnica.html

2.4.3. TAW

TAW[3] es una herramienta automática en línea para analizar la accesibilidad de sitios web. El objetivo de TAW es comprobar el nivel de accesibilidad alcanzado en el diseño y desarrollo de páginas web con el fin de permitir el acceso a todas las personas independientemente de sus características diferenciadoras; está destinada tanto a usuarios sin experiencia que quieren conocer el grado de accesibilidad de su sitio web como para administradores de sitios web, desarrolladores, diseñadores de páginas web, etc.

2.4.4. TENON

TENON[4] es una herramienta automática en línea que tiene una metodología de pruebas rigurosa, precisa y exhaustiva, ofreciendo una eficiencia sin precedentes. Su objetivo no es sólo encontrar problemas de accesibilidad, sino ayudarle a que su sistema cumpla con las normas lo antes posible.

3. Trabajos relacionados

En otra investigación en el año 2016 (Acosta-Vargas, Luján-Mora, & Salvador-Ullauri, 2016), se analizó el nivel de cumplimiento de las directrices de accesibilidad en los portales web de 10 universidades del Ecuador (3 Categoría A y 7 Categoría B) utilizando las herramientas en línea TAW y Examinator. De las páginas web analizadas, los autores determinaron que ninguna cumple con las pautas de accesibilidad requeridas, por lo tanto, las páginas no son accesibles.

En una investigación realizada en 2019 (Rodríguez, Antepara, & Braganza, 2019), se evaluó la accesibilidad de los sitios web de la Universidad de Guayaquil, Universidad Agraria del Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y Universidad de Artes (UARTES), todas de naturaleza pública de la ciudad de Guayaquil. Los autores toman como muestra cinco páginas de cada sitio web y 38 criterios que cumplen con los niveles de conformidad A y AA. Ellos concluyeron que los sitios web de las instituciones públicas de Educación Superior en Guayaquil tienen, en promedio, un nivel deficiente de accesibilidad en la aplicación del estándar NTE INEN ISO / IEC 40500:2012.

Nuestra investigación, a diferencia de las anteriores, presenta el análisis de accesibilidad de los 55 portales web de las universidades del Ecuador categorizadas (8 categoría A, 28 categoría B y 19 categoría C) por el Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CACES) (Consejo del Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, 2018). Además, esta investigación realiza el análisis de accesibilidad web luego de haber entrado en vigor el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido web” y haber cumplido el plazo de su primera transitoria.

[3] TAW: Web accessibility test. Obtenido de https://www.tawdis.net/
[4] TENON: Services. Obtenido de https://tenon.io/services

4. Metodología

La metodología aplicada para evaluar la accesibilidad de los portales web se compone de cuatro pasos:

1. **Selección de los portales web de las universidades del Ecuador:** con información publicada por el CACES (Consejo del Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, 2018), encargada de ejercer la rectoría política para la evaluación, acreditación y el aseguramiento de la calidad de las Instituciones de Educación Superior en Ecuador, sus programas y carreras. Esta investigación realiza la evaluación de los 55 portales web de las universidades acreditadas por el CACES, tomando como muestra 4 páginas web de cada portal.
2. **Evaluación de las páginas de inicio:** para determinar los errores de accesibilidad de las 55 páginas de inicio se utilizaron las herramientas en línea Examinator y AccessMonitor. Las páginas de inicio son la primera impresión y la carta de presentación que se le da al usuario que visita un sitio web. Además, estas páginas permiten a los usuarios desplazarse entre los demás sitios de los portales web.
3. **Evaluación de los portales web:** para determinar los errores de accesibilidad de las 220 páginas web seleccionadas de los portales web se utilizaron las herramientas en línea TAW y TENON.
4. **Nivel de cumplimiento y propuesta de solución:** para establecer el nivel de cumplimiento se verificó los iconos que certifiquen la accesibilidad de los sitios por la World Wide Web Consortium (W3C) en HTML, CSS y sus niveles de conformidad A, AA y AAA. A partir de los resultados obtenidos se corrobora el nivel de cumplimiento de la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012 con un nivel de conformidad AA.

5. Resultados

5.1. Selección de los portales web de las universidades del Ecuador

En la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) (Consejo de Educación Superior, 2018) en su vigésima tercera disposición general establece que “el CACES verificará que las Instituciones de Educación Superior tengan implementados los requerimientos de accesibilidad universal para promover el acceso a la Educación Superior de las personas con discapacidad, observando las disposiciones aplicables en esta materia, en coordinación con el CONADIS”. En la Tabla 1, se presentan los portales web de las 55 universidades y escuelas politécnicas categorizadas por el CACES que será el objeto de estudio en esta investigación.

No.	Abreviaturas	Universidades del Ecuador	URL Portal web
1	EPN	Escuela Politécnica Nacional	https://www.epn.edu.ec
2	ESPAM	Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí	http://web1.espam.edu.ec
3	ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	https://www.espoch.edu.ec

No.	Abreviaturas	Universidades del Ecuador	URL Portal web
4	ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral	http://www.espol.edu.ec
5	FLACSO	Facultad Latinoamérica de Ciencias Sociales Sede Ecuador	https://www.flacso.edu.ec
6	IAEN	Instituto de Altos Estudios Nacionales	https://www.iaen.edu.ec
7	PUCE	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	https://www.puce.edu.ec
8	UAGRARIA	Universidad Agraria del Ecuador	http://www.uagraria.edu.ec
9	UASB	Universidad Andina Simón Bolívar	http://www.uasb.edu.ec
10	CASAGRANDE	Universidad Casa Grande	http://www.casagrande.edu.ec
11	UCACUE	Universidad Católica de Cuenca	https://www.ucacue.edu.ec
12	UCSG	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	https://www.ucsg.edu.ec
13	UCE	Universidad Central del Ecuador	http://www.uce.edu.ec
14	UCUENCA	Universidad de Cuenca	https://www.ucuenca.edu.ec
15	UDET	Universidad de Especialidades Turísticas	https://udet.edu.ec
16	UG	Universidad de Guayaquil	http://www.ug.edu.ec
17	UDLA	Universidad de las Américas	https://www.udla.edu.ec
18	ESPE	Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”	https://www.espe.edu.ec
19	UHEMISFERIOS	Universidad de los Hemisferios	https://www.uhemisferios.edu.ec
20	UOTAVALO	Universidad de Otavalo	http://www.uotavalo.edu.ec
21	UAZUAY	Universidad del Azuay	http://www.uazuay.edu.ec
22	UPACIFICO	Universidad del Pacífico Escuela de Negocios	http://www.upacifico.edu.ec
23	UEA	Universidad Estatal Amazónica	https://www.uea.edu.ec
24	UEB	Universidad Estatal de Bolívar	http://www.ueb.edu.ec
25	UNEMI	Universidad Estatal de Milagro	http://www.unemi.edu.ec
26	UNESUM	Universidad Estatal del Sur de Manabí	http://unesum.edu.ec
27	UPSE	Universidad Estatal Península de Santa Elena	https://www.upse.edu.ec
28	UNIBE	Universidad Iberoamérica del Ecuador	https://www.unibe.edu.ec
29	UIDE	Universidad Internacional del Ecuador	https://uide.edu.ec
30	ULEAM	Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí	http://www.uleam.edu.ec
31	ULVR	Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	http://www.ulvr.edu.ec
32	UMET	Universidad Metropolitana	https://www.umet.edu.ec
33	UNACH	Universidad Nacional de Chimborazo	http://www.unach.edu.ec
34	UNL	Universidad Nacional de Loja	https://unl.edu.ec

No.	Abreviaturas	Universidades del Ecuador	URL Portal web
35	UEES	Universidad Particular de Especialidades Espíritu Santo	http://www.uees.edu.ec
36	UISEK	Universidad Particular Internacional SEK	https://www.uisek.edu.ec
37	UPEC	Universidad Politécnica Estatal del Carchi	http://www.upec.edu.ec
38	UPS	Universidad Politécnica Salesiana	https://www.ups.edu.ec
39	UNIANDES	Universidad Regional Autónoma de los Andes	https://www.uniandes.edu.ec
40	USFQ	Universidad San Francisco de Quito	http://www.usfq.edu.ec
41	SANGREGORIO	Universidad San Gregorio de Portoviejo	http://www.sangregorio.edu.ec
42	UTA	Universidad Técnica de Ambato	https://www.uta.edu.ec
43	UTB	Universidad Técnica de Babahoyo	https://www.utb.edu.ec
44	UTC	Universidad Técnica de Cotopaxi	http://www.utc.edu.ec
45	UTMACHALA	Universidad Técnica de Machala	https://www.utmachala.edu.ec
46	UTM	Universidad Técnica de Manabí	https://www.utm.edu.ec
47	UTN	Universidad Técnica del Norte	https://www.utn.edu.ec
48	UTEQ	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	http://www.uteq.edu.ec
49	UTELVT	Universidad Técnica Luis Vargas Torres Esmeraldas	http://utelvt.edu.ec
50	UTPL	Universidad Técnica Particular de Loja	https://www.utpl.edu.ec
51	ECOTEC	Universidad Tecnológica ECOTEC	https://www.ecotec.edu.ec
52	UTEG	Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil	https://www.uteg.edu.ec
53	UTE	Universidad Tecnológica Equinoccial	https://www.ute.edu.ec
54	UTI	Universidad Tecnológica Indoamérica	http://www.uti.edu.ec
55	UISRAEL	Universidad Tecnológica Israel	https://uisrael.edu.ec

Tabla 1 – Portales web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador.

5.2. Evaluación de las páginas de inicio

Para evaluar la accesibilidad de las páginas de inicio utilizamos las herramientas Examinator y AccessMonitor, porque estas proporcionan una orientación específica para autores y evaluadores sobre el cumplimiento de los criterios de éxito de las WCAG en técnicas (Técnicas suficientes, Técnicas de asesoramiento y Fallas), que incluyen ejemplos de código, recursos y pruebas. Examinator tiene la limitación de no evaluar las páginas web cuyo URL está basado en el protocolo seguro HTTPS, por lo tanto estas se evaluaron con AccessMonitor. En el diagrama de Pareto Figura 2, se puede observar el porcentaje de cumplimiento de accesibilidad web alcanzado por las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador en la escala de 0 a 10.

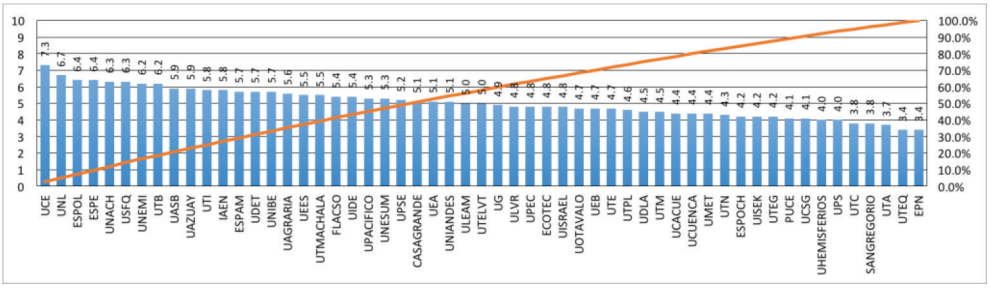


Figura 2 – Diagrama de Pareto de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador.

Utilizando Examinator y AccessMonitor se alcanza un promedio de 5.04 en el cumplimiento de accesibilidad de las páginas de inicio en las universidades y escuelas politécnicas de Ecuador.

5.3. Evaluación de los portales web

Se utiliza TAW y TENON para determinar los problemas por cada principio de la WCAG 2.0 y ver el código de sus errores. Para lo cual, se toma como muestra cuatro páginas de cada portal web de las universidades del Ecuador: inicio, investigación, vinculación con la sociedad y oferta académica o admisiones. Teniendo en cuenta los tres ejes sustantivos de la Educación Superior en el Ecuador (Docencia, Investigación y Vinculación con la Sociedad). En la Tabla 2, se muestra el promedio de errores por cada uno de los principios perceptible (P), operable (O), comprensible (C) y robusto (R); sobre las tecnologías HTML y CSS con un nivel de conformidad AA con TAW y el promedio de errores con TENON.

No.	Universidades	Páginas Analizadas	TAW				TENON
			P	O	C	R	Errores
1	EPN	4	136	70	28	46	211
2	ESPAM	4	542	115	13	315	674
3	ESPOCH	4	57	289	41	198	598
4	ESPOL	4	262	203	52	252	1624
5	FLACSO	4	790	309	44	11	1792
6	IAEN	4	275	138	76	250	1736
7	PUCE	4	451	205	24	11	2116
8	UAGRARIA	4	538	359	48	681	1925
9	UASB	4	325	179	92	242	936
10	CASAGRANDE	4	830	231	21	591	1138
11	UCACUE	4	1055	298	66	633	1798
12	UCSG	4	579	191	40	33	1370
13	UCE	4	482	1056	44	2510	7846

No.	Universidades	Páginas Analizadas	TAW				TENON
			P	O	C	R	Errores
14	UCUENCA	4	107	169	371	12	3043
15	UDET	4	343	159	44	50	691
16	UG	4	609	180	118	493	1291
17	UDLA	4	200	464	67	315	3461
18	ESPE	4	392	243	39	93	1664
19	UHEMISFERIOS	4	468	253	77	165	2446
20	UOTAVALO	4	638	262	47	235	790
21	UAZUAY	4	114	80	24	1125	1228
22	UPACIFICO	4	4180	1060	60	448	6104
23	UEA	4	557	398	48	71	3821
24	UEB	4	141	100	28	875	787
25	UNEMI	4	195	152	76	1180	1570
26	UNESUM	4	107	87	21	559	452
27	UPSE	4	249	125	23	23	686
28	UNIBE	4	153	133	35	76	533
29	UIDE	4	227	154	24	51	2314
30	ULEAM	4	277	247	88	257	1172
31	ULVR	4	604	424	104	220	1702
32	UMET	4	476	165	21	104	829
33	UNACH	4	1472	1019	91	2730	732
34	UNL	4	21	88	4	35	1305
35	UEES	4	232	203	23	158	1429
36	UISEK	4	656	111	92	85	3270
37	UPEC	4	681	201	95	257	669
38	UPS	4	366	220	44	110	1211
39	UNIANDES	4	394	376	74	103	2638
40	USFQ	4	117	102	11	194	1796
41	SANGREGORIO	4	234	330	87	391	1275
42	UTA	4	305	368	22	121	3902
43	UTB	4	237	292	26	181	1732
44	UTC	4	457	165	48	226	1434
45	UTMACHALA	4	813	192	45	328	1042
46	UTM	4	689	193	41	68	663
47	UTN	4	147	133	44	50	1471
48	UTEQ	4	1201	295	120	408	1084
49	UTELVT	4	167	538	34	43	4707

No.	Universidades	Páginas Analizadas	TAW				TENON
			P	O	C	R	Errores
50	UTPL	4	513	446	60	112	1200
51	ECOTEC	4	322	224	90	61	1679
52	UTEG	4	739	564	56	353	2954
53	UTE	4	768	678	66	137	1598
54	UTI	4	391	183	24	1953	882
55	UISRAEL	4	591	213	54	68	2187
TOTAL:		**220**	**27872**	**15632**	**3155**	**20297**	**99208**
Promedio errores / página			**126.69**	**71.05**	**14.34**	**92.26**	**450.95**

Tabla 2 – Promedio de errores y advertencias de los portales web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador utilizando TAW y TENON.

La media de errores en los portales web es calculada del promedio de errores / página, teniendo un promedio de 151.06 de los datos obtenidos de las herramientas online TAW y TENON. En la Figura 3 se muestra el porcentaje de errores obtenidos por cada principio y páginas web analizadas.

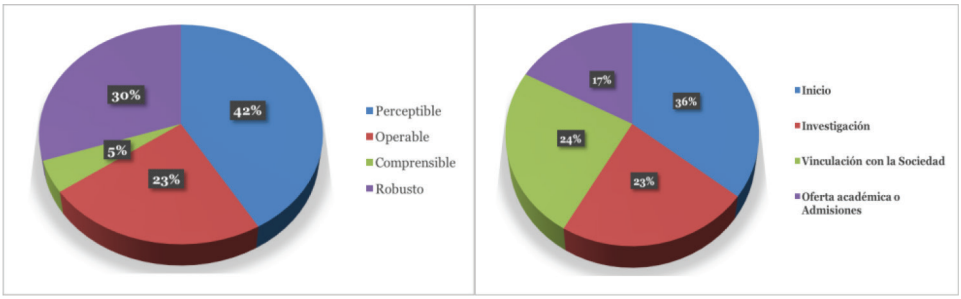


Figura 3 – Porcentaje de errores por cada principio y páginas web analizadas.

Con la evaluación de TAW se determina que el 79 % son advertencias que se deben revisar en el diseño y contenido de las páginas web, el 16 % son problemas que se deben corregir y el 5 % son puntos no verificados que requieren de un análisis manual completo para su cumplimiento. Utilizando WhatCMS.org que analiza una variedad de factores para determinar qué sistemas gestores de contenidos (CMS, del inglés Content Management Systems) está utilizando un sitio web. Se pudo determinar que el 80 % de los portales web están realizados en WordPress (22), Joomla (11), Drupal (5), Liferay (3), Umbraco (1), SharePoint (1), DNN (1) y el 20 % en otros (11).

5.4. Nivel de cumplimiento

Luego de haber revisado los portales web de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador se verifica que ninguna tiene los iconos que certifiquen la accesibilidad de los

sitios por la W3C en HTML, CSS o sus niveles de conformidad A, AA y AAA. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determina que es necesario corregir errores en todos los portales web analizados de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador. Por lo tanto, es evidente su incumplimiento con la segunda transitoria del reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 288, que establece que todos los sitios web ecuatorianos que proporcionan un servicio público deben ser accesibles WCAG 2.0 nivel AA hasta el 8 de agosto de 2020.

6. Conclusiones

Para lograr la conformidad con el nivel AA, las páginas web deben satisfacer todos los criterios de éxito de nivel A y nivel AA. Las páginas web analizadas de las universidades y escuelas politécnicas del Ecuador tienen errores en los principios Perceptible (contenido no textual, información y relaciones), Operable (tiempo ajustable, titulado de páginas, propósito de los enlaces), Comprensible (idioma de la página, al recibir entradas – al introducir datos, etiquetas o instrucciones) y Robusto (procesamiento, nombre, función y valor). Se requiere corregir errores en todos los portales web. Según, López, Pascual, Masip, Granollers y Cardet (2011), todos los CMS pueden ser configurados para que sean accesibles. También, se puede inferir que las páginas web de las universidades y escuelas politécnicas no fueron diseñadas con una visión de accesibilidad web. La apreciación anterior da una primera impresión de la estructura y diseño de los sitios web, considerando que los resultados son preliminares; se deben realizar pruebas con expertos para que los resultados sean fiables y completos.

Según estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (Organización Mundial de la Salud, 2011, pág. 5) y el CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2019) existe un incremento progresivo de personas con discapacidad. La Constitución del Ecuador (Asamblea Nacional, 2018) en la sección quinta educación Art. 26 estipula que la "educación es un derecho de las personas a lo largo de su vida y un deber ineludible e inexcusable del Estado. Constituye un área prioritaria de la política pública y de la inversión estatal, garantía de la igualdad e inclusión social y condición indispensable para el buen vivir".

Los problemas de accesibilidad web encontrados vulneran los derechos legales de las personas con discapacidad, estas pueden demandar contra los sitios web según las leyes y regulaciones vigentes en Ecuador. El desafío de las universidades y escuelas politécnicas es emprender proyectos de accesibilidad para el cumplimiento de la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500:2012 y la segunda transitoria del reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 288 "Accesibilidad para el contenido web" y demás leyes vigentes de inclusión educativa.

Referencias

Acosta-Vargas, P., Luján-Mora, S., & Salvador-Ullauri, L. (2016). Evaluación de la Accesibilidad de las páginas web de las universidades ecuatorianas. *Revista de Congreso de Ciencia y Tecnología*, 11, 181–187.

Asamblea Nacional. (2018). Constitución de la República del Ecuador. Obtenido de http://cort.as/-I6rY

Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. (2018). Categorización Universidades. Obtenido de http://cort.as/-HmQE

Consejo de Educación Superior. (2018). Ley Orgánica de educación Superior. Obtenido de http://www.ces.gob.ec/documentos/Normativa/LOES.pdf

Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2019). Estadísticas de Discapacidad. Obtenido de http://cort.as/-I6rn

International Organization for Standardization. (2012). Information technology – W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. Obtenido de https://www.iso.org/standard/58625.html

López, J. M., Pascual, A., Masip, L., Granollers, T., & Cardet, X. (2011). Influence of Web Content Management Systems in Web Content Accessibility. *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, (págs. 548–551). Heidelberg (Berlin). doi:10.1007/978-3-642-23768-3_79

Organización Mundial de la Salud. (2011). Resumen informe mundial sobre la discapacidad. Obtenido de http://cort.as/-I6s9

Rodríguez, L., Antepara, J., & Braganza, L. (2019). Web accessibility analysis of the Universities and Public Polytechnic Schools of Guayaquil applying the NTE INEN ISO/IEC 40500: 2012 Standard. *Espirales Revista Multidisciplinaria de investigación*, 3(27), 59–77. doi:10.31876/er.v3i27.555

Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2014). Tecnología de la información - Directrices de accesibilidad para el contenido web del W3C (WCAG) 2.0. Obtenido de http://cort.as/-Hr0S

Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 288 'accesibilidad para el contenido web'. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0Bxl4LLo2QyyJdURfOHViRGpCNFU/view

Stamford Interactive. (2012). WCAG 2.0 Map. Obtenido de http://cort.as/-NJ3I

United Nations. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities – Articles. Obtenido de http://cort.as/-GlqK

World Wide Web Consortium. (2006). Web Accessibility Evaluation Tools List. Obtenido de https://www.w3.org/WAI/ER/tools/

World Wide Web Consortium. (2008). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. Obtenido de http://www.w3.org/TR/WCAG20/

World Wide Web Consortium. (2017). Selecting Web Accessibility Evaluation Tools. Obtenido de https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/tools/selecting/

World Wide Web Consortium. (2018a). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Obtenido de https://www.w3.org/TR/WCAG21/

World Wide Web Consortium. (2018b). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) Overview. Obtenido de https://www.w3.org/WAI/intro/wcag-new

World Wide Web Consortium. (2019). Introduction to Web Accessibility. Obtenido de https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/

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

Recebido/Submission: 04/03/2019
Aceitação/Acceptance: 25/06/2019

Optimización del transporte público urbano mediante algoritmos de búsqueda Tabú y PSO: Medellín, Colombia

Laura Betancur-Delgado[1], Miguel A. Becerra[2], Carolina Duque-Mejía[1], Diego Peluffo-Ordóñez[1], Karla C. Álvarez-Uribe[2],

laura.d.26@hotmail.com, migb2b@gmail.com, caroduquegm@gmail.com, dpeluffo@yachaytech.edu.ec, karlaalvarez@itm.edu.co.

[1] Universidad Yachay Tech, SDAS-Group, 100115, Urcuqui´, Ecuador.

[2] Instituto Tecnológico Metropolitano, 050042, Medellín, Colombia.

Pages: 69–80

Resumen: El transporte público urbano en la ciudad de Medellín (Col) ha tenido un desarrollo drástico y un cambio significativo, pero insuficiente debido al aumento de la densidad de la población. Este trabajo presenta un análisis comparativo del algoritmo Tabu Search (TS) y el algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), proponiendo una optimización del servicio del transporte público urbano en la zona norte de la ciudad de Medellín (Col), utilizando variables de diferentes dependencias organizacionales (mecánica de vehículos, gestión de recursos humanos, gestión ambiental y operativa). Los algoritmos lograron la convergencia teniendo como objetivo la maximización de la rentabilidad respecto al uso de los autobuses durante la jornada operativa. Se obtuvo una propuesta de planificación de ruta que permite aumentar el 25% de los usuarios, mejorar los tiempos de servicio, generando un desarrollo sostenible para el medio ambiente y la empresa de transporte.

Palabras-clave: Transporte público urbano; Optimización de rutas; Optimización por Enjambre de Partículas; Optimización por Búsqueda Tabú; Problema de programación de buses.

Public urban transport optimization by means of Tabu search and PSO algorithms: Medellín, Colombia

Abstract: Urban public transport in the city of Medellín (Col) has had a positive development, however insufficient due to the increase in population density. This paper presents a comparative analysis of the Tabu Search algorithm (TS) and the Particle Swarm Optimization algorithm (PSO). It proposes an optimization of the urban public transport service in the northern area of the city, using variables from different organizational units (vehicle mechanics, human resources management, environmental and operational management). The algorithms achieved convergence with the objective of maximizing profitability regarding the use of buses during

the operating day. A route planning proposal was obtained that allows a user's increment of 25%, improve service times, generating sustainable development for the environment and the transport company

***Keywords**:* Urban public transport: Route optimization; Particle swarm optimization; Tabu search optimization; Bus scheduling problem.

1. Introducción

La rápida urbanización en los países en desarrollo ha llevado a un aumento sin precedentes en la demanda de servicios de movilidad, que a su vez ha ejercido una enorme presión para generar soluciones de infraestructura y de servicios de transporte público (Guzmán & Oviedo, 2018). Este creciente interés en el desarrollo de soluciones para un transporte público eficiente, implica nuevas oportunidades y desafíos para explorar la interacción entre la estructura y la dinámica del sistema, siendo fundamental para optimizar el servicio de transporte público.

Actualmente, el transporte público ocupa un lugar destacado en las recientes agendas de desarrollo y políticas urbanas en todo el mundo (Borck, 2019), convirtiéndose en el principal mecanismo para articular estructuras urbanas y proporcionar acceso al territorio (Guzmán & Oviedo, 2018). Los efectos ambientales a menudo figuran como una de los principales desafíos (Borck, 2019; Noland & Lem, 2002), sin desconocer los efectos sobre el tráfico vehicular y la generación de otras externalidades derivadas del servicio como ruido, introspección visual, afectaciones de espacios públicos, entre otros.

Particularmente, en la ciudad de Medellín, la oferta de servicios eficientes de transporte público, ha sido lenta y no ha logrado satisfacer completamente las necesidades de movilidad de la población urbana debido a varias restricciones de índole geográfico, además de fiscales e institucionales. Para la Ciudad, el transporte público ha experimentado un proceso de transformación centrado en el desarrollo sostenible y ambiental durante los últimos años, que se entiende como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras (Möller, 2003). Sin embargo, sigue siendo necesario abordar actividades de planeación de forma operativa que permita responder a las variaciones de tiempo o como respuesta a los cambios permanentes producidos en el servicio.

Diversas soluciones emanadas de políticas públicas y de prestadores de servicios han intentado ofrecer algunas soluciones para satisfacer un servicio eficiente de transporte, mitigando la congestión, los efectos ambientales entre otras externalidades ocasionadas, ofreciendo mejor infraestructura (medición en rampas, semáforos 'inteligentes', extensión de carriles, sistemas BRT – Sistema Metro), y abordando otras soluciones operativas como la flexibilidad o el ajuste de rutas y paradas durante los períodos pico, o proponiendo cambios en la programación de rutas que permitan mayor acceso a la población.

La literatura ha identificado diferentes actividades de planeación a corto plazo (planificación operativa), mediano y largo plazo (táctica y estratégica) para el diseño eficiente de un sistema de transporte público (Desaulniers & Hickman, 2007). Actividades estratégicas-tácticas como el estudio de la demanda desde los diferentes

orígenes a diferentes destinos en la ciudad, la división modal, y el diseño de las líneas o rutas son usualmente abordados por los reguladores (Jaramillo-Álvarez P., González-Calderón & González-Calderón (2013). Otras actividades generalmente abordadas por los prestadores del servicio, como la determinación de la frecuencia, la programación de horarios, planificación de la ruta y la asignación de viajes figuran dentro de los horizontes de planeación táctica-operativa, siendo cuidadosamente considerados como actividades de cumplimiento secuencial (Martínez, Mauttone & Urquhart, 2014; Farahani, Miandoabchi, Szeto & Rashidi, 2013; Ceder & Wilson, 1986).

La planificación de rutas de autobuses y el establecimiento de frecuencias como determinantes críticos del rendimiento del sistema, han cobrado real importancia (Ceder & Wilson, 1986), sin embargo, estos no han recibido el mismo grado de esfuerzo para mejorar la práctica actual comparado con las demás actividades relacionadas con la programación. No obstante, algunos trabajos han prestado cierta atención al problema de establecer frecuencias de manera eficiente. La literatura reporta diversos estudios usando algoritmos metaheurísticos para determinar la frecuencia, reducir las paradas, desarrollar tablas de tiempos, mejorar la asignación de rutas entre otros. Torabi & Salari (2019) emplean *Tabu Search* (TS) y *Simulating Annealing* (SA) para limitar el número de paradas no usadas, mostrando que la capacidad no utilizada de la flota se puede reducir hasta en un 48%. Métodos híbridos combinando el uso de dos o más algoritmos han sido desarrollados. Sicilia, Escuín, Royo, Larrodé & Medrano (2014), aplicaron los algoritmos *Variable Neighbourhood Search* y *Tabu Search* (TS) junto con mejoramientos locales para resolver el problema de la distribución de productos en áreas urbanas. Giesen, Martínez, Mauttone & Urquhart (2016), minimizaron el tiempo de viaje total de los usuarios y el tamaño de la flota al mismo tiempo aplicando *Tabu Search* (TS), mientras que Wang (2017), aplica estos conceptos para el problema de última milla en el transporte público. Por su parte, Arbex & da Cunha (2015) y Nikolić & Teodorović (2014), aplicaron Algoritmos Genéticos y un enfoque de *Artificial Bee Colony algorithm* para diseñar las rutas de transporte y asignar la frecuencia minimizando los costos operativos y de pasajeros. Similarmente, Jha, Jha & Tiwari (2019), proponen un procedimiento combinado con un Algoritmo Genético y *Particle Swarm Optimization algorithm* (PSO) con múltiples estrategias de búsqueda, con el objetivo de determinar un conjunto eficiente de rutas y proporcionar el mejor porcentaje de viaje directo posible. Las soluciones obtenidas mejoraron significativamente en términos de porcentaje de viaje y optimización de costos comparado con resultados anteriores propuestos por Arbex & da Cunha (2015) y Nikolić & Teodorović (2013).

En este estudio se identifican diferentes problemas que se presentan en la transversalidad de una empresa prestadora de servicios de transporte público de autobuses de la ciudad. Se analiza el escenario actual del sistema de transporte público para abordar los problemas que enfrentan los pasajeros, como el mayor tiempo de espera en las paradas y el largo tiempo de viaje. El problema ha sido dividido en cuatro factores representativos: i) disponibilidad limitada en la operación del autobús, ii) aumento de las horas extras del conductor, iii) alto consumo de combustible y aumento de kilómetros inefectivos (muertos), iv) aumento de frecuencias, disminución de usuarios e insatisfacción con el servicio (ver Figura 1). Estos factores fueron analizados y evaluados, identificando que el proceso más crítico para optimizar, es la operación comercial, siendo susceptible de

mejora con respecto a la planificación del servicio, especialmente en cuanto al aumento significativo de usuarios frecuentes. Los algoritmos *Particle Swarm Optimization algorithm* (PSO) y *Tabu Search* (TS) fueron aplicados y comparados para la realización de la tabla de frecuencias específicamente para la ruta C6-004 denominada "Reserva del Seminario- Estación de exposiciones" perteneciente a las rutas del Sistema Metro de Medellín. Lo anterior demostró que el sistema debe permitir una mayor flexibilidad con respecto a las paradas que definen la red de la ruta C6-004, además de permitir viajes más directos entre cada par de nodos de origen y destino, que puedan mejorar el nivel de comodidad de los pasajeros, el tiempo de viaje confiable y el ahorro de costos para la empresa prestadora del servicio.

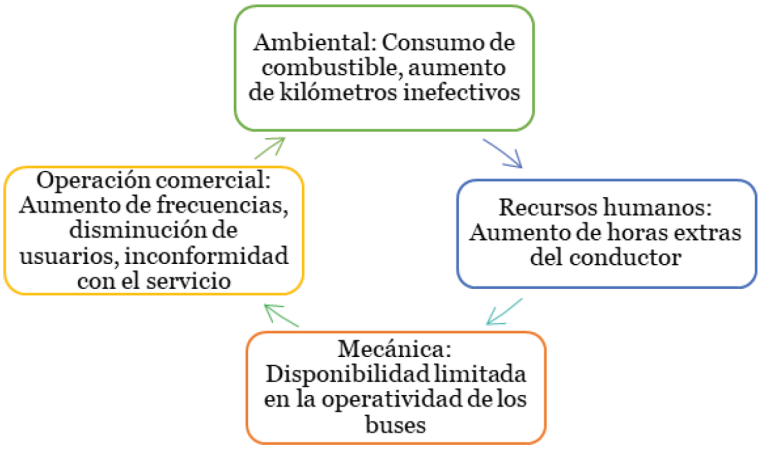


Figura 1 – Problemas identificados por departamento

2. Materiales y métodos

2.1. Base de datos

La base de datos se recopiló de las estadísticas de movilidad para la ruta C6-004 Reserva del seminario-Estación de Exposiciones perteneciente al sistema integrado del Metro de Medellín, a través del software del sistema de ayuda operativa (SAE) y con la autorización de la empresa "Sistema Alimentador Oriental 6" a cargo del contrato de concesión bajo el esquema alimentador del Metro de Medellín. La base de datos consta de los pasajeros movilizados desde enero de 2016 hasta mayo de 2016, para cada una de las paradas. Además, se incluye la distancia entre paradas, el tiempo de permanencia del vehículo y la velocidad punto a punto.

2.2. Algoritmo de optimización Tabu Search (TS)

La búsqueda tabú es un método para resolver problemas desafiantes en el campo de la optimización (Glover & Marti, 2006). El objetivo es identificar las mejores decisiones o acciones para maximizar algunas medidas de mérito. Se aplica ampliamente en viajes o

problemas de TSP, que utiliza procedimientos de búsqueda locales o de vecindario para moverse iterativamente dentro de una solución para satisfacer un criterio de parada establecido. La búsqueda tabú fue desarrollada por Fred Glover (Riojas & Álvarez, 2009; Ruisanchez, dell'Olio & Ibeas, 2012) y se explica considerando un problema continuo de optimización global

$$\begin{cases} \min f(x) \\ s.t\ x \in \Omega \end{cases}$$

donde Ω es un subconjunto compacto del espacio de medida de Lebesgue $(R^n, L(R^n), \mu)$ y f es una función continua definida sobre Ω. El funcionamiento de TS para solucionar el problema (P) es descrito como sigue:

1. Generar un punto inicial $X_o \epsilon\ \Omega$; El conjunto $X_0^* := X_0; k := 0$.
2. Si una condición de finalización es satisfecha para, de lo contrario genera un vector aleatorio y usando la función de densidad de probabilidad.
3. Si $f(y) \leq f(X_k^*), X_{k+1}^* := y, X_{k+1} := y,$ de lo contrario si $f(y) \leq f(X_k), X_{k+1} := y$ de lo contrario si y no satisface las condiciones tabu, entonces $X_{k+1} := y$, de lo contrario $X_{k+1} := X_k$ e ir al ítem 2.

2.3. Algoritmo de optimización por enjambre de partículas (PSO)

PSO fue desarrollado originalmente por Kennedy y Eberhart (Eberhart & Kennedy, 1995). Este es un método heurístico de optimización global, que pertenece a la familia de algoritmos basados en el concepto de inteligencia de enjambre. En analogía con el comportamiento de las bandadas de aves, PSO define el conjunto de candidatos para resolver el problema de optimización como un enjambre de partículas que pueden fluir a través del espacio de búsqueda, que son impulsadas por el rendimiento en sí y el mejor rendimiento de sus vecinos. De hecho, a diferencia de lo que sucede con otros algoritmos inspirados en la naturaleza, la evolución se basa en la cooperación y la competencia entre los mismos individuos a través de generaciones (iteraciones) (Marini & Walczak, 2015). En PSO, cada solución candidata se llama "partícula" y representa un punto en un espacio *D*-dimensional, si *D* es el número de parámetros que se optimizarán. Por consiguiente, la posición de la *i*-ésima partícula puede describirse por el vector $x_i = [x_{i1}\ x_{i2}\ x_{i3} \dots\ x_{iD}]$ y la población de *N* soluciones candidatas constituye el enjambre $X = X_1, X_2, \dots, X_N$. La partícula se mueve de acuerdo con la velocidad, la cual está controlada por la mejor posición alcanzada por la partícula y la mejor posición entre cada partícula, lo que da como resultado un método exploratorio con capacidades de convergencia. La ecuación que controla la velocidad y la posición de cada partícula es:

$$\boldsymbol{V_i^{(t+1)} = \theta V_i^{(t)} + \alpha \epsilon_1 [g^* - X_i^{(t)}] + \beta \epsilon_2 [X_i^* - X_i^{(t)}]}$$

$$\boldsymbol{X_i^{(t+1)} = X_i^{(t)} + V_i^{(t+1)}}$$

Donde, $\boldsymbol{t}$ y $\boldsymbol{t+1}$ indican dos iteraciones sucesivas del algoritmo, $\mathbf{V}_i$ representa la velocidad para la partícula $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{X}_i$ es la posición de la partícula, $\mathbf{g}^*$ representa la mejor posición entre todas la partículas y $\boldsymbol{X}_i^*$ es la mejor posición alcanzada por la partícula $\boldsymbol{i}$. $\boldsymbol{\theta}$, $\boldsymbol{\alpha}$ y $\boldsymbol{\beta}$ son coeficientes de inercia, y de comportamiento grupal e individual respectivamente. Finalmente, ϵ_1 y ϵ_2 son variables aleatorias uniformemente distribuidas que toman valores entre 0 y 1.

2.3. Procedimiento propuesto

Para el Sistema Alimentador oriental 6, es esencial hacer un uso eficiente de los recursos asignados, buscando una mejora continua en la prestación del servicio comercial. Para abordar esta necesidad la empresa utiliza estrategias operativas que permiten una mayor flexibilidad del sistema, a través de diferentes mecanismos de optimización. Para el estudio, fue necesario tener en cuenta la representación matemática de los objetivos de optimización construyendo una propuesta del plan operativo para cada autobús y teniendo en cuenta la relación que existe entre velocidad y tiempo, la distancia entre paradas y pasajeros movilizados. También se debió tener en cuenta el tiempo total de permanencia en el autobús en cada una de las paradas. En la Figura 2, se muestra el procedimiento desarrollado el cual inicia con la recopilación, categorización y agrupación de datos históricos de las diferentes variables definidas, luego se aplican técnicas de suavizado de datos a través de tendencias y estacionalidad, debido a que la movilidad en la ciudad tiene picos altos y bajos, donde estos picos hacen que sea difícil conocer la movilidad real. Luego se realiza un análisis de relevancia y reducción de dimensiones usando análisis de componentes principales, posteriormente se aplican los algoritmos de optimización TS y PSO y finalmente se realiza el análisis de los resultados.

Figura 2 – Metodología desarrollada

Para el desarrollo de la metodología, se tienen en cuenta consideraciones especiales para planificar una línea comercial, asegurando que la demanda de pasajeros esté en línea con la oferta, considerando las siguientes restricciones: *i*) La capacidad de los autobuses es de 40 pasajeros. *ii*) La velocidad comercial actual para cada parada de la ruta C6-004 es de 12 km / h. *iii*) Para llevar a cabo la planificación, se tiene en cuenta lo tipos de días: lunes a viernes (día laboral) y sábado y domingos y feriados (no laborables). *iv*) La planificación es efectiva teniendo en cuenta los intervalos de tiempo para cada tipo de día y la planificación de acuerdo con la demanda estipulada como horas pico y horas valle. Para los algoritmos TS y PSO, se realiza una comparación de resultados que permite determinar la rentabilidad del transporte público urbano tanto para los usuarios como para la empresa. Su objetivo es un aumento significativo de usuarios que

sea aproximadamente un 25% en condiciones garantizando una mayor flexibilidad en la planificación de las líneas comerciales. El algoritmo de Tabu Search, permite iterar respetando las restricciones que son específicas del caso de estudio, donde el punto inicial y final debe ser el mismo. Cuando el algoritmo pasa por una posible solución, lo marca como tabú y continúa buscando la solución más óptima. La búsqueda termina cuando no hay más soluciones tabú. En el caso de PSO, la búsqueda se lleva a cabo aleatoriamente para determinar qué solución tiene la densidad más alta, cada partícula tiene una posición y velocidad dentro del espacio de búsqueda. En la aplicación las funciones objetivo se muestran a continuación:

$$VC = DR/tV$$

$$fL = Dem/CO$$

$$int_t = pO/fR$$

$$vehr = tT/int_t$$

donde *VC*: velocidad comercial, *DR*: Distancia de la ruta, *tV*: tiempo de viaje, *fL*: frecuencia de línea, *Dem*: demanda[pasajeros/(hora)], *CO*: capacidad ofrecida [pasajeros/(vehiculo)], *int_t:*intérvalo de tiempo [*min*], *pO:* periodo de operación [*min*], *fR:* frecuencia requerida *[(vehiculo)/(hora)], vehr:* vehiculo requerido*, tT:* tiempo total [*min*].

En los históricos de información, existe una demanda para cada tipo de día, para cada intervalo de tiempo, de la misma manera que la ocupación de cada parada que conforma la definición de red de la ruta. Estas funciones como datos, permiten generar información sobre tiempos de viaje y demoras en paradas dentro de un servicio asociado con la ruta C6-004. Los datos fijos se tienen en cuenta, como la distancia punto a punto de la ruta, el tiempo de viaje por cada punto de acuerdo con la planificación actual y con la información del tiempo, y la distancia se puede determinar para cada punto el viaje planificado y como consecuencia la velocidad. Además, debe tenerse en cuenta que la ruta se programa en ambas direcciones, dado que las distancias y los tiempos varían para cada uno de ellos. En la Tabla 1,2 se detalla la información fija de la planificación actual.

Linea	Itinerario	Cod.	Parada	Dist	t	Vel
C6-004	Destino Expo	RSM	Cra.19 con Cll 33	117	34	3,44
C6-004	Destino Expo	S121	S121(C6-004) Cra.20 con Cll. 33	241	69	3,49
C6-004	Destino Expo	S122	S122(C6-004)Cra.21 con Cll. 36	424	122	3,48
C6-004	Destino Expo	S123	Cll. 40 con Cra.21	131	38	3,45
C6-004	Destino Expo	S500	Cll. 40 con Cra. 23	331	95	3,48
C6-004	Destino Expo	S124	Cll. 40 con Cra. 25	260	75	3,47

Linea	Itinerario	Cod.	Parada	Dist	t	Vel
C6-004	Destino Expo	S125	S125(C6-004)Cll.40 con Cra. 260	127	36	3,53
C6-004	Destino Expo	S126	Cra. 28A con Cll. 38F	454	130	3,49
C6-004	Destino Expo	S127	Cra. 32 con Cll.34	303	87	3,48
C6-004	Destino Expo	S128	Cra.32 con Cll.32	169	48	3,52
C6-004	Destino Expo	S129	S129(C6-004) Cll.31 con Cra.30	278	80	3,48
C6-004	Destino Expo	S130	S130(C6-004) Cll.31 con Cra.29	534	153	3,49
C6-004	Destino Expo	S131	S131(C6-004) Cll.33 con Cra.28	286	82	3,49
C6-004	Destino Expo	S132	Cra.33 con Cll.29	512	62	3,47
C6-004	Destino Expo	S133	S133(C6-004) Cll.29C con Cra.33	250	72	3,47
C6-004	Destino Expo	S134	S134(C6-004) Cra.37A con Cll.29	193	55	3,51
C6-004	Destino Expo	S501	Cll.29 con Cra. 37A Torre España	465	133	3,50
C6-004	Destino Expo	BCOD	Cra.38 con Cll.26 Barrio Colombia	590	169	3,49
C6-004	Destino Expo	SDGD	Cra. 42 con Cll.34 Barrio San Diego	420	120	3,50
C6-004	Destino Expo	CDGD	San Diego	489	140	3,49
C6-004	Destino Expo	XPO	XPO (C6-004)Cra.51 con Cll 37	0	0	0,00
Total				6277	1800	3,49

Tabla 1 – Ruta C6-004 destino a estación Exposición del Metro

Linea	Itinerario	Cod.	Parada	Dist	t	Vel
C6-004	Destino Reserva	XPO	XPO(C6-004) Cra.51 con Cll 37	1082	287	3,77
C6-004	Destino Reserva	CDGA	San Diego	447	118	3,79
C6-004	Destino Reserva	SDGA	Cra.42 con Cll.34 Barrio San Diego	456	121	3,77
C6-004	Destino Reserva	S501	Cra.38 con Cll.38 Barrio Colombia	550	146	3,77
C6-004	Destino Reserva	S134	Cll.29 con Cra 37A Torre España	200	53	3,77
C6-004	Destino Reserva	XPO	XPO(C6-004) Cra.51 con Cll 37	1082	287	3,77
C6-004	Destino Reserva	CDGA	San Diego	447	118	3,79
C6-004	Destino Reserva	SDGA	Cra.42 con Cll.34 Barrio San Diego	456	121	3,77
C6-004	Destino Reserva	S501	Cra.38 con Cll.38 Barrio Colombia	550	146	3,77
C6-004	Destino Reserva	S134	Cll.29 con Cra 37A Torre España	200	53	3,77
C6-004	Destino Reserva	XPO	XPO(C6-004) Cra.51 con Cll 37	1082	287	3,77
C6-004	Destino Reserva	CDGA	San Diego	447	118	3,79
C6-004	Destino Reserva	SDGA	Cra.42 con Cll.34 Barrio San Diego	456	121	3,77
C6-004	Destino Reserva	S501	Cra.38 con Cll.38 Barrio Colombia	550	146	3,77
C6-004	Destino Reserva	S134	Cll.29 con Cra 37A Torre España	200	53	3,77
C6-004	Destino Reserva	XPO	XPO(C6-004) Cra.51 con Cll 37	1082	287	3,77
C6-004	Destino Reserva	CDGA	San Diego	447	118	3,79

Linea	Itinerario	Cod.	Parada	Dist	t	Vel
C6-004	Destino Reserva	S122	Cll. 40 con Cra. 21	405	107	3,79
C6-004	Destino Reserva	S121	S122(C6-004) Cra.21 con Cll.36	228	60	3,80
C6-004	Destino Reserva	S121	S121(C6-004)Cra. 20 con Cll.33	117	31	3,77
C6-004	Destino expo	RSM	CR.19 con Cll 33	0	1801	0,00
Total				6793	1801	3,59

Tabla 2 – Ruta C6-004 destino Reserva del Seminario

Para las variables utilizadas en los algoritmos, se cuentan los tiempos de permanencia del vehículo en cada parada, la ocupación, la frecuencia, el retraso o el avance según el caso y, según esta información, el tiempo muerto para cada servicio se calcula utilizando la ecuación $\sum tm = tmp1 + tmp2 + \cdots + tmp4$. La figura 3, muestra la ruta comercial para la ruta C6-004 Reserva del Seminario- Estación de Exposiciones del METRO, donde cada marca de posición amarilla representa cada una de las paradas que el vehículo debe realizar para la dirección 1 con la Estación de Exposiciones de destino.

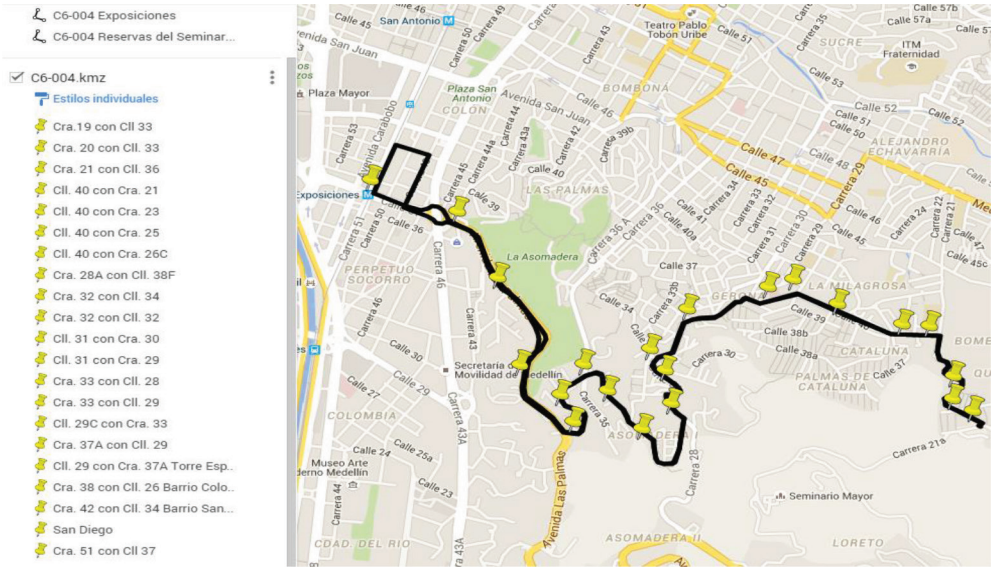


Figura 3 – Definición de red de transporte y trazado para la ruta C6-004

Al categorizar las variables, se observa que, para la optimización del servicio comercial con respecto a la favorabilidad para los usuarios, los conductores y la empresa, el factor más afectado son los tiempos de inactividad que realiza un autobús durante la prestación del servicio. Esta situación genera desacuerdo entre los actores involucrados durante los viajes. La función objetivo minimiza el tiempo de inactividad en cada parada, por lo que en este caso permite una mayor flexibilidad en el tiempo total de viaje, maximizando de manera

proporcional el número de viajes realizados durante un día y reduciendo la frecuencia actual que oscila entre 6 minutos en la hora valle y 3 minutos en horas pico. Un total de 19 vehículos realizan 581 viajes cada día en tipología laborales, los sábados 425 y domingos y feriados 301.

3. Resultados y discusión

En la actualidad, se realizan paradas obligatorias en cada estación, que tiene un aumento en el tiempo de viaje y las frecuencias iteradas con datos históricos desde el 1 de enero de 2016 hasta el 31 de mayo de 2016. La variable de ocupación se mide con respecto a cada parada y el tiempo de estadía en el autobús. En el escenario propuesto, se tienen en cuenta las mismas variables, pero con la diferencia de restricción de permanecer sólo en una determinada parada si hay ascenso o descenso de pasajeros, de lo contrario el vehículo no disminuirá la velocidad. El algoritmo TS itera más rápidamente y muestra que cambiar la restricción de permanecer en el escenario propuesto aumentando la velocidad, haciendo que realice la parada sólo donde hay ascenso o disminución de usuarios, disminuya el tiempo de viaje en 7 minutos. Esto representa que la ruta pasa de estar planificada con un tiempo de viaje de 1800 segundos (que representa 30 minutos por dirección) a 1620 segundos (que representa 23 minutos por dirección aproximadamente) en el tráfico vehicular regular. La diferencia con el algoritmo PSO no es significativamente mayor, dado que el algoritmo PSO en el segundo escenario propone un ahorro en el tiempo de viaje de 8 minutos y medio. En consecuencia, significa que, al llevar a cabo el plan de servicio operativo con el tiempo de viaje propuesto de 23 minutos, significa ahorrar 1.5 conductores con una frecuencia de 2.37 minutos en las horas pico, garantizando la cobertura de la demanda actual del servicio para estos momentos del día. En la Figura 4 se muestra la relación de frecuencia de viajes respecto al número de pasajes considerado en el proceso de optimización.

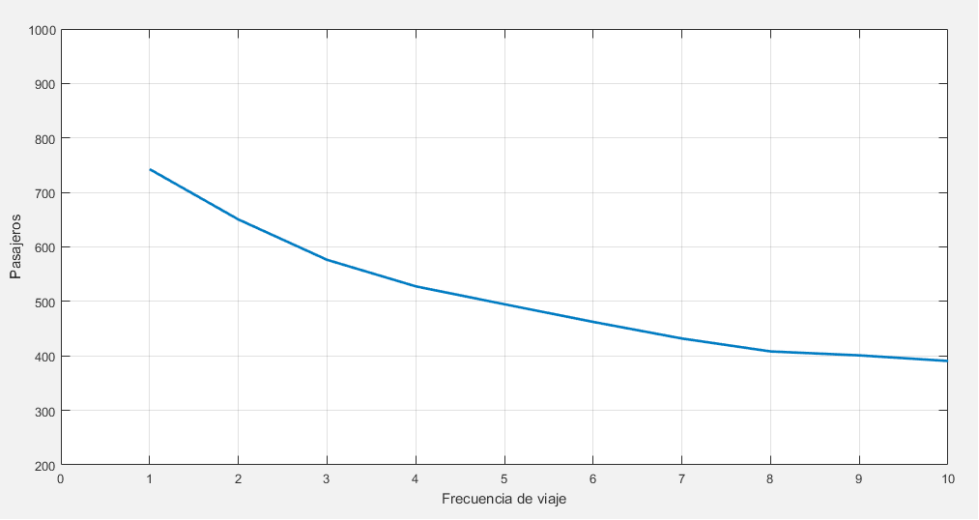


Figura 4 – frecuencia de viajes vs pasajeros

4. Conclusiones

En este artículo se presenta un enfoque para la optimización de parada de buses y su programación. Para su desarrollo se testearon los algoritmos TS y PSO independientemente, obteniendo resultados similares pero superior para el TS con las funciones *VC, int_t, vehR, fL*. Ambos algoritmos satisfacen la función objetivo de manera óptima al proponer menos tiempo de viaje reduciendo las frecuencias entre vehículos pero aumentando el número de pasajeros y ejecutando mayor número de viajes. Basados en los resultados obtenidos, se proporciona una propuesta de planificación para la línea C6-004. En las estaciones de Reserva del Seminario y Exibiciones durante las horas pico, el autobús sólo realizará paradas donde haya usuarios, minimizando el tiempo de viaje para el itinerario con la estación de Exposiciones de destino desde el Metro a 23 minutos y con destino a Reserva del Seminario a 25 minutos, generando una frecuencia de 2:37 minutos entre cada vehículo en las horas pico. Para los días laborales se realiza la tabla de Gantt consiguiendo ahorrar 1.5 conductores. Situación que genera un aumento significativo en los usuarios, con lo que se infiere que con esta mejora en el servicio podría existir un mayor atractivo para usuarios frecuentes. Finalmente, para trabajos futuros, sería factible analizar los resultados obtenidos con otras variables como el consumo de combustible, la tasa de fallas, el número de horas extras por conductor, entre otras.

Referencias

Arbex, R., & da Cunha, C. (2015). Efficient transit network design and frequencies setting multi-objective optimization by alternating objective genetic algorithm. Transportation Research Part B: Methodological, 81, 355–376.

Borck, R. (2019). Public transport and urban pollution. Regional Science and Urban Economics. Vol 77, pp. 356–366

Ceder, A., & Wilson, N. (1986). Bus network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, *20*(4), 331–344.

Desaulniers, G., & Hickman, M. (2007). Public transit. *Handbooks in operations research and management science*, *14*, 69–127.

Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science* (pp. 39-43). Ieee.

Farahani, R., Miandoabchi, E., Szeto, W., & Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problems. *European Journal of Operational Research*, *229*(2), 281–302.

Giesen, R., Martínez, H., Mauttone, A., & Urquhart, M. (2016). A method for solving the multi-objective transit frequency optimization problem. *Journal of Advanced Transportation*, *50*(8), 2323–2337.

Glover F., & Marti R. (2006) Tabu Search. In: Alba E., Martí R. (eds) Metaheuristic Procedures for Training Neutral Networks. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, 36, 53–69.

Guzman, L., & Oviedo, D. (2018). Accessibility, affordability and equity: Assessing 'pro-poor'public transport subsidies in Bogotá. Transport Policy, 68, 37–51.

Jaramillo-Álvarez, P., González-Calderón, C., & González-Calderón, G. (2013). Route optimization of urban public transportation. *Dyna*, *80*(180), 41–49.

Jha, S., Jha, J., & Tiwari, M. (2019). A multi-objective meta-heuristic approach for transit network design and frequency setting problem in a bus transit system. *Computers & Industrial Engineering*, *130*, 166–186.

Marini, F., & Walczak, B. (2015). Particle swarm optimization (PSO). A tutorial. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *149*, 153–165.

Martínez, H., Mauttone, A., & Urquhart, M. (2014). Frequency optimization in public transportation systems: Formulation and metaheuristic approach. *European Journal of Operational Research*, *236*(1), 27–36. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.007

Möller, R. (2003). *Movilidad de personas, transporte urbano y desarrollo sostenible en Santiago de Cali, Colombia* (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar), p. 368.

Nikolić, M., & Teodorović, D. (2013). Empirical study of the Bee Colony Optimization (BCO) algorithm. Expert Systems with Applications, 40(11), 4609–4620.

Nikolić, M., & Teodorović, D. (2014). A simultaneous transit network design and frequency setting: Computing with bees. Expert Systems with Applications, 41(16), 7200–7209.

Noland, R., & Lem, L. (2002) Review of the Evidence for Induced Travel and Changes in Transportation and Environmental Policy in the US and the UK, Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol.7, pp. 1-26.

Riojas, A., & Álvarez M. (2009). Búsqueda tabu: conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas. Revista de ingeniería de sistemas e informática. 6 (2), 27–38.

Ruisanchez F., dell'Olio L., & Ibeas A. (2012). Design of a Tabu Search algorithm for assigning optimal bus sizes and frequencies in urban transport services," Journal of Advanced Transportation. 46 (4), 366–377.

Sicilia, J., Escuín, D., Royo, B., Larrodé, E., & Medrano, J. (2014). A hybrid algoritm for solving the general vehicle routing problem in the case of the urban freight distribution. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation* (pp. 463-475). Springer, Cham.

Torabi, M., & Salari, M. (2019). Limited-stop bus service: A strategy to reduce the unused capacity of a transit network. *Swarm and evolutionary computation*, *44*, 972–986.

Wang, H. (2017). Routing and scheduling for a last-mile transportation system. *Transportation Science*, *53*(1), 131–147.

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

Recebido/Submission: 22/03/2019
Aceitação/Acceptance: 11/06/2019

Traffic analysis of internet applications on mobile devices over LTE and Wireless networks

Albert Espinal[1], Rebeca Estrada[1], Carlos Monsalve[1]

aespinal@espol.edu.ec, restrada@espol.edu.ec, monsalve@espol.edu.ec

[1] Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayas 09015863, Guayaquil, Ecuador

Pages: 81–94

Abstract: Traffic analysis and classification is an important requirement to enhance network security and to optimize the quality of service policies. In this paper, we propose to analyze the traffic of most common internet applications based on SSL and HTTP protocols on mobile devices, through the collected data by means of a packet sniffer, over LTE and Wireless network. This study is focused on the packet size parameter and allows us to perform a statistical comparison of this parameter among the most commonly used internet applications in smart phones. Numerical results show that most of the analyzed applications have a bimodal behavior with packets around 30 and 1.500 bytes, with small differences in both scenarios. It is also observed that SSL/HTTPS packets represents a big impact over TCP traffic. Finally, numerical parameters for a probability density function distribution are presented in order to estimate and simulate such traffic.

Keywords: Traffic analysis; Applications analysis; Application modelling; Mobile devices traffic.

1. Introduction

Nowadays, the internet traffic has new trends, mainly generated by mobile devices connected to wireless and cellular networks. The study from Cisco Systems, forecast and trends (CISCO, 2017), predicts that by 2022 the traffic from wireless and mobile device will account 71 percent of total IP traffic, and the smart mobile traffic will represent 44%. The internet Stats & Facts for 2019 (Hosting Facts, 2018), show that China is the country with the greatest number of internet users (802 million), and 98 percent of these users are mobile. There are near to 4 billion global mobile internet users and 90 percent of the time on mobile devices is spent in apps.

A study of Go-Globe shows statistics about traffic on internet every 60 seconds (Go-Globe, 2017); this data belongs to internet Apps most common (table 1). In our prior work (Espinal, Estrada & Monsalve, 2019), we show that IPv4 Traffic is significantly higher respect to IPv6 in campus wireless network; similarly occur with TCP traffic over UDP, and applications based on SSL and HTTP represents 99.16% of the total traffic.

In Wireless LANs or LTE networks, the transmission of information is performed using discrete packets (Arrowsmith & Mondrag, 2005). To analyze and model the network

traffic, one can consider two variables: the packet size and the inter-arrival time (Lee & Fapojuwo, 2005). Both variables have a stochastically behavior (Mansfield, Roy & Shiratori, 2001), which must be monitored for the corresponding analysis.

Traffic network can be monitor by means of active or passive monitoring (Pries et al., 2009). The active method generates new traffic, and inject it into the network, while passive method consists on monitor, and capture the network traffic. We use the passive form analyze the packet headers and produce statistics. One drawback of the passive method is the privacy of the data to be captured, because the traditional packet sniffers saves the entire packet: headers and payload (Gandhi et al, 2014). This method is independent of the protocols and avoid the encrypted payload.

In this work, we proposed to analyze the internet traffic of most commonly used Apps in mobile devices, connected to two type of networks. The first type of network is a wireless network and the second one is an LTE network (4.5 G). By doing so, we can determine the contribution of these Apps over SSL and HTTP protocols and propose statistical models that estimate and simulate such traffics.

App	Internet traffic in 60 seconds
YouTube	Around 700.000 hours of video watched
Google	More than 3.8 million searches
Facebook	More than 240.000 photos uploaded, and 70.000 hours of video content watched
Twitter	More than 350.000 tweets sent
Instagram	More than 65.000 photos are uploaded
WhatsApp	more than 29 million of messages are processed, 1 million of photos and 175.000 videos are shared
Email	More than 156 million of emails are sent
Skype	More than 2 million minutes of calls are done

Table 1 – Internet traffic Apps

The rest of the paper is organized as follows: section II provides information about related works; in section III we show the data collection, classified by application, according to the variable packet size. Section IV presents the traffic model that characterize the realistic traffic analyzed. The paper ends with the conclusions in section V.

2. Related work

Many works have analyzed the network traffic based on packet size, using methods such as statistical analysis, pattern recognition, length of the application messages, packet flows, user behavior, etc. Additionally, these studies had suggested models to simulate the realistic network traffic.

A study for identifying network traffic based on message size analysis is presented in (Hajjar, Khalife & Diaz, Verdejo, 2015), and a Gaussian model was proposed to

characterize the application-level protocols. In (Cao et al., 2013) a study showed that network traffic is quite close to Poisson distribution according to interface link speed. A work over internet data traffic generated in a university campus using a model for predict internet data traffic is presented in (Adeyemi et al., 2018). A methodology for automatic fingerprinting and real-time identification of Android apps from their encrypted network traffic for protocols such as HTTPS/TLS is showed in (Taylor et al., 2016). A method for extending labeled data that allows to identify unknown mobile traffic is proposed in (Liu, Wang & Tang, 2018). In (Aceto et al., 2018) proposed a multi-classification approach to improve the performance of classification of mobile apps traffic. A method using extreme machine learning that developed a genetic algorithm-based software for classification of the internet traffic was proposed in (Ertam & Avci, 2017). A study about UDP traffic based on Inter-Packet Arrival Time and Inter-Packet Transmission Delay and the impact on the round-trip delay, is presented in (Maheshwari et al., 2017). In (Alan & Kaur, 2016) an App identification method using only TCP headers under Android devices, that avoid encrypted traffic, is presented.

Regarding the traffic modelling, (Maheshwari, Mahapatra & Cheruvu, 2018) designed a Hidden Markov model for network traffic and validated it for different packet sizes. A modeling of the packet length from normal distributions applied to bimodal traffic is presented in (Castro, Alencar & Fonseca, 2013). In (Al-Turjman et al., 2017) is presented a novel traffic model for a new-generation of sensor networks that supports a wide range of communication-intensive real-time multimedia applications. A new feature optimization approach based on deep learning and Feature Selection techniques to provide the optimal and robust features for traffic classification is presented in (Shi et al., 2018). In (Cao et al., 2017) a network traffic model based on real-time accurate support vector machine is deducted from the scaling dataset and employs component analysis to extract network data features and verify its relevant traffic features obtained.

3. Data collection and analysis

According to statcounter[1] statistics about mobile operating system for our country (July 2019), the 86.96% of mobile devices use Android, an 11.72% use iOS, and 1.32% use other operating systems, such as Windows, Nokia, Blackberry, etc. About the Apps use, we show statistics in the largest LTE network operator in our country (see figure 1). We apply an online survey to a sample of 380 users (population size of 6.000 users, with 95% confidence level and 5% margin of error) and find that the most common Apps are: In social networks, WhatsApp, Facebook, Instagram and Twitter. For streaming, YouTube. And for productivity: Drive, Gmail and Google Search. Other Apps used are: Messenger, Snapchat, Spotify, Netflix, Tinder.

An important issue in the process of capturing network traffic is the use of the packet sniffer. This is owing to the fact that they normally capture the entire packet, which includes headers and payload. We propose to use a free sniffer for Wi-Fi networks called Wireshark that collected and process the packets, and a commercial sniffer called WICAP that runs over smartphones with Android operative systems and works over LTE cellular networks. Additionally, WICAP saves the capture data in PCAP format, what allows to open and to analyze the data with other sniffers more advanced as Wireshark. Also,

WICAP permit to capture the following fields in the header for further analysis: total length (IPv4) o payload length (IPv6), source address, destination address, protocol (IPv4) or next header (IPv6), source port, and destination port.

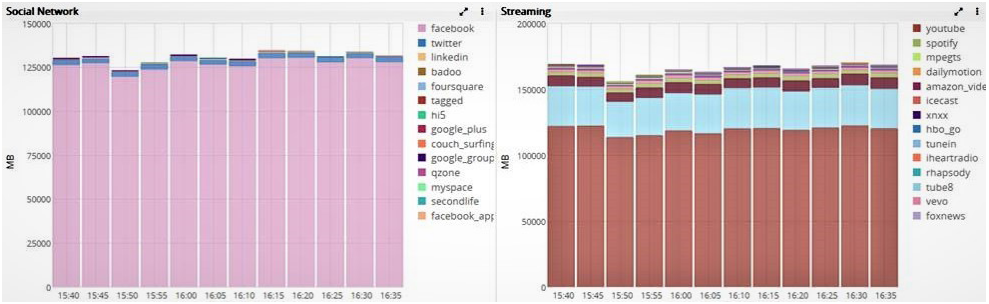


Figure 1 – Most common App over LTE network in Ecuador

We implement two scenarios for collecting realistic traffic of mobile Apps. First, we connect a smartphone to a university campus wireless network shown in figure 2, and then connect the mobile device to LTE network shown in Fig. 3. The smartphone is a Samsung Galaxy S8+, with Octa-Core CPU, 2.3GHz speed, 4 GB RAM, 64 GB internal memory, 64 GB external memory (MicroSD) for data storage, and Android 9 operative system. It can be connected to Wi-Fi networks using 802.11 a/b/g/n/ac 2.4G+5GHz. It also can be connected to another cellular network based on 2G GSM, 3G WCDMA, 4G LTE FDD, 4G LTE TDD.

We install Wireshark on a desktop computer with Windows 10. Its technical specifications are AMD FX-8300 Eight-core processor, 24 GB of RAM, and two-network interface cards (NIC) Ethernet. One NIC is dedicated to PC management, and the second one to capture traffic. We connect the NIC for capturing, in a gigabit port of access layer Cisco switch, and configure this port as analyzer monitor (SPAM) to reflect the interested VLAN wireless traffic.

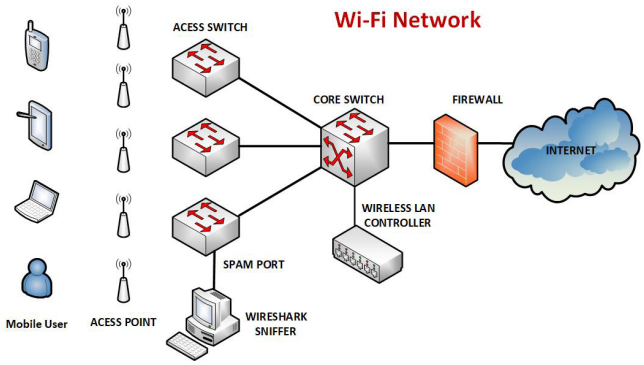


Figure 2 – Wi-Fi scenario for captured data

The wireless campus network has around 300 access point managed by a wireless LAN controller. On average between 5.000 and 6.000 wireless devices are connecting daily, with an allocation of 300 MB of bandwidth to the internet. This include devices such as smartphones, tables, and laptops. In this network, about 85% of mobile devices use android operating system, 10% use windows, 3% use iOS, and 2% use another operating system. This information is provided by the IT department through the Cisco Identity Services Engine platform.

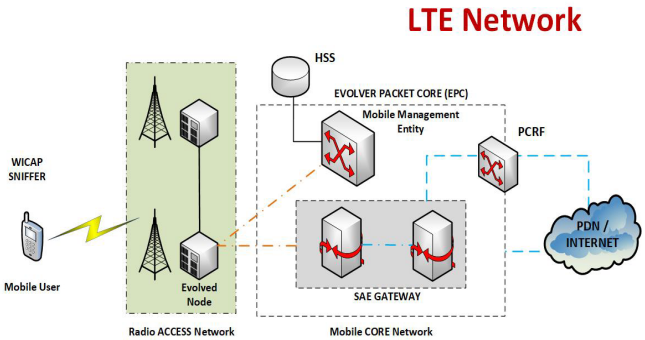


Figure 3 – LTE scenario for captured data

The LTE evolved network belonging to a cellular operator in our country. This use IP RAN as access layer, LTE for Mobil access, fiber rings, ALCATEL routers, one per Radio Access, Intermediate System to Intermediate System as IGP (interior gateway protocol).

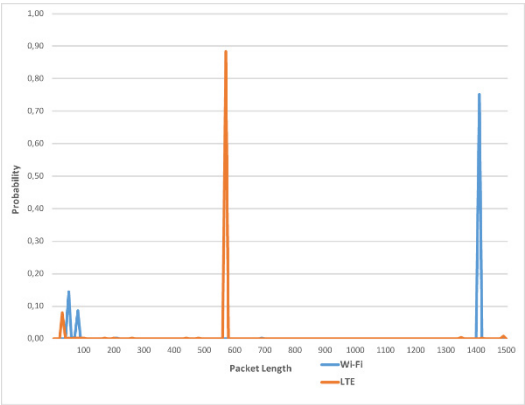


Figure 4 – Google Drive App packets pattern

In both scenarios we collected the data of the eight most common Apps on smartphones, that includes: Google Drive, Facebook, Google search, Gmail, Twitter, YouTube, WhatsApp, and Instagram. For each App, we execute the typical task in the smartphone according to user behavior and collected the data with the network sniffers, on the smartphone using WICAP for traffic over LTE network, and Wireshark on the computer over Wi-Fi network.

In Drive testing with upload and download of files; in Facebook, uploading pictures, videos, navigating over user profiles, etc. Over Google, searching data and visualizing links, images, videos, etc. And similar for other Apps in our exploratory study of packet size.

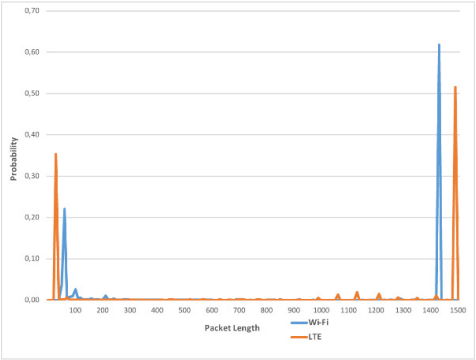


Figure 5 – Facebook App packets pattern

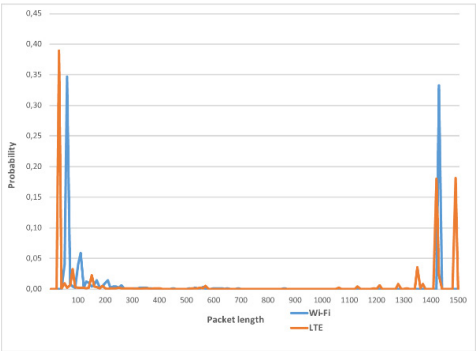


Figure 6 – Google App packets pattern

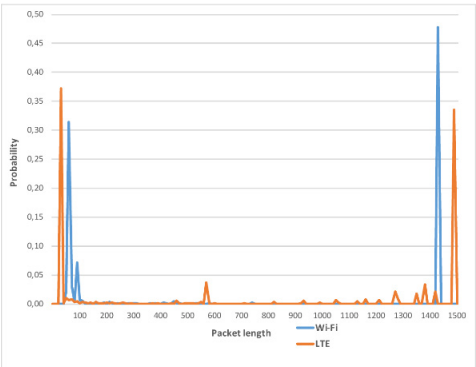


Figure 7 – Outlook App packets pattern

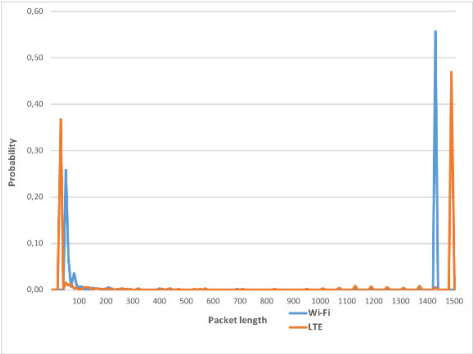


Figure 8 – Twitter App packets pattern

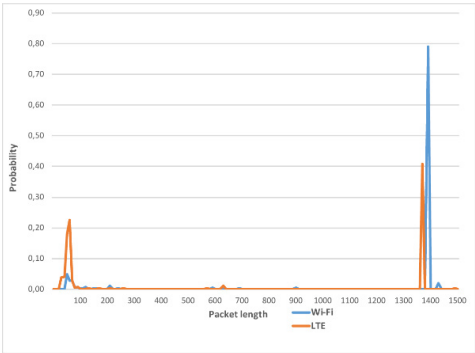


Figure 9 – YouTube App packets pattern

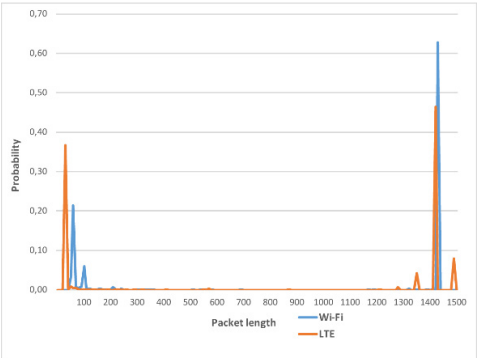


Figure 10 – WhatsApp App packets pattern

This work analyzes the variable packet size of typical Apps in mobile devices; this variable usually is between 0 and 1500 bytes. To analyze the packet size, we take intervals of 10

bytes for discrimination (i.e. 0-10, 11-20, 21-30, etc.). Figures 4-11 show the packet size probability for each App analyzed in this paper.

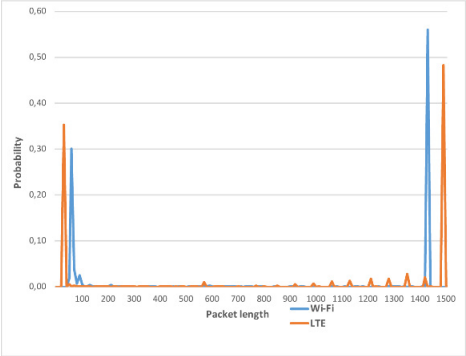


Figure 11 – Instagram App packets pattern

From Figure 4, we can see that there is a bimodal traffic distribution for Drive App in both scenarios, similar in small packets but different in big packets. Over Wi-Fi network this App have 23% of packets around of 60 bytes size, and 75% around 1410 bytes. For the LTE network, it can observe that small packets represent 8% around 30 bytes, while big packets contribute 88% around 570 bytes. This is an important difference in this App behavior, and over the models to estimate this real traffic in both scenarios.

From Figure 5, we can see that there is a bimodal traffic distribution for Facebook App in both scenarios, similar in small and big packets. Over Wi-Fi network this App have 31% of packets around of 60 bytes size, and 62% around 1430 bytes. For the LTE network, it can observe that small packets represent 35% around 30 bytes, while big packets contribute 52% around 1490 bytes. This App behavior is similar for others Apps as Google search, Twitter, YouTube, WhatsApp and Instagram, and over the models that estimate this real traffic in both scenarios.

Finally, in Figure 7, we can observe that exist a trimodal traffic distribution for Email App over LTE network, with 37% of packets (small) around 30 bytes, 4% around 570 bytes (medium), and 34% for big packets around 1490 bytes. This App over Wi-Fi network has a bimodal distribution.

4. Application traffic modelling

Considering the analysis of the network traffic analyzed in the previous section, we estimate some models using the Poisson probability distribution function, based on Apps for mobile devices.

For Drive App packets pattern presented in fig. 4, results a fitted model as a mixture of two Poisson distributions with parameters $\lambda 1 = 39.82$, and $\lambda 2 = 583.79$. The probability that the length of a packet belongs to the first distribution is 0.095, while for the second

distribution the probability of a packet following that distribution is 0.905. Finally, the model is the result of the sum of two Poisson distributions as in (1):

$$P(X = x) = 0.095 * \frac{e^{-39.82}39.82^{x}}{x!} + 0.905 * \frac{e^{-583.79}583.79^{x}}{x!} \quad (1)$$

Where x is the occurrence of packet size variable. In fig. 12 we show the simulate model for Google Drive App pattern.

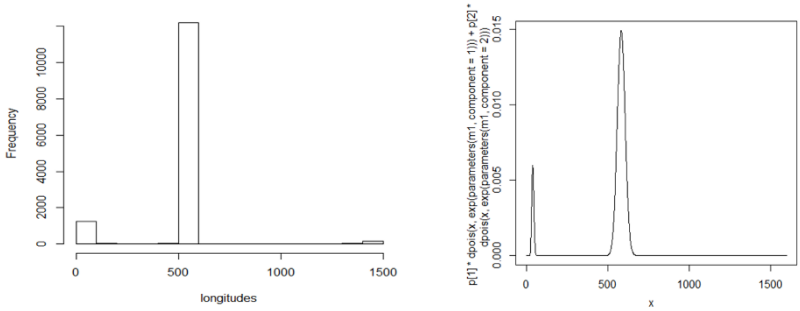


Figure 12 – Poisson model for Drive App packet pattern

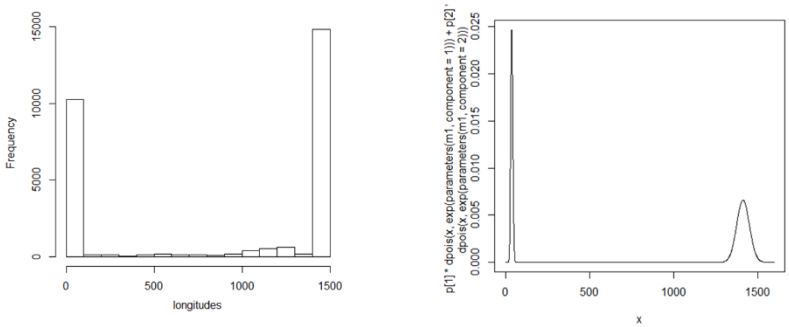


Figure 13 – Poisson model for Facebook App packet pattern

For Facebook App packets pattern the parameters are λ1 = 1414.78 and λ2 = 36.93. The probability that the length of a packet belongs to the first distribution is 0.623, while for the second distribution the probability of a packet following that distribution is 0.377. The model is showed in (2) and the simulation in figure 13. For Outlook (email) the model is the result of the sum of three Poisson distributions as in (3), and the simulation in figure 14. The table 2 show the parameters for other Apps analyzed, where λ1 represent

average occurrence in interval 1, λ2 represent average occurrence in interval 2, P1 is the probability for a packet following the first distribution, and P2 is the probability of a packet following the second distribution. And their models in (4) (5) (6) (7) (8).

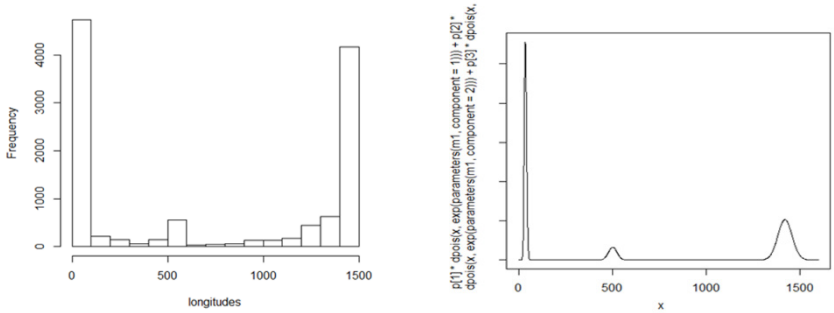


Figure 14 – Poisson model for Outlook App packet pattern

App	λ1	λ2	P1	P2
Google	1383.51	57.75	0.485	0.515
Twitter	1434.44	49.59	0.540	0.460
YouTube	1324.33	62.31	0.444	0.556
WhatsApp	35.78	1414.33	0.398	0.602
Instagram	34.96	1405.98	0.370	0.630

Table 2 –Apps Poisson parameters over LTE network

$$P(X = x) = 0.623 * \frac{e^{-1414.78}1414.78^{x}}{x!} + 0.377 * \frac{e^{-36.93}36.93^{x}}{x!} \quad (2)$$

$$P(X = x) = 0.487 * \frac{e^{-1422.32}1422.32^{x}}{x!} + 0.091 * \frac{e^{-502.88}502.88^{x}}{x!} + 0.421 * \frac{e^{-36.56}36.56^{x}}{x!} \quad (3)$$

$$P(X = x) = 0.485 * \frac{e^{-1383.51}1383.51^{x}}{x!} + 0.515 * \frac{e^{-57.75}57.75^{x}}{x!} \quad (4)$$

$$P(X = x) = 0.540 * \frac{e^{-1434.44}1434.44^{x}}{x!} + 0.460 * \frac{e^{-49.59}49.59^{x}}{x!} \quad (5)$$

$$P(X = x) = 0.444 * \frac{e^{-1324.33}1324.33^{x}}{x!} + 0.556 * \frac{e^{-62.31}62.31^{x}}{x!} \quad (6)$$

$$P(X = x) = 0.398 * \frac{e^{-35.78}35.78^{x}}{x!} + 0.602 * \frac{e^{-1414.33}1414.33^{x}}{x!} \quad (7)$$

$$P(X = x) = 0.370 * \frac{e^{-34.96}34.96^{x}}{x!} + 0.630 * \frac{e^{-1405.98}1405.98^{x}}{x!} \quad (8)$$

Additionally, table 3 show the parameters for Apps packets pattern over Wi-Fi network.

App	λ1	λ2	P1	P2
Drive	1406.74	65.69	0757	0.243
Facebook	87.86	1412.47	0.360	0.640
Google	1365.83	98.28	0.371	0.629
Email	84.61	1394.65	0.493	0.507
Twitter	1412.38	71.23	0.575	0.425
YouTube	104.41	1374.74	0.167	0.833
WhatsApp	79.78	1422.31	0.359	0.641
Instagram	70.82	1404.54	0.414	0.586

Table 3 – Apps Poisson parameters over Wi-Fi network

Finally, we propose a hypothesis test to compare the average of the packets in the LTE network versus the Wi-Fi network. In each case two hypothesis contrasts were proposed, Ho: the average of the packages is equal; and in case the null hypothesis is not true, an alternative hypothesis H1 is proposed: The average of the packets of the Wi-Fi network is greater than the packets of the LTE network. The only application that shows that the average of the packages in both scenarios is the same, is the Email App. For Apps such as Drive, Facebook, Twitter, YouTube and WhatsApp, the result was that the average packet of the Wi-Fi network is greater than that of the LTE network. For Apps such as Instagram, and Google search, the average packet of the Wi-Fi network is smaller than the LTE network. Next, we show in table 4 this comparison for Drive App:

Samples estimates	t	df	p-value	Hypothesis evaluation
Mean of x = 1081.4132	129.54	28717	2.2e-16	Ho is rejected, the average of packets is not equal
Mean of y = 532.3175 Confidence interval 95%	129.54	28717	1	H1 is not rejected, the average of Wi-Fi packet is greater than LTE network

Table 4 – Drive App hypothesis contrast

5. Conclusions

In this paper, we presented an analysis for stochastic behavior of packet size for typical Apps in mobile devices over two networks: wireless and LTE. The results show that a bimodal traffic distribution can be used to represent Apps such as Drive, Facebook,

Google, Email, Twitter, YouTube, WhatsApp, and Instagram, with packets around 30 and 1.500 bytes, and small differences in both scenarios. Only Email App over LTE network had a trimodal distribution. This Apps traffic represents a big impact over TCP and IPv4 protocols.

We proposed models for characterize the network traffic using mixture Poisson distribution and provide the best statistical fit to the packet size variable for each App analyzed in this paper. These traffic models can be used to estimate real data traffic and be applied for other research studies of computer networking. Devices manufacturers and Apps developers can focus on characteristics of the popular applications for traffic performance evaluation, and resource optimization.

This work could serve as a starting point for the optimization of the communication parameters, such as bandwidth, delay, jitter and packet loss, of different Apps according to the network that is being used. Also, this study can be used for networking community researchers to improve security policies, traffic engineering in high performance networks, and network quality of service provisioning according to traffic type (voice, video, data).

The future work will be centered in analyze the impact over network delay, mainly queuing delay in intermediate systems, and design and modelling of a quality of service policy based on packet size, which help to reduce end-to-end delay in a communication over an IP network.

References

Aceto, G., Ciuonzo, D., Montieri, A., & Pescapé, A. (2018). Multi-classification approaches for classifying mobile app traffic. *Journal of Network and Computer Applications*, *103*, 131–145. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.11.007

Adeyemi, O. J., Popoola, S. I., Atayero, A. A., Afolayan, D. G., Ariyo, M., & Adetiba, E. (2018). Exploration of daily Internet data traffic generated in a smart university campus. *Data in Brief*, *20*, 30–52. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.07.039

Alan, Hasan Faik, and Jasleen Kaur. (2016). Can Android Applications Be Identified Using Only TCP/IP Headers of Their Launch Time Traffic? In Proceedings of the 9th ACM Conference on Security & Privacy in Wireless and Mobile Networks - WiSec '16, New York, New York, USA: ACM Press, 61–66.

Al-Turjman, Fadi, Ayman Radwan, Shahid Mumtaz, and Jonathan Rodriguez. (2017). Mobile Traffic Modelling for Wireless Multimedia Sensor Networks in IoT. Computer Communications Journal.

Arrowsmith, D. K., & Mondrag, R. J. (2005). *Modelling Network Data Traffic*. Retrieved from http://www.maths.qmul.ac.uk/~arrow/BrisComp06.pdf

Cao, Jin, William S. Cleveland, Dong Lin, and Don X. Sun. (2013). Internet Traffic Tends Toward Poisson and Independent as the Load Increases. Nonlinear Estimation and Classification: 83–109.

Cao, J., Fang, Z., Qu, G., Sun, H., Zhang, D. (2017). An Accurate Traffic Classification Model Based on Support Vector Machines. International Journal of Network Management 27(1).

Castro, R. S., Alencar, M., & Fonseca, I. (2013). Probability Density Functions of the Packet Length for Computer Networks with Bimodal Traffic. *International Journal of Computer Networks & Communications*, *5*(3), 17–31. https://doi.org/10.5121/ijcnc.2013.5302

CISCO (2017). Cisco visual networking index: forecast and trends. Retrieved from https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html

Ertam, Fatih, and Engin Avcı. (2017). A New Approach for Internet Traffic Classification: GA-WK-ELM. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation 95.

Espinal, A., Estrada, R., & Monsalve, C. (In press). Modelling TCP/IP traffic of a convergent campus wireless network. *ICAMCS – International Conference on Applied Mathematics and Computer Science*.

Gandhi, C., Suri, G., Golyan, R. P., Saxena, P., & Saxena, B. K. (2014). Packet Sniffer – A Comparative Study. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, *2*(5), 179–187. Retrieved from http://www.ijcncs.org/published/volume2/issue5/p6_2-5.pdf

Go-Globe (2017). Things that happen on internet every 60 seconds. Retrieved from: https://www.go-globe.com/blog/things-that-happen-every-60-seconds/

Hajjar, A., Khalife, J., & Díaz-Verdejo, J. (2015). Network traffic application identification based on message size analysis. *Journal of Network and Computer Applications*, *58*, 130–143. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.10.003

Hosting Facts (2018). The Internet Stats & Facts for 2019. Retrieved from: https://hostingfacts.com/internet-facts-stats/.

Lee, I. W. C., & Fapojuwo, A. O. (2005). Stochastic processes for computer network traffic modeling. *Computer Communications*, *29*(1), 1–23. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2005.02.004

Liu, Z., Wang, R., & Tang, D. (2018). Extending labeled mobile network traffic data by three levels traffic identification fusion. *Future Generation Computer Systems*, *88*, 453–466. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.05.079

Maheshwari, S., Mahapatra, S., & Cheruvu, K. (2018). Measurement and Forecasting of Next Generation Wireless Internet Traffic.

Maheshwari, Sumit, K. Vasu, Sudipta Mahapatra, and C. S. Kumar. (2017). Measurement and Analysis of UDP Traffic over Wi-Fi and GPRS. http://arxiv.org/abs/1707.08539 (January 1, 2019).

Mansfield, G., Roy, T. K., & Shiratori, N. (2001). Self-similar and fractal nature of Internet traffic data. *International Conference on Information Networking*, *14*(2), 227–231. https://doi.org/10.1109/ICOIN.2001.905432

Pries, R., Warmer, F., Staehle, D., Heck, K., & Tran-Gia, P. (2009). Traffic measurement and analysis of a broadband wireless internet access. *IEEE Vehicular Technology Conference*. https://doi.org/10.1109/VETECS.2009.5073890

Shi, Hongtao, Li H., Zhang D., Cheng C., Cao X. (2018). An Efficient Feature Generation Approach Based on Deep Learning and Feature Selection Techniques for Traffic Classification. Computer Networks 132: 81–98.

Taylor, V. F., Spolaor, R., Conti, M., & Martinovic, I. (2016). AppScanner: Automatic fingerprinting of smartphone apps from encrypted network traffic. In *Proceedings - 2016 IEEE European Symposium on Security and Privacy, EURO S and P 2016* (pp. 439–454). https://doi.org/10.1109/EuroSP.2016.

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

Recebido/Submission: 10/03/2019
Aceitação/Acceptance: 03/06/2019

Análisis de emociones y sentimientos sobre el discurso de firma del acuerdo de paz en Colombia

Gabriel Elías Chanchí G[1], Amelia Elizabeth Córdoba G[2]

gchanchig@unicartagena.edu.co, amelia.cordoba@unad.edu.co

[1] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, Cll 30 # 48-152, 130001, Cartagena-Bolívar, Colombia

[2] Universidad Nacional, Abierta y a Distancia, Cra 3 # 2-55, 190004, Popayán-Cauca, Colombia

Pages: 95–107

Resumen: La computación afectiva ha sido ampliamente difundida en el contexto de las redes sociales, con el fin de analizar las emociones y/o sentimientos que expresan los usuarios a partir de sus publicaciones. Este artículo propone un análisis de emociones y sentimientos sobre el discurso del presidente Santos en la firma del acuerdo de paz en Colombia. El análisis de emociones es realizado a través del estudio del comportamiento emocional de la voz del presidente a lo largo de la pista de audio. Para lograrlo, se extraen las propiedades acústicas de arousal y valencia, las cuales permiten clasificar una pista de audio en el modelo de Russell. El análisis de sentimientos es realizado mediante el servicio provisto por el portal ParalellDots, el cual obtiene la polaridad de un determinado fragmento de texto. La intención del estudio es evaluar la concordancia entre el análisis obtenido a nivel de emociones y sentimientos.

Palabras clave: arousal, computación afectiva, emociones, modelo de Russell, valencia.

Analysis of emotions and sentiments on the discourse of the signing of the peace agreement in Colombia

Abstract: Affective computing has been widely disseminated in the context of social networks, in order to analyze the emotions and / or sentiments expressed by users based on their publications. This article proposes an analysis of emotions and sentiments about President Santos' speech at the signing of the peace agreement in Colombia. The analysis of emotions is carried out through the study of the emotional behavior of the president's voice along the audio track. To achieve this, the acoustic properties of arousal and valence are extracted, which allow to classify an audio track in Russell's model. The analysis of sentiments is carried out using the service provided by the ParalellDots portal, which obtains the polarity of a given fragment of text. The intention of the study is to evaluate the concordance between the emotions obtained in the different moments of the audio track of the discourse with the sentiments extracted from the fragments of the discourse text.

Keywords*:* affective computation, arousal, emotions, Russell's model, valence.

1. Introducción

El análisis y detección de emociones es un factor relevante para evaluar el grado de percepción de un usuario con respecto a un producto o servicio. En ese orden de ideas, en el campo de la usabilidad, la emocionalidad de un usuario es un elemento fundamental de cara a la estimación del atributo satisfacción (Delgado, Girón, Chanchí, & Márceles, 2018; Hassan & Martín, 2003; Enriquez & Casas, 2013; Hassan, 2015). Es así como la computación afectiva ha surgido como un área de investigación emergente, centrada en el desarrollo de dispositivos y sistemas con capacidad para reconocer, interpretar, procesar y simular las emociones humanas con el fin de mejorar la interacción entre el usuario y el computador (Baldasarri, 2016; González, 2017; Bustos et. al, 2016).

En el campo de la computación afectiva, se han venido desarrollado diferentes investigaciones aplicadas al contexto de las redes sociales, las cuales se centran en analizar el comportamiento de los usuarios a través de sus publicaciones (Garcia et al., 2019; Brajawidagda, Scholl, & Chatfield, 2013; Rani & Rani, 2016; Ravi & Ravi, 2015). En este mismo sentido, la computación afectiva ha venido también aplicándose al análisis de contenido auditivo musical, teniendo en cuenta propiedades acústicas como el arousal y la valencia, las cuales permiten clasificar un fragmento de audio en una emoción determinada (Meyers, 2007; Solarte et al., 2016a; Solarte et al., 2016b). Por otra parte, a nivel comercial, se han desarrollado diferentes plataformas de computación afectiva en línea tales como Echonest, Musicovery o Gracenote, las cuales posibilitan el análisis y clasificación de un conjunto limitado de contenidos auditivos musicales en emociones a partir del estudio de sus variables acústicas y la valoración de los usuarios (Solarte et al., 2016b).

Este artículo propone como aporte la generación de un estudio de análisis de emociones y sentimientos sobre el discurso del presidente Santos en la firma del acuerdo de paz en Colombia. La intención del estudio es realizar una comparación entre las emociones obtenidas en los diferentes momentos de la pista de audio del discurso con los sentimientos extraídos a partir de los fragmentos de texto del discurso. Para el estudio de las emociones en las pistas de audio, se construyó en el lenguaje Java un analizador de emociones, el cual permite obtener la traza de emociones en los diferentes momentos de una pista de audio. Este analizador toma en cuenta a nivel conceptual el modelo propuesto por Russell y de manera específica las variables acústicas de arousal y valencia, las cuales permiten la clasificación de un fragmento de audio en el espacio emocional del modelo. Para la extracción de las propiedades de arousal y valencia, el analizador hace uso de la librería abierta para el análisis acústico openEAR (Eyben, Wollmer, & Schuller, 2012). Por su parte, para el análisis de sentimientos del discurso se hizo uso de la herramienta en línea provista por el portal de ParallelDots, la cual permite clasificar un texto en tres posibles sentimientos: positivo, neutral y negativo, indicando el porcentaje de cercanía del texto con estos tres tipos de sentimientos.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se presenta la metodología considerada; en la sección 3 se describen un conjunto de conceptos relevantes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del presente trabajo; en la sección 4 se presenta el modelo de emociones considerado para el diseño y construcción del analizador de emociones para contenidos de audio; en la sección 5 se describe la

estructura funcional del analizador de emociones para contenidos de audio propuesto; en las secciones 6 y 7 se presenta de manera respectiva el estudio de emociones y sentimientos sobre el discurso del presidente Santos en la firma del acuerdo de paz; en la sección 8 se muestra el estudio comparativo de los análisis presentados en la sección 6 y 7; finalmente en la sección 9 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se consideraron 4 fases a saber: exploración de modelos y tecnologías; diseño y construcción del analizador de emociones; análisis de sentimientos y emociones sobre al discurso; comparación de resultados.

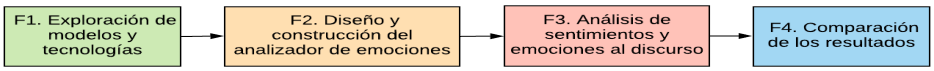


Figura 1 – Metodología propuesta

Fase 1 - Exploración de modelos y tecnologías: En esta fase se realizó la exploración de un conjunto de tecnologías para la obtención de variables acústicas, así como de modelos de emociones relacionados con los contenidos multimedia. Del mismo modo se exploraron herramientas para la ejecución de análisis de sentimientos en línea. En esta fase se consideraron las variables acústicas de arousal y valencia, las cuales de acuerdo a (Solarte et al., 2016b) permiten relacionar de manera más sencilla un fragmento de audio con una emoción del modelo de Russell.

Fase 2 – Diseño y construcción del analizador: Según las tecnologías escogidas en la fase 1 a nivel de análisis de emociones y considerando el modelo emocional seleccionado, se procedió al diseño y construcción de un analizador de emociones para contenidos de audio, mediante el cual fue posible el análisis de la fluctuación de emociones en el discurso del acuerdo de paz.

Fase 3 – Análisis de sentimientos y emociones del discurso: A partir de del analizador de sentimientos para contenidos de audio construido en la fase 2 y de la herramienta de análisis de sentimientos identificada en la fase 1, se procedió a realizar el análisis de emociones y sentimientos sobre el discurso del presidente Santos en la firma del acuerdo de paz.

Fase 4 – Comparación de los resultados: En esta fase se compararon los resultados del análisis de sentimientos y emociones realizados al discurso del presidente Santos con el fin de determinar la relación existente entre las emociones reflejadas en el audio y los sentimientos identificados en el discurso.

3. Marco Conceptual

En esta sección se presentan un conjunto de conceptos relevantes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la presente investigación. Dentro de estos conceptos se encuentran: análisis de sentimientos, modelo de Russell, arosual, valencia.

3.1. Análisis de sentimientos

El análisis de sentimientos se encarga de clasificar un documento de diferentes contextos de aplicación (productos, películas, deportes, cultura, etc.) en función de la polaridad de la opinión que expresa el autor, mediante enfoques semánticos (diccionarios de términos), aprendizaje de máquina (máquinas de soporte vectorial, Naive Bayes, aprendizaje profundo, entre otros), ontologías o enfoques híbridos (Ravi & Ravi, 2015; Bustos et al., 2016). En este ámbito, la determinación de la polaridad de una opinión es valorada como positiva, neutra o negativa acerca de un producto, servicio, organización, persona o sobre cualquier tipo de ente sobre el que es posible expresar de manera escrita una opinión (Martínez, Martín, & Ureña, 2014; Montesinos & Orchard, 2014) y la subjetividad de una oración está dada por una emoción, un juicio o una opinión personal, mientras que la objetividad se refiere a información basada en hechos, por tanto, el análisis de subjetividad es el reconocimiento de la asociación de las palabras y su sentido (Ravi & Ravi, 2015).

La temática de análisis de sentimientos ha sido dinamizada por el auge que han tenido las redes sociales en los últimos años y por la necesidad de procesar la gran cantidad de información en formato de texto que estas generan minuto a minuto, valiéndose de técnicas de aprendizaje automático para la clasificación de texto con base en la polaridad de los mismos, por lo tanto, se han abierto nuevas posibilidades de investigación en diferentes contextos (Sobrino & Kanaan, 2018; Rani & Rani, 2016).

3.2. Arousal

Es propiedad acústica que representa una medida de percepción de la intensidad y la actividad a lo largo de la pista de audio. Típicamente las pistas de audio rápidas que cuentan con sonidos fuertes y ruido, tendrían una alta energía, mientras que una pista de audio que contenga sonidos leves y poco ruido, estaría bajo en la escala de energía. Otras características que contribuyen en este atributo son la percepción del volumen, timbre vocal, entropía general (Solarte et al., 2016b).

3.3. Valencia

Es una propiedad auditiva que describe la positividad trasmitida por una pista de audio. Las pistas con alta valencia están asociadas con emociones positivas tales como: estar feliz, alegre eufórico, entre otros. Por otra parte, las pistas con baja valencia están asociadas a emociones negativas o estados de ánimo tales como: tristeza, depresión, enojo (Solarte et al., 2016b).

3.4. Modelo de Russell

El modelo de Russell ha sido uno de los más utilizados para el análisis de emociones (Jang & Namkung, 2009; Seo & Huh, 2019). Este modelo tiene una estructura circular de dos dimensiones (valencia/activación), que parte el espacio en cuatro cuadrantes, en el cual las emociones son trazadas basándose en su nivel de arousal (activo/pasivo) y su valencia (positiva/negativa) (Schall, 2015). Así mismo el modelo circunflejo del afecto, muestra que los estados afectivos surgen de interpretaciones cognitivas de sensaciones nerviosas centrales, que son el producto de dos sistemas neurofisiológicos independientes, uno está

relacionado con la valencia (placer/desagrado) y el otro al arousal (estado de alerta). Cada emoción puede ser vista como una combinación lineal de estas dos dimensiones o diversos grados de valencia (Solarte et al., 2016b). De acuerdo con lo anterior existen dos variables acústicas que hace parte del modelo, las cuales son valencia y arousal. Al obtener los dos valores arousal y valencia definidos anteriormente se establece un punto en el espacio cartesiano (figura 2) que indica la emoción actual de una persona.

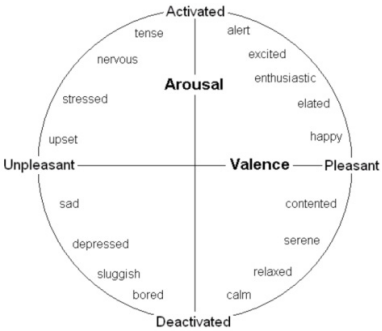


Figura 2 – Modelo de Russell.

4. Modelo de emociones considerado

Para el desarrollo del analizador de emociones para contenidos de audio presentado en este trabajo, se partió del modelo de emociones presentado en (Solarte et al., 2016a), el cual es una adaptación del modelo de Rusell (Russell, 1980). En dicho modelo se consideran cinco estados de ánimo formando una circunferencia en el plano bidimensional la cual es dividida en cinco sectores iguales de los cuales con base en los resultados de las variables (arousal y valencia) se posiciona un ángulo apuntando a determinada emoción como (ver figura 3). Los estados de ánimo considerados en el modelo de cinco emociones son: “excitado”, “feliz”, “relajado”, “triste” y “enojado” (Solarte et al., 2016a). El modelo en mención se consideró debido a que toma como referencia las variables de arousal y valencia, y por su simplicidad de dos coordenadas para la identificación de la emoción asociada al contenido.

Figura 3 – Modelo de emociones considerado.

A continuación en la tabla 1, se puede observar como cada emoción del modelo y descrita en la figura 2 tiene una amplitud de 72°, así mismo se muestra el rango para el que está determinado cada estado de ánimo (Solarte et al., 2016b). El ángulo al que se hace mención en la tabla 1, es el que se utiliza para clasificar las emociones en el modelo, una vez realizada la operación trigonométrica entre la variable de arousal y la variable de valencia.

Rango de ángulos	**Emoción**
<54° y ≥342°	Feliz
≥54° y <126°	Excitado
≥126° y <198°	Enojado
≥198° y <270°	Triste
≥270° y <342°	Relajado

Tabla 1 – Emociones por rango

5. Analizador de emociones

En esta sección se presenta el diagrama de bloques del analizador de emociones en pistas de audio y las interfaces finales del mismo.

5.1. Diagrama de bloques del analizador

En la figura 4 se presenta el diagrama de bloques del analizador de emociones propuesto en este artículo. Tal como se muestra en la figura 5, el analizador de emociones propuesto está constituido por 4 módulos principales: módulo de GUI, módulo de codificación, módulo de emoción y módulo de reportes.

El módulo de GUI es el encargado de la generación y control de la interfaz gráfica del analizador, para lo cual se hace uso de las clases pertenecientes al paquete Swing de Java. El módulo de codificación se encarga de codificar el contenido multimedia cargado al analizador, en caso que dicho contenido sea de tipo MP3. Del mismo modo, este módulo cumple la función de segmentar el contenido multimedia de audio inicial en fragmentos de 5 segundos de duración, los cuales son analizados emocionalmente de manera individual. Las anteriores operaciones son realizadas por el analizador, mediante la operación en segundo plano de la librería ffmpeg, la cual se ejecuta como servicio en el sistema operativo Linux.

En lo referente al módulo de emociones, este se encarga de obtener las variables de arousal y valencia de cada uno de los fragmentos de audio para posteriormente obtener la emoción asociada a dicha porción de audio. El procesamiento emocional es realizado mediante la ejecución en segundo plano de la librería openEAR (Eyben, Wollmer, & Schuller, 2012), la cual corre como servicio en el sistema operativo Linux. Finalmente el módulo de reportes, es el encargado de presentar de manera gráfica la traza de emociones presentes a lo largo de la duración de la pista de audio, así como generar una gráfica porcentual con la participación de las emociones dentro del audio y un reporte

en formato CSV con la traza de emociones. Las gráficas obtenidas por el analizador son generadas por la API JFreeChart de Java, la cual cuenta con una amplia variedad de modelos de gráficas que pueden ser desplegados al cargar los datos a partir de estructuras temporales. Finalmente, considerando que las librerías openEAR y ffmpeg requieren ser ejecutadas en el sistema operativo Linux, se escogió la distribución Lubuntu.

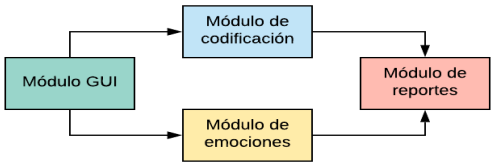


Figura 4 – Módulos del analizador de emociones

5.3. Interfaces finales del analizador

En la figura 5 se presenta la interfaz principal del analizador e emociones para contenidos de audio propuesto en este trabajo.

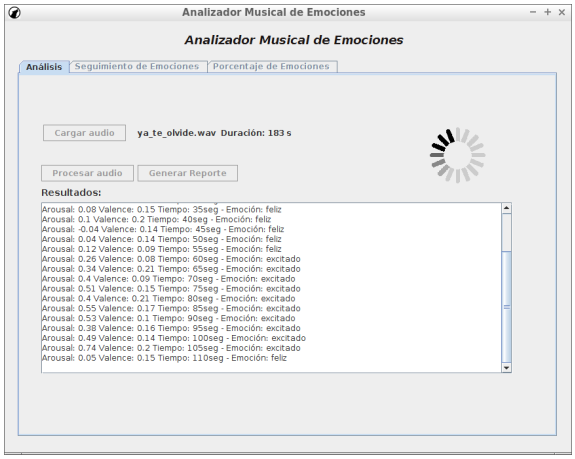


Figura 5 – Interfaz principal del analizador

El analizador fue construido en el lenguaje Java y trabaja en segundo plano con la librería de codificación de contenidos ffmpeg, así como de la librería de procesamiento de emociones openEAR. En cuanto a la generación de las gráficas de seguimiento de emociones, el analizador hizo uso de la librería JFreeChart. Tal como se aprecia en la figura 5, la herramienta cuenta con 3 pestañas a saber: “Análisis”, “Seguimiento de emociones” y “Porcentaje de emociones”.

En la pestaña de análisis se procede con la carga de un archivo de audio con extensión mp3 o wav, si el archivo tiene extensión mp3, el analizador se encarga de realizar su

codificación mediante la librería ffmpeg. Una vez cargado el archivo de audio, se muestra en pantalla la duración en segundos del mismo, de tal manera que cuando se presiona el botón "Procesar audio", el archivo comienza a ser segmentado en fragmentos de 5 segundos, los cuales son analizados mediante la librería openEAR con el fin de obtener las variables acústicas de arousal y valencia. Estas variables son utilizadas para obtener según el modelo de emociones considerado en la figura 3, una de las 5 emociones a las que está asociado dicho fragmento de audio. En el área de texto de la primera pestaña se aprecia como el analizador va realizando en tiempo real el proceso de segmentación, procesamiento y detección de la emoción asociada. Una vez termina el análisis completo de toda la pista de audio, el analizador tiene la opción de generar un reporte del análisis, de tal manera que al presionar el botón "Generar Reporte", se genera en la pestaña de "Seguimiento de Emociones" una gráfica que representa la fluctuación de las emociones en los diferentes momentos de la pista de audio (ver figura 6).

Del mismo modo, al tiempo que se genera la gráfica en la pestaña "Seguimiento de Emociones", en la pestaña "Porcentaje de Emociones" se muestra una gráfica de torta con la distribución de las emociones en la pista de audio. Dicho proceso es realizado mediante la contabilización de los fragmentos de 5 segundos que están asociados a una de las 5 emociones (relajado, triste, enojado, excitado) del modelo considerado (ver figura 6b). A modo de ejemplo, en la figura 6a se presenta la taza de emociones en una pista específica de audio, en la cual se tiene la participación de tres emociones puntuales "feliz", "excitado" y "triste", siendo las dos primeras las de mayor participación a lo largo de la pista de audio.

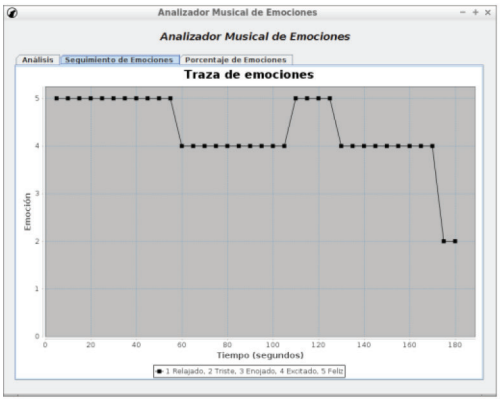


Figura 6a – Seguimiento de emociones

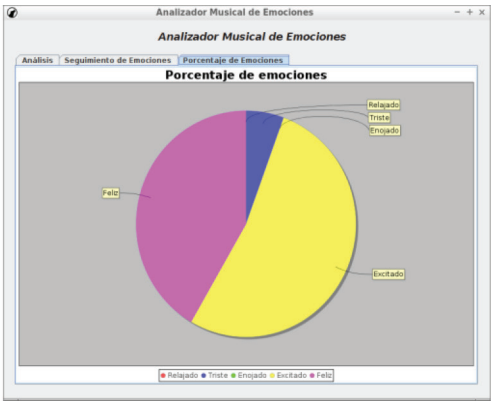


Figura 6b – Porcentaje de emociones

6. Análisis de emociones al discurso

En esta sección se presenta el análisis de emociones realizado al discurso pronunciado por el presidente Juan Manuel Santos en la ceremonia de firma del acuerdo de paz en Colombia. Este análisis fue conducido haciendo uso de la herramienta automatizada propuesta en la sección 5, la cual se encarga de segmentar un archivo de audio para

obtener de cada segmento las variables acústicas de arousal y valencia, mediante las cuales es posible asociar un determinado segmento a una emoción del modelo considerado en la sección 4. Así, en la figura 7a se presenta el proceso de segmentación y clasificación realizado por la herramienta automatizada propuesta sobre el discurso del presidente Santos, el cual tiene una duración aproximada de 22 minutos. Una vez culminado el proceso de análisis de emociones de los diferentes segmentos de audio que conforman el discurso del presidente Santos, la herramienta automatizada permite generar un reporte del comportamiento emocional presentado a lo largo del discurso. Del mismo modo se genera una gráfica de torta que presenta la distribución de las emociones en el audio analizado (ver figura 7b).

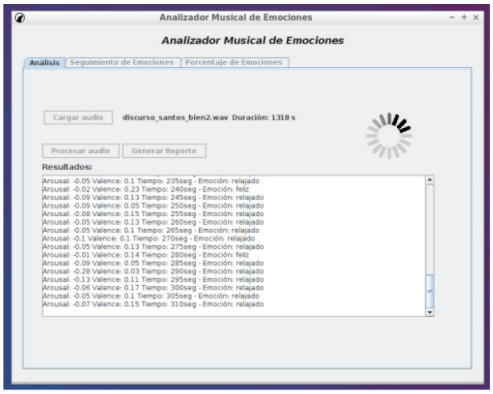


Figura 7a – Análisis segmentos de audio

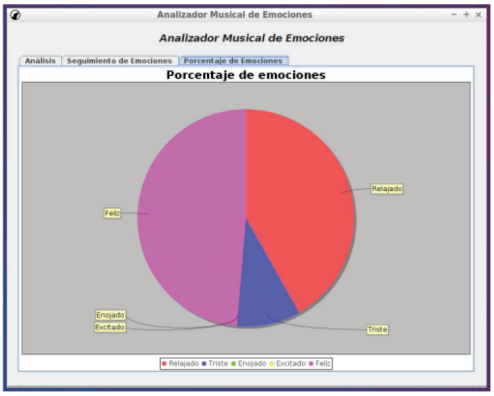


Figura 7b – Porcentaje emociones discurso

De acuerdo a la figura 7b, son tres las emociones predominantes en el discurso del presidente: feliz, relajado y triste. Lo anterior se presenta de manera detallada en la tabla 2, donde se muestra la distribución porcentual de cada uno de estas emociones en el audio analizado.

Emoción	Apariciones	Porcentaje
Triste	22	9.2%
Relajado	90	37.5%
Feliz	128	53.3%

Tabla 2 – Distribución porcentual de emociones

De acuerdo a la tabla 2 el estado predominante en el discurso es el de feliz con un 53.3%, seguido por el de relajado con un 37.5% y por el de triste con un 9.2%. Del mismo modo, en la figura 8 se presenta la traza de emociones obtenida en el discurso, a partir del reporte generado por la herramienta. Como se aprecia en la figura 8, de las cinco emociones consideradas en el modelo de la sección 4, durante el discurso del presidente Santos se pueden evidenciar variaciones entre tres de las cinco emociones del modelo

(feliz, relajado y triste), siendo representativa a lo largo del discurso la fluctuación entre la emoción relajado a la emoción feliz y viceversa.

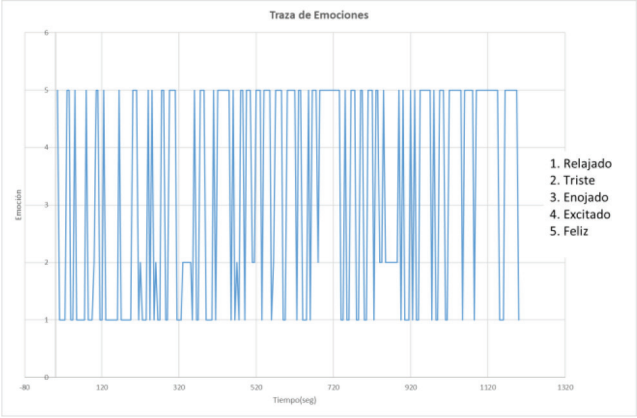


Figura 8 – Traza de emociones del discurso

7. Análisis de sentimientos al discurso

En esta sección se presenta el análisis de sentimientos realizado al discurso del presidente Santos en la firma del acuerdo de paz en Colombia. Este análisis fue conducido haciendo uso de la herramienta en línea provista por el portal de ParallelDots, la cual permite clasificar un texto en tres posibles sentimientos: positivo, neutral y negativo, indicando el porcentaje de cercanía del texto con estos tres tipos de sentimientos. El estudio fue realizado analizando las diferentes ideas presentadas en el discurso a lo largo del tiempo de duración del mismo.

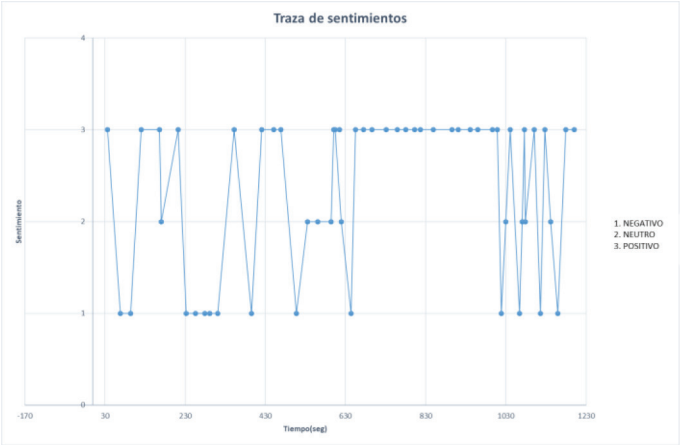


Figura 9 – Traza de sentimientos del discurso

En la figura 9, es posible observar como a lo largo del discurso del presidente Santos el sentimiento positivo es sobresaliente con repecto a los otros dos. Lo anterior se

puede relacionar directamente con los resultados del análisis de emociones presentado en la tabla 2, en donde son solamente tres las emociones que se presentan en el audio del discurso: feliz, relajado y triste. En este orden de ideas es posible establecer una concordancia entre las emociones y sentimientos: feliz y positivo, triste y negativo, relajado y neutro. Del mismo modo, es posible observar que en los dos análisis realizados, tanto la emoción feliz como el sentimiento positivo tienen una distribución porcentual cercana, siendo para el primer caso de 53.3% y para el segundo de 58.2%. Los anteriores resultados permiten inferir que existe una correspondencia entre el análisis de emociones realizado sobre el audio del discurso y el análisis de sentimientos realizado sobre el texto del mismo.

9. Conclusiones y trabajos futuros

El análisis obtenido en este estudio, permite inferir que existe consistencia entre las emociones expresadas en el audio del discurso del presidente Santos y los sentimientos presentes en el texto del discurso. De este modo, es posible relacionar a nivel porcentual la emoción feliz con el sentimiento positivo, la emoción triste con el sentimiento negativo y la emoción relajado con el sentimiento neutro. En este mismo sentido se puede observar que la emoción feliz y el sentimiento positivo tienen una distribución porcentual cercana (53.3% y 58.2% respectivamente).

En este artículo se propuso como aporte adicional un analizador automático de emociones para contenidos auditivos, el cual permite generar una traza sobre la fluctuación de las emociones a lo largo de una pista de audio. Lo anterior gracias a la extracción de las variables acústicas de arousal y valencia sobre fragmentos de audio de 5 segundos de duración, los cuales son mapeados a una de las posibles emociones consideradas en la adaptación del modelo de Russell.

La librería openEAR es un aporte relevante para el desarrollo del analizador de emociones propuesto para contenidos de audio, ya que posibilita la obtención de las variables acústicas asociadas a los segmentos de audio del archivo evaluado. Estas variables son la base para estimar la emoción asociada a un fragmento específico de la pista de audio, tomando en consideración el modelo de emociones de la figura 3.

Mediante el analizador de emociones para contenidos de audio propuesto se pretende abrir un espacio para nuevas investigaciones relacionadas con la construcción de servicios comerciales basados en computación afectiva, como puede ser la estimación de la percepción de un usuario en las opiniones expresadas sobre un producto o servicio vía telefónica. Del mismo modo se generan nuevas posibilidades en cuanto a la creación de servicios en escenarios como el de la televisión digital, donde la interacción se hace mediante comandos de voz.

A modo de trabajo futuro, se pretende desarrollar un servicio para el análisis en línea de emociones para contenidos de audio, semejante al servicio de análisis de sentimientos empleado en este artículo. Lo anterior con el fin de que dicho servicio pueda ser usado para el análisis emocional en diferentes contextos de aplicación. Del mismo modo se pretende realizar un análisis estadístico a partir de una prueba de hipótesis para proporciones entre las frecuencias relativas de las variables en cuestión: positivo - feliz, neutro - relajado y triste-negativo.

Referencias

Baldasarri, S. (2016). Computación Afectiva: tecnología y emociones para mejorar la experiencia. *Revista Institucional de la Facultad de Informática - UNLP*, 14–15.

Brajawidagda, U., Scholl, H., & Chatfield, A. (2013). Tsunami early warnings via Twitter in government: Net-savvy citizens' co-production of time-critical public information services. *Government Information Quarterly*, 377–386.

Bustos, M., Hernández, A., Vásquez, R., Hernández, G., Zatarain, R., & Barrón, M. (2016). EmoRemSys: Sistema de recomendación de recursos educativos basado en detección de emociones. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 80–95.

Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., & Márceles, K. (2018). Propuesta de una herramienta para la estimación de la satisfacción en pruebas de usuario, a partir del análisis de expresión facial. *Revista Colombiana de Computación*, 6–15.

Enriquez, J., & Casas, S. (2013). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informe Científico Técnico UNPA*, 25–47.

Eyben, F., Wollmer, M., & Schuller, B. (2012). *openEAR - Introducing the Munich Open-Source Emotion and Affect Recognition Toolkit*. Technische Universitat Munchen.

Garcia, J., Henríquez-Coronel, P., Pincay, J., & Herrera-Tapia, J. (2019). Analítica de Twitter para el estudio de las emociones primarias durante el terremoto de México 2017. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 479–492.

González, R. (2017). Computación Afectiva: Una mirada a la historia, aplicaciones y proyecciones. *Revista Bits de Ciencia - Universidad de Chile* , 64–71.

Grau, J. (2007). Pensando en el usuario: la usabilidad. *Anuario: Think EPI*, 172–177.

Hassan, Y. (2015). *Experiencia de Usuario: Principios y Métodos*. Granada-España.

Hassan, Y., & Martín, F. (2003). Más allá de la Usabilidad: Interfaces 'afectivas'. *No solo usabilidad*.

Jang, S., & Namkung, Y. (2009). Perceived quality, emotions, and behavioral intentions: Application of an extended Mehrabian–Russell model to restaurants. *Journal of Business Research*, 451–460.

Meyers, O. (2007). *A mood-based music classification and exploration system*. Massachusetts Institute of Technology.

Preece, J. (1994). *Human Computer Interaction (ICS)*. Addison-Wesley.

Rani, V., & Rani, K. (2016). Twitter Streaming and Analysis through R. *Indian Journal of Science and Technology*, 1–6.

Ravi, K., & Ravi, V. (2015). A survey on opinion mining and sentiment analysis: Tasks, approaches and applications. *Knowledge-Based Systems*, 14–46.

Schall, A. (2015). Develando las emociones reales de nuestros usuarios: el futuro de la investigación de experiencia del usuario. *Revista de la Asociación de Profesionales de Experiencia de Usuario, 15*(2).

Seo, Y., & Huh, J. (2019). Automatic Emotion-Based Music Classification for Supporting Intelligent IoT Applications. *Electronics, 8*(2).

Solarte, L., Sánchez, M., Chanchí, G., Durán, D., & Arciniegas, J. (2016). Dataset de contenidos musicales de video, basado en emociones. *Revista Ingenierías USBMed*, 37–46.

Solarte, L., Sánchez, M., Chanchí, G., Durán, D., & Arciniegas, J. (2016). Video on demand service based on inference emotions user. *Revista Sistemas y Telemática*, 31–47.

Solis Tech. (2016). *Human Computer Interaction - The fundamentals made easy*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

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

Recebido/Submission: 01/03/2019
Aceitação/Acceptance: 22/06/2019

Human upper limbs movements imitation in a humanoid robot using a natural user interface

Acurio Maldonado Santiago Alejandro[1], Robayo Jácome Darío Javier[1], Acurio Maldonado Daniel Marcelo[1], Amancha Proaño Pablo[1], Cárdenas Salazar Álvaro[1]

sacurio@pucesa.edu.ec, drobayo@pucesa.edu.ec, bdp_rs@hotmail.com, dacurio@pucesa.edu.ec, pamancha@pucesa.edu.ec.

[1] Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, Ambato, EC180207, Tungurahua, Ecuador.

Pages: 108–119

Resumen: El objetivo de este trabajo es manipular las extremidades superiores de un robot humanoide en correspondencia con el movimiento de un usuario capturados por una interfaz natural. Para conseguir este objetivo se ha utilizado un dispositivo Kinect y librerías del SDK para desarrolladores para facilitar la representación del esqueleto humano con puntos y huesos. Magnitudes escalares y vectoriales de las extremidades superiores se calculan usando información del dispositivo Kinect, luego estos valores son transformados utilizando algoritmos codificados en visual C#. Finalmente, estos datos son enviados a través de una conexión serial RS232 a cada servomotor en las extremidades del robot humanoide. El resultado de la aplicación es un movimiento similar entre el usuario y el humanoide con uno o los dos brazos. Trabajos futuros permitirán mayor movimiento en un robot imitador.

Palabras-clave: Robot humanoide, Kinect, RoboBuider, Visual C#, comunicación serla, movimiento de extremidades superiores.

Abstract: The aim of this study is to control the upper limbs of a humanoid robot so that it follows the movements of a user, captured by a natural interface. To meet this objective, a Kinect device and SDK developer libraries have been used to represent the human skeleton with joints and bones. The vector and angular quantities of the upper limbs are calculated using information from the Kinect device. These values are then transformed through Visual C # encoded algorithms. Finally, this data is sent by an RS232 serial connection to each servomotor in the humanoid robot's limbs. The result of the application is a similar movement between the user and the humanoid with one or both arms. Further studies will enable the complete movement of an imitator robot.

Keywords*:* humanoid robot, Kinect, RoboBuilder, Visual C#, serial communication, upper limbs movement.

1. Introducción

La robótica en la actualidad tiene un impacto relevante en las actividades humanas (Tsarouchi, Makris, & Chryssolouris, 2016) (Koppula & Saxena, 2016) y se espera

un desarrollo más significativo aún (Mercader Uguina, 2017). Los robots con forma humana han sido desarrollados de manera muy diversa. En este trabajo se muestra un procedimiento para implementar una interfaz natural de usuario o NUI por sus siglas en inglés (Kaushik & Jain, 2014), que permita manipular las extremidades superiores de un robot HUNO para una modificación de sus posiciones en tiempo real (Liu, Xi, Song, Um, & Cho, 2013).

RoboBulider es una plataforma educativa DIY, constrúyelo tú mismo por sus siglas en inglés, utiliza comunicación serial con el computador y puede ser ensamblado de tres maneras distintas, siendo la disposición tipo HUNO[1] la correspondiente a un humanoide de 16 grados de libertad.

Con esta finalidad, se utiliza un dispositivo Kinect[2] de XBOX360 (Damle, Gujar, Joshi, & Nagre, 2015) que permite reconocer la estructura corporal de un usuario de forma que su representación en puntos forma un esqueleto. Esta distribución corporal permite determinar los movimientos humanos, basado en los puntos y vectores que forman las extremidades superiores.

Estos movimientos son analizados vectorialmente, de forma que se representan posiciones angulares en tres dimensiones, las mismas que se traducen matemáticamente (Curci & Gini, 2015), con un algoritmo computacional en las posiciones de los servomotores de las extremidades superiores del robot HUNO, la comunicación serial, permite que estas posiciones se envíen a la plataforma RoboBuilder y los movimientos se representen en tiempo real

2. Estado del Arte

La aplicación de dispositivos tipo Kinect en robots ha tenido un amplio desarrollo, que va desde visión artificial (Martínez, y otros, 2016) por su capacidad de medir la profundidad; detección de obstáculos a diferentes alturas (Cubides Franco, 2017); el movimiento de brazos robóticos (Gutierrez Cáceres, Pardo Beainy, Sosa Quintero, & Jiménez López, 2017) representados por movimientos de las manos; la manipulación de objetos peligrosos de forma remota (Jimenez Moreno, 2015), hasta robots quirúrgicos que se puedan manipular con una intefaz natural (Hurtado-Chavez, Nástar-Guacales, & Vivas-Albán, 2015); esto sumado a la facilidad de utilización de varios lenguajes de programación para el desarrollo de soluciones basadas en Kinect (Rodríguez Pérez, 2015), lo muestra como un elemento de gran aplicación y utilidad.

La aplicación de Kinect en robots humanoides resulta interesante. La técnica de motion retargeting aplicada en plataformas robóticas, permite realizar un análisis cinemático inverso en las extremidades superiores de un humanoide (Medina Lee & Capacho

[1] HUNO is robotic DIY kit designed to provide robot enthusiasts with the value of education and entertainment and an affordable, feature rich level humanoid robot. It comes with the latest technology like 16 DOF, daisy chain serial bus, IR and sound sensor and USB connectivity. https://www.robobuilder.net

[2] Kinect is Microsoft's motion sensor add-on for the Xbox 360 gaming console. The device provides a natural user interface (NUI) that allows users to interact intuitively and without any intermediary device, such as a controller. https://searchhealthit.techtarget.com

Valbuena, 2015) (Rakita, Mutlu, & Gleicher, 2017). Tölgyessy, Dekan, & Hubinský (2018) diseñaron un método en el cual un robot se mueve hacia una posición designada por un operador humano; esto gracias al sensor de profundidad de Kinect, que captura la posición y el gesto del operador. En este tipo de aplicaciones es fundamental medir el alcance y tiempo de respuesta que el Kinect presenta para dar paso al control eficiente y exacto de dispositivos a través de movimientos (Villicaña González, Orvañanos Guerrero, & Rodríguez Figueroa, 2018). Los movimientos de los brazos de un humanoide se realizan mediante servomotores que responden a coordenadas en los ejes x, y, z; por lo que es necesario un análisis de la cadena cinemática y de la geometría del robot; para ello se aplica cinemática inversa encontrando así el movimiento del servo que alcance la posición apropiada en el espacio, lo que al final resulta en un sistema de ecuaciones (Flacco, 2017).

El presente trabajo muestra un alcance al análisis cinemático basado en un estudio vectorial de los movimientos de los brazos de un usuario, para que sean imitados por un humanoide en tiempo real, sin afectar su equilibrio. El aporte que se presenta es un proceso de construcción de una solución robótica, un conjunto de cálculos angulares que pueden ser replicados en otros humanoides; y, una experimentación práctica de estos resultados en una plataforma robótica educativa.

3. Desarrollo

El esquema de funcionamiento que se utiliza en el prototipo de ilustran en la figura1. Un usuario interactúa con el dispositivo Kinect, el mismo que se comunica con el computador vía USB, se procesa la información de los movimientos detectados y las posiciones angulares son enviadas vía RS-232 (US Patente nº US6738855B1, 2004)al robot HUNO, el cual imita los movimientos humanos.

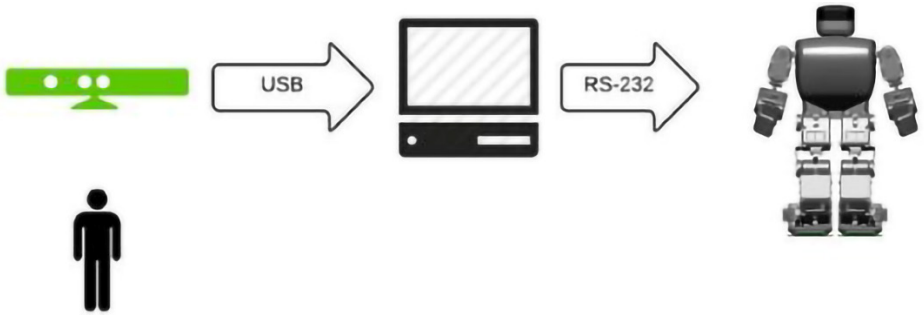


Figura 1 – Esquema de funcionamiento

Para la detección del usuario, se utiliza el SDK de Kinect (Rahman, 2017), que proporciona un conjunto de métodos para la determinar las coordenadas de las articulaciones del cuerpo humano. Para la comunicación serial con el humanoide se utiliza la librería RoboBuilderLib que proporciona métodos de control de los grados de libertada del robot HUNO.

Para el desarrollo de la propuesta de solución se realiza un esquema de trabajo que se visualiza en la figura 2. Con el objetivo de determinar los valores que deben ser transmitidos a los servomotores del robot humanoide en correspondencia con los movimientos humanos.

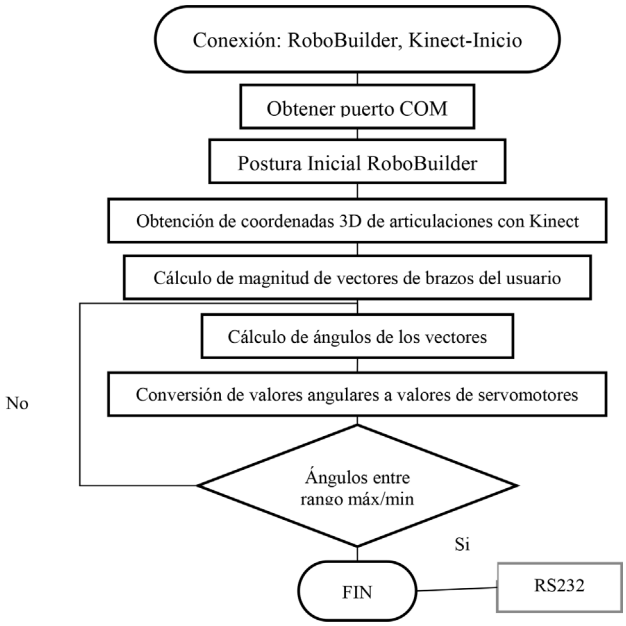


Figura 2 – Procedimiento para determinar movimientos de las extremidades superiores de un robot humanoide con NUI

Para la comunicación entre computador y robot se utiliza un puerto de comunicación serial COM que permite trasportar datos síncronamente. Una vez seleccionado un puerto de comunicación correspondiente gracias a los métodos provistos por la librería RoboBuilderLib, se determina una posición inicial de los servomotores que permita colocar al humanoide de pie, manteniendo el equilibrio vertical, a pesar de los movimientos de las extremidades superiores. Para este efecto se exploran algunas de las posiciones pre-establecidas que oferta la librería de RoboBuilder con modificaciones pequeñas en los servomotores: ID[6], ID[1], ID[7], ID[2], correspondientes a las extremidades inferiores del humanoide.

La figura 3 muestra las condiciones de posición y distribución de los 16 servomotores del humanoide HUNO para mantener la posición inicial en equilibrio.

Con la posición inicial determinada, se busca obtener las coordenadas 3D de las articulaciones del usuario que manipule al humanoide. Para lograrlo se utiliza la funcionalidad Skeleton Stream del SDK de Kinect (Pullen, Ogbesor, & Seffens, 2015),

que combina las cámaras RGB y de profundidad (Komang, Surya, & Ratna, 2016) para determinar los veinte puntos de referencia y 19 huesos que conforman una estructura corporal humana simplificada formando un modelo para el análisis (Na, Choi, Kim, & Kim, 2019)(ver figura 4).

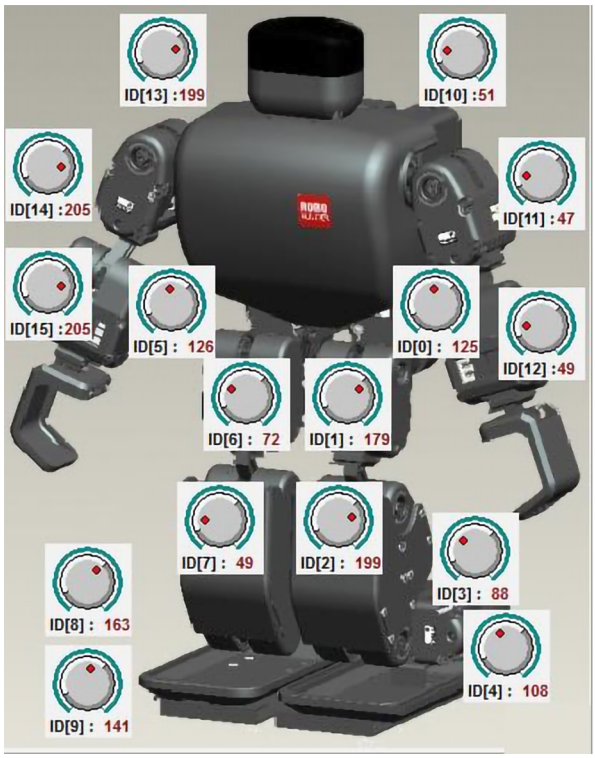


Figura 3 – Distribución de servomotores y valores correspondientes a la posición inicial del robot HUNO

Cada una de las articulaciones tiene una ubicación que es determinada en un grupo de coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) (Na, Choi, Kim, & Kim, 2019). Estos datos permiten determinar los ángulos corporales que se forman entre cada uno de los huesos de la representación con el uso del sensor Kinect (Su, Wu, Sheng, & Shen, 2019).

Para el efecto de este trabajo, se analizan exclusivamente las extremidades superiores. Así se estudian los vectores que se forman entre el hombro y codo; y entre el codo y la mano, de cada una de las extremidades izquierda y derecha.

Así para la extremidad superior derecha se analizan las distribuciones angulares para el plano XY se determinan los ángulos Hd (hombro derecho) y Cd (codo derecho). En el plano YZ los vectores corporales forman el ángulo Hdz, como se muestra en la figura 5.

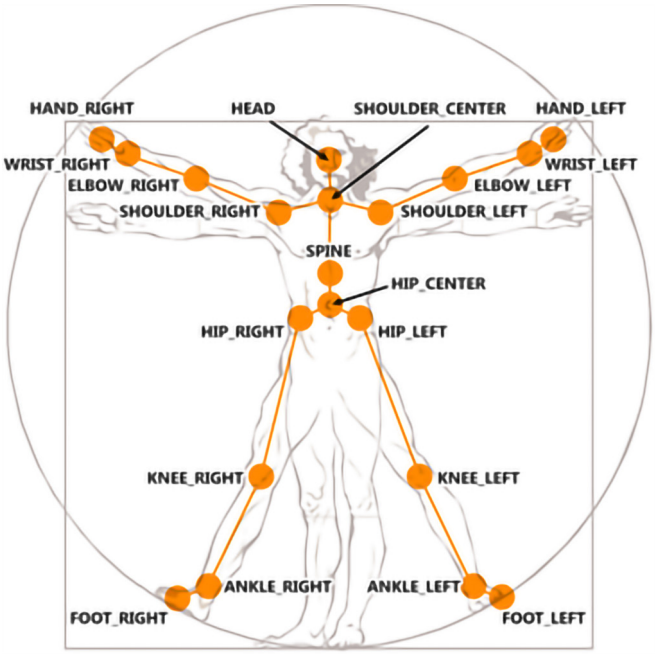


Figura 4 – Esqueleto digital provisto por Kinect con el nombre de las articulaciones

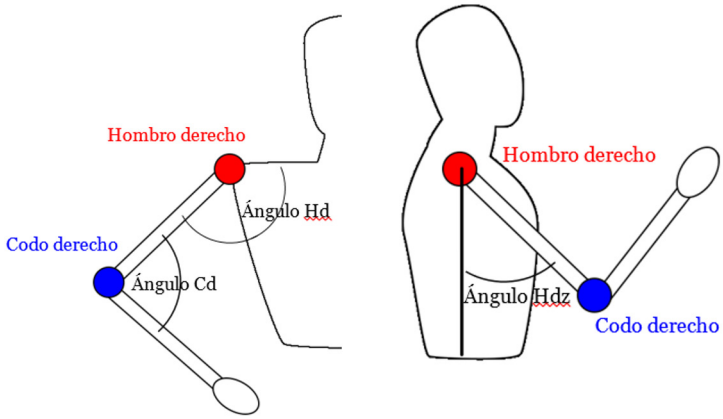


Figura 5 – Ángulos y articulaciones plano XY y plano YZ para el brazo derecho

De manera simétrica para la extremidad superior izquierda se corresponden los ángulos Hi, Ci en el plano XY y el ángulo Hiz en el plano YZ, según lo que se muestra en la figura 6.

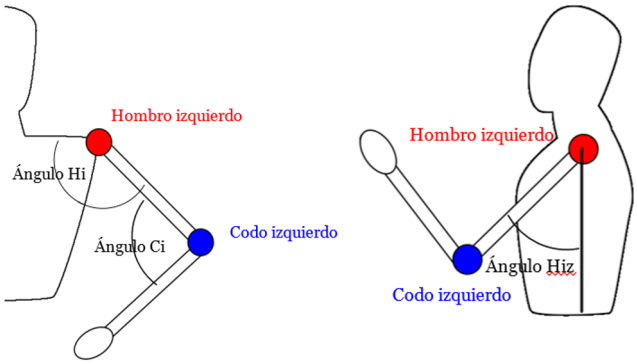


Figura 6 – Ángulos y articulaciones plano XY y plano YZ para el brazo izquierdo

Como siguiente paso descrito en el procedimiento se deben determinar las magnitudes de los vectores hombro-codo y codo-mano de cada una de las extremidades izquierda y derecha. Para poder determinar posteriormente los valores de los ángulos que se forman entre cada uno de los vectores. Para este efecto se utiliza el producto punto (Museros Romero, 2017) o escalar entre dos vectores $\overrightarrow{A}\ y\overrightarrow{B}$ utilizando sus componentes rectangulares como se describe en la ecuación 1.

$$\overrightarrow{A}.\overrightarrow{B}. = \overrightarrow{A_x}.\overrightarrow{B_x} + \overrightarrow{A_y}.\overrightarrow{B_y} + \overrightarrow{A_z}.\overrightarrow{B_z}) \tag{1}$$

Con los datos obtenidos del sensor Kinect de cada uno de los puntos y aplicando la ecuación 2, se determina el módulo de cada uno de los vectores formados entre los puntos hombro-codo ((V_1) $^{\rightarrow}$) y codo-mano ((V_2)). Según (2).

$$\overrightarrow{V_1} = \sqrt{\overrightarrow{A_x}^2 + \overrightarrow{A_y}^2 + \overrightarrow{A_z}^2} \qquad \overrightarrow{V_2} = \sqrt{\overrightarrow{B_x}^2 + \overrightarrow{B_y}^2 + \overrightarrow{B_z}^2} \tag{2}$$

La ecuación 3 permite calcular el ángulo que se genera en el codo (valores de ángulos en radianes).

$$\text{Acod} = \cos^{-1}\frac{\vec{A}\cdot\vec{B}}{\overrightarrow{V_1} * \overrightarrow{V_2}} \tag{3}$$

Para determinar el valor de los ángulos del hombro derecho y el hombro izquierdo en el plano XY se utilizan las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

$$AHombroDerXY = \cos^{-1}\frac{\overline{-A_x}}{\overrightarrow{V_1}} \tag{4}$$

$$AHombroIzqXY = \cos^{-1}\frac{\overline{A_x}}{\overline{V_1}} \tag{5}$$

El valor del ángulo que se forma en el hombro para el eje Z se determina mediante la ecuación 6.

$$AHombroZ = \cos^{-1}\frac{\overrightarrow{A_z}}{\overrightarrow{V_1}} \tag{6}$$

Una vez obtenidos los valores de cada una de las extremidades; según el procedimiento establecido, estos valores deben ser convertidos en valores que puedan ser interpretados adecuadamente (Vongchumyen, Bamrung, Kamintra, & Watcharapupong, 2018)en la plataforma robótica de RoboBuilder. Los movimientos de los dieciséis servomotores del robot humanoide pueden recibir valores enteros para sus correspondientes ángulos entre 0 y 250 grados.

Como los valores angulares obtenidos no guardan una correspondencia directa con los rangos en cada servomotor de la plataforma robótica deben ser transformados según lo que se establece en la siguiente tabla:

ID Motor	Nombre del Motor	Valores		Fórmula de conversión
		Máximo	Rango	
10	Hombro izquierdo Z	270°	0.89	LSZP = ((Vmáx − ángulo) ∗ valor) + 10°
11	Hombro derecho XY	-	-	Si el ángulo > 0 LSXP = 128° – ángulo Caso contrario LSXP = 128° + ángulo
12	Codo izquierdo	Si el ángulo es mayor que 90°		
		180°	0.944443	LEP = 125° − ((Vmáx − ángulo) ∗ valor)
		Caso contrario		
			0.444443	LEP = ángulo ∗ valor
13	Hombro derecho Z	270°	0.89	RSZP = (ángulo ∗ valor) + 10°
14	Hombro derecho XY	-	0.855555	Si ángulo > 0 RSXP = 128° + (ángulo ∗ valor) Caso contrario RSXP = 128° − (ángulo ∗ valor)
15	Codo derecho	180°	0.84444443	REP = ((Vmáx − ángulo) ∗ valor) + 128°

Tabla 1 – Cálculo del valor de servomotores de las extremidades superiores del robot humanoide

Una solución de Visual Studio con una aplicación de C# basada en NetFramework4.5 desarrollada en computadora, agrega una referencia a la librería RobobuilderLib.dll, que permite la selección de un puerto de comunicación COM a través de un objeto PCremote() y la transferencia de las posiciones calculadas al robot humanoide a través de un objeto wckMotion(). La función PlayPose() del objeto wckMotion permite transferir hacia el robot humanoide los valores de las posiciones ya calculadas según se muestra en la tabla 1. La aplicación además integra extensiones de Microsoft.Kinect y de Microsoft. Kinect.Toolkit, que proveen un contenedor SkeletonPainter3D, que logra la captura de los datos referenciales de las posiciones de las articulaciones con los cuales se procede a los cálculos angulares de la cinemática inversa. Este procedimiento se actualiza con cada movimiento del usuario, de forma que el robot humanoide replica los mismos.

4. Resultados y discusión

Como primer resultado parcial de este trabajo se establecen una serie de valores angulares para cada grupo de servomotores que conforman una extremidad. Las tablas 2 y 3 muestran un resumen de los ángulos corporales y su respectiva posición transformada en valores por servomotor.

Posición Servo 10	Ángulo corporal	Posición Servo 11	Ángulo corporal	Posición Servo 12	Ángulo corporal
73	145°	70	171°	76	-58°
98	142°	99	126°	85	-26°
138	158°	102	199°	97	-29°

Tabla 2 – Posiciones de los servomotores y ángulos corporales de la extremidad izquierda

Posición Servo 13	Ángulo corporal	Posición Servo 14	Ángulo corporal	Posición Servo 15	Ángulo corporal
146	151°	133	153°	146	-6°
159	138°	145	201°	157	-20°
188	151°	169	168°	160	-48°

Tabla 3 – Posiciones de los servomotores y ángulos corporales de la extremidad derecha

De la experimentación realizada con el prototipo se logra determinar que los movimientos de hiperextensión y flexión (en 225 grados); así como los de rotación en abducción (en 180 grados) (Vargas, Abad, Baena, Guadarrama, & Valdiviezo, 2015) en cada uno de los hombros de las extremidades superiores son cubiertos en su totalidad.

Las limitaciones que presenta la plataforma RoboBuilder en cuanto al uso de valores enteros positivos para las posiciones de los servomotores no permite mantener una exactitud en la representación de los movimientos.

Con estos datos presentados en este trabajo pueden establecer posteriormente algoritmos computacionales que establezcan movimientos individuales por cada brazo. Se sugiere las opciones de movimientos: lateral, arriba, frontal y abajo. Una vez establecidos los movimientos individuales se pueden preparar soluciones de movimientos en conjunto de las extremidades superiores.

5. Conclusiones

La aplicación de las cámaras RGB y de profundidad del Kinect de Xbox, así como el uso de los métodos expuestos en el Kinect SDK, permiten a través de las clases Skeleton la representación y captura efectiva de los movimientos corporales de las extremidades superiores de un usuario.

La librería dinámica RoboBuilderLib resulta de utilidad para la transmisión de los datos de las posiciones de los servomotores desde el computador hacia el humanoide. Se utiliza el puerto de comunicación DB9 sin embargo es de fácil transformación a USB con adaptadores.

Los principios matemáticos utilizados para la determinación de los ángulos corporales no tienen dependencia de la plataforma robótica, de forma que los datos presentados, pueden ser aplicados en cualquier robot de tipo humanoide.

La aplicación de un procedimiento para la determinación de las posiciones de los servomotores de la plataforma robótica resulto eficiente en cuanto los movimientos de las extremidades superiores puesto que permite determinar con exactitud los ángulos en tres dimensiones de cada uno de los puntos de las extremidades superiores.

El movimiento de las extremidades inferiores de un robot humanoide presenta mayores complicaciones relacionadas con el equilibrio del robot, por lo que sería recomendable el uso de plataformas robóticas educativas con acelerómetros o giroscopios para logar cálculos del centro de gravedad.

Referencias

Cubides Franco, A. (2017). Diseño e implementación de un sistema de interacción entre robots E-pucks dirigidos por un usuario y objetos virtuales. Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente.

Curci, M., & Gini, G. (2015, 12 18). POLITESI archivio digitale delle tesi di laurea e di dottorato. Retrieved from Tesi di laurea specialistica/magistrale: http://hdl.handle.net/10589/115941

Damle, R., Gujar, A., Joshi, A., & Nagre, K. (2015). Human Body Skeleton Detection and Tracking. International Journal of Technical Research and Applications, 222–225.

Flacco, F. (2017). Real-Time Computation of Distance to Dynamic Obstacles with Multiple Depth Sensors. IEEE Robotics and Automation Letters, 56–63.

Goldman, S. (2004). US Patent No. US6738855B1.

Gutierrez Cáceres, E., Pardo Beainy, C., Sosa Quintero, L., & Jiménez López, F. (2017). ROBOT DIBUJANTE CONTROLADO MEDIANTE EL SENSOR KINECT. Revista Colombiana de Tecnología de Avanzada.

Hurtado-Chavez, J., Nástar-Guacales, A., & Vivas-Albán, O. (2015). Sistema de captura de gestos con KINECT para la manipulación de robots quirúrgicos virtuales. ITECKNE, 12(1), 17–24.

Jimenez Moreno, R. (2015). Tracking Humano mediante kinect para control de robots. Clepsidra, 107–112.

Kaushik, M., & Jain, R. (2014). Gesture Based Interaction NUI: An Overview. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 9(12), 633–636.

Komang, M., Surya, M., & Ratna, A. (2016). Human activity recognition using skeleton data and support vector machine. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. doi:doi:10.1088/1742-6596/1192/1/012044

Koppula, H., & Saxena, A. (2016). Anticipating Human Activities Using Object Affordances for Reactive Robotic Response. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14–19.

Liu, H., Xi, Y., Song, W., Um, K., & Cho, K. (2013). Gesture-Based NUI Application for Real-Time Path Modification. IEEE 11th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Chengdu, doi: 10.1109/DASC.2013.104, 446–449.

Martínez, C., Badillo, I., Pimentel, J., Pérez, E., Acevedo, F., & Rosales, L. (2016). Sistema de Navegación Reactiva Difusa para Giros Suaves de Plataformas Móviles Empleando el Kinect. Revista Electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica.

Medina Lee, J., & Capacho Valbuena, L. (2015). Control de un robot humanoide utilizando Motion Retargeting. Journal of Research of the University of Quindio, 27(2), 23–28.

Mercader Uguina, J. (2017). El impacto de la robótica y el futuro del trabajo. Revista de la Facultad de Derecho de México, 67(269), 149–174.

Museros Romero, P. (2017). Mecánica : Estática y cálculo vectorial. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Na, H., Choi, J., Kim, H., & Kim, T. (2019). Development of a human metabolic rate prediction model based on the use of kinect-camera generated visual data-driven approaches. Building and Environment. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106216

Pullen, P., Ogbesor, A., & Seffens, W. (2015). Kinect acquisition of skeleton body positions during yoga and tai chi for exergame development. Medicine & Science in Sports & Exercise.

Rahman, M. (2017). Beginning Microsoft Kinect for Windows SDK 2.0: Motion and Depth Sensing for Natural User Interfaces. Montreal: Apress.

Rakita, D., Mutlu, B., & Gleicher, M. (2017). A Motion Retargeting Method for Effective Mimicry-based Teleoperation of Robot Arms. Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, (pp. 361-370). Vienna.

Rodríguez Pérez, M. (2015). Desarrollo de un sistema para la teleoperación de un robot manipulador cilíndrico mediante reconocimiento de gestos a través del sensor Kinect. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Su, B., Wu, H., Sheng, M., & Shen, C. (2019). Accurate hierarchical human actions recognition from kinect skeleton data. IEEE Access. doi:10.1109/ACCESS.2019.2911705

Tölgyessy, M., Dekan, M., & Hubinský, P. (2018). Human-Robot Interaction Using Pointing Gestures. Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control. Estocolmo.

Tsarouchi, P., Makris, S., & Chryssolouris, G. (2016). Human–robot interaction review and challenges on task planning and programming. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 916–931.

Vargas, G., Abad, Á., Baena, N., Guadarrama, J., & Valdiviezo, I. (2015). Control de Señales EMG para el Movimiento de un Brazo Robótico de Tres Grados de Libertad. Cultura Científica y Tecnológica.

Villicaña González, C., Orvañanos Guerrero, M. T., & Rodríguez Figueroa, E. (2018). Brazo Robótico Controlado por Medio de Visión Computacional utilizando un Kinect. Tecnológico Nacional de México.

Vongchumyen, C., Bamrung, C., Kamintra, W., & Watcharapupong, A. (2018). Teleoperation of Humanoid Robot by Motion Capturing Using KINECT. International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (pp. 1-4). IEEE.

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

Recebido/Submission: 26/03/2019
Aceitação/Acceptance: 12/06/2019

Aplicación móvil para fortalecer el aprendizaje de ajedrez en estudiantes de escuela utilizando realidad aumentada y m-learning.

Joe Llerena Izquierdo[1], Maitte Robalino Alfonso[1], Michael Andina Zambrano[1], Jamilette Grijalva Segovia[1].

jllerena@ups.edu.ec, mrobalinoa@est.ups.edu.ec, mandina@est.ups.edu.ec, jgrijalvas1@est.ups.edu.ec.

[1]Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 120–133

Resumen: El presente trabajo, se plantea una metodología educativa innovadora para el aprendizaje del ajedrez, en niños de educación primaria mediante una aplicación móvil que permita aplicar la técnica de la realidad aumentada, como un mecanismo de refuerzo en las escuelas. El interés por aprender se fomenta cuando de por medio intervienen dispositivos tecnológicos adecuados. Por este motivo la educación digital despierta la motivación por aprender, especialmente en edades tempranas, cuando empiezan su formación académica con iniciativas creativas utilizando aplicaciones accesibles para ámbitos de estudio. Sin embargo, en Ecuador no existen aplicaciones creadas con realidad aumentada para fortalecer e incentivar el aprendizaje del ajedrez. Bajo este prisma, "Jaque Maitte" es una aplicación móvil, que utiliza una técnica de aprendizaje dinámica llamada Gamificación que mediante el juego se logra el aprendizaje del ajedrez, con diversos métodos de aplicación para la educación, otorgando información precisa sobre el aprendizaje de una manera interactiva.

Palabras-clave: Realidad Aumentada; M-learning; Gamificación; Educación Digital; Sistemas Interactivos.

Mobile application to encourage education in school chess students using augmented reality and m-learning.

Abstract: The present study proposes an innovative educational methodology for elementary school kids that want to learn chess by using a mobile application which applies the augmented reality technique as a mechanism of reinforcement in Primary School. Interest in learning is encouraged when appropriate technological devices are involved. For this reason, digital education arouses motivation to learn, especially at an early age, when kids begin their academic training with creative initiatives using accessible applications for every subject. However, in Ecuador there are no applications created with augmented reality to strengthen and encourage the learning of chess. With this concept arrives "Jaque Maitte", which is a mobile application, that uses a dynamic learning technique called Gamification. It achieves

the learning of chess, with various methods of application for education, giving precise information about learning in an interactive way.

***Keywords**:* Augmented Reality, M-Learning, Digital Education, Interactive Systems, Big Data.

1. Introducción

Con las nuevas tecnologías de la información que se incorporan al aula, las innovaciones educativas se diversifican. La educación transciende en los niños, cambiando la forma en que ésta se aplica, se buscan nuevos sistemas de enseñanza y métodos de aprendizaje de manera más dinámica y sencilla (Banchoff Tzancoff, Martin, López, & Alfano, 2015). Actualmente hay muchos recursos tecnológicos que facilitan la educación de los niños en las escuelas, en distintas áreas de estudio y en el control de las actividades diarias que supervisan los padres de familia. Una de las principales tendencias en el ámbito del uso de las tecnologías en la educación, es la gamificación, que hace referencia a la aplicación dinámica de los juegos en distintos ámbitos, en este caso, en la educación (Kim, Song, Lockee, & Burton, 2018).

La gamificación consigue implicar al participante y ofrecer una forma diferente de aprendizaje, motivándole y desarrollando un compromiso para alcanzar un objetivo de estudio. En el amplio abanico de estas tecnologías que se usan dentro del aula, nos enfocamos en la realidad aumentada, la misma que genera nuevos modos de interactuar con el entorno y ofrece un gran potencial educativo (Akçayır & Akçayır, 2017). La realidad aumentada permite un potencial desarrollo de incorporar gamificación en áreas de estudio específicas. El uso de dispositivos móviles y/o Smartphone para uso académico, juegan un gran papel importante en las técnicas que se usan en la actualidad para captar apego e inclinación a diferentes temáticas de estudio, gracias a aplicaciones innovadoras (Barbour, 2014).

En Ecuador, existen diversas propuestas que unen la educación con la realidad aumentada, con el fin de innovar estrategias que aumenten el interés de los niños para un tema específico. Sin embargo, poca atención se ha prestado al desarrollo de estas propuestas para el aprendizaje del ajedrez, a la fecha no hay evidencia de una aplicación móvil que refuerce de manera interactiva el aprendizaje de este deporte ciencia con el uso de la realidad aumentada. La finalidad de este documento es fomentar y fortalecer metodologías innovadoras de aprendizaje que permitan disminuir brechas digitales en la educación, gracias a las aplicaciones móviles con realidad aumentada creada para sistemas Android.

La aplicación "*Jaque Maitte*" permite interactuar con el usuario, pensado para que se pueda aprender ajedrez de manera interactiva utilizando nuevas tecnologías emergentes.

2. Marco Teórico

2.1. Realidad aumentada en el ámbito educativo.

Actualmente, la realidad aumentada está presente en la sociedad y los beneficios que brinda en la educación son muy variados (Billinghurst & Duenser, 2012). La práctica de

esta técnica depende primeramente del tema que se desea fomentar y de la imaginación que se le adapta al elemento virtual. Existe la posibilidad de añadir a los libros, revistas, tarjetas y demás textos, un marcador que ejemplifica o modela la información contenida, de igual forma se pueden utilizar para hacer referencia a información que complemente el aprendizaje del tema (Lee, 2012). Por otro lado, una de las virtudes que ofrece la realidad aumentada, es su capacidad de modelar lo que se está explicando, esto permite inclusive la interacción y la maniobra, favoreciendo la experimentación y el desarrollo educativo (Bower, Howe, McCredie, Robinson, & Grover, 2014).

Esta capacidad de interacción es precisamente la principal ventaja de la realidad aumentada al compararla con el audiovisual tradicional, ya que los procesos pedagógicos se ven muy beneficiados cuando el estudiante posee experiencias cercanas a las materias de estudio. Igualmente, la realidad aumentada admite la contextualización del objeto de estudio, del mismo modo, una de las ventajas de aplicar esta técnica en la educación, es la posibilidad de explicar conceptos abstractos, las cuales no podemos acceder de una manera tangible, como por ejemplo conceptos químicos, esto nos permite ver una molécula en tres dimensiones, poder agrandarla, modificarla y esto ya nos permite comprender de una manera concreta conceptos abstractos (Kesim & Ozarslan, 2012).

La figura 1 muestra la aplicación "*Jaque-Maitte*" ejecutada en un dispositivo móvil con sistema operativo Android, que usa la realidad aumentada con entorno multimedia al apuntar a una pieza de ajedrez.

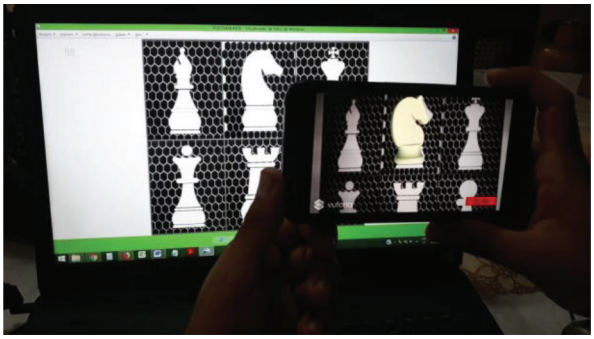


Figura 1 – Aplicación "*Jaque-Maitte*" visible en un dispositivo inteligente, en una plataforma con sistema operativo Android.

2.2. Educación digital en la actualidad.

La sociedad en la que vivimos se transforma y crece constantemente. Es así como la cultura digital emerge con nuevas prácticas sociales que reconfiguran muchos de los aspectos de nuestras vidas, ofreciendo nuevas oportunidades, pero también nuevos desafíos para construir la escuela del futuro, promoviendo la innovación pedagógica y la calidad de los aprendizajes (Cuban, 2010). Esta transición requiere repensar las prácticas en escenarios más complejos y diseñar propuestas desde la renovación de enseñanza donde los alumnos puedan producir y construir su conocimiento junto a un docente guía y orientador de esos aprendizajes. De esta manera, se promueve la alfabetización digital centrada en

el aprendizaje de competencias y saberes que son necesarias para una inserción plena en la cultura contemporánea y en la sociedad del futuro (Williamson, 2016). Las TIC son esenciales dentro de la educación, convirtiéndose en un reto para los docentes, puesto que los estudiantes en la actualidad tienen destrezas desarrolladas al utilizar los diferentes dispositivos tecnológicos, esto hace que los docentes se encuentren en continuo aprendizaje, pasando de ser el transmisor del conocimiento a ser un mentor o guía en el proceso de aprendizaje. Las TIC, En medio de la educación digital han traído diversas ventajas como: una mayor motivación presentada por los alumnos, cuando las TIC se ven involucradas en el día a día de su educación, esto hace que el aprender y la realización de trabajos y tareas sea mucho más atractiva y amena. Otra ventaja, es el mayor nivel de cooperación gracias a que los conocimientos adquiridos pueden ser compartidos a través de las redes y foros. Para los docentes también es una gran ventaja para la organización de sus clases. La educación digital es esencial para la formación de alumnos e incluso los docentes, la cual se va desarrollando con el paso del tiempo para que los egresados de dichas instituciones puedan ser competentes en un ámbito tecnológico y social.

2.3. M-Learning.

Una buena manera de introducir las tecnologías en el aula es a través de actividades de aprendizaje bien estructuradas donde intervengan los dispositivos móviles, la metodología que se ocupa de determinar la mejor manera de introducir estos dispositivos en el ámbito académico es el mobile learning o m-learning (Lindsay, 2016). No obstante, la definición de *m-learning* no se ha de limitar exclusivamente en los dispositivos, pues es mucho más que eso, hace referencia a la ubicuidad de contenidos, y a una conectividad constante. La M de *M-learning* hace referencia más a la movilidad del alumnado y de los contenidos, que a la de los propios dispositivos. Algunas de las ventajas actuales del M-Learning son: conectividad en todo momento, movilidad con acceso a internet en cualquier lugar, interacción de varios sentidos con: las pantallas táctiles, los dispositivos intuitivos al habla y a la escucha, y, aplicaciones móviles educativas y creativas. Permitiendo acceder a contenidos de calidad y creativos, beneficiando y optimizando el uso del aprendizaje móvil en el ámbito docente al máximo posible. (Thomas & Munoz, 2016).

3. Materiales y métodos

En la presente sección se describen las fases principales en la que se divide el trabajo para crear el prototipo y producto final de la aplicación móvil. El proyecto se divide en dos fases, la primera se realiza el desarrollo de la aplicación para dispositivos Android, y la segunda fase, se desarrolla el análisis a través de encuestas de satisfacción sobre el producto final. La elección de las herramientas de software se basa en cuatro criterios: costo, integración, soporte y rendimiento, como primer momento para la elaboración de un prototipo. Esto permite tomar en consideración para trabajos posteriores, la norma ISO/IEC 25010 de calidad del producto de software contemplando sus características de calidad (ISO/IEC 25010, 2011).

3.1. Aplicación para dispositivo móvil.

El primer paso es la creación de los modelos tridimensionales que aparecen en la aplicación móvil, en este caso son seis modelados en 3D, cada una con altura distinta

dependiendo de la pieza de ajedrez. El software que se usa para el modelado en tres dimensiones es Sketchup 2018 como se muestra en la Figura 2. Se usa este software ya que el modelado final con esta aplicación hace que el archivo no ocupe demasiado espacio al momento de exportarlo, de esta manera funciona más rápido la aplicación educativa en el dispositivo instalado (Llerena, Andina, & Grijalva, 2018).

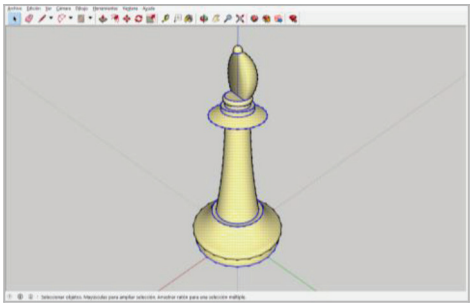


Figura 2 – Modelo 3D en "Sketchup" de una pieza del tablero de ajedrez, llamada Alfil.

Como segundo paso, se procede a crear las seis imágenes marcadores, las mismas que se usan para crear una base de datos dentro del Target Manager de Vuforia Developer, en este caso cada imagen representa cada pieza distinta del ajedrez. Las seis imágenes comprenden un tamaño de 850 pixeles por 1100 pixeles de anchura y altura respectivamente. El software que se usa para la creación de las imágenes finales es Macromedia Fireworks, en la que cada imagen final se crea con la mezcla de una imagen de la pieza y un fondo con forma hexagonal. Se usa el fondo hexagonal en las imágenes para tener más características en la base de datos final, y así evitar textos adicionales en cada *Image Target*. Lo que hace la aplicación es identificar estas imágenes para mostrar los modelados de las piezas específicas en realidad aumentada. En la figura 3 se observan las seis imágenes marcadores finales, las mismas que son mostradas cada una en forma de tarjetas.

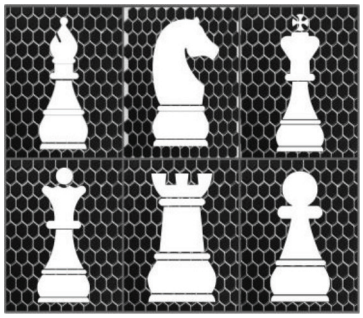


Figura 3 – Afiche de tarjetas demostrativas.

El tercer paso consiste en obtener una licencia de Vuforia para luego poder mostrar la realidad aumentada en la aplicación móvil. Para este trabajo, se obtiene la licencia de

desarrollo gratuita. Esta licencia genera una llave de 380 caracteres, la cual hay que insertarla en las propiedades de Vuforia al momento de estar desarrollando la aplicación móvil dentro de Unity. Posterior a esto, se crea una base de datos en el Target Manager de Vuforia Developer llamada "*Ajedrez*" para luego subir las seis imágenes marcadores finales a la plataforma. En esta parte se puede cambiar la anchura y altura de las imágenes para que sean uniforme. Al finalizar, se muestra la cantidad de características y puntuación que tiene cada imagen marcador. Entre más características tenga la imagen marcador, la aplicación tarda menos en reconocerlas. En la figura 4 se muestran las características que se reconocen en una de las imágenes marcador subida en la plataforma de Vuforia Developer, las mismas que son representadas de color amarillo (puntos que bordean la imagen y forman una malla).

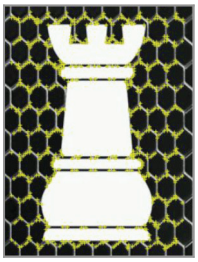


Figura 4 – *Image Target* de una pieza del tablero mostrando las características de la imagen.

El proceso final consiste en crear un proyecto nuevo en Unity para desarrollar la aplicación móvil. Unity es la multiplataforma en la que se desarrolla "*JaqueMaitte*", la misma que unida con el soporte de Vuforia genera la realidad aumentada en los dispositivos móviles que tengan instalada la aplicación móvil adecuada. Para esto, se necesita importar los modelados en 3D, la base de datos creada en Vuforia Developer al proyecto en Unity e insertar la clave de licencia en las opciones de la cámara de realidad aumentada de Vuforia. El proyecto se realiza en una sola escena, cada escena representa una instancia en la aplicación donde se crean los seis *Image Target* y se relaciona cada imagen marcador de la base de datos con el modelado correspondiente, como se observa en la figura 5.

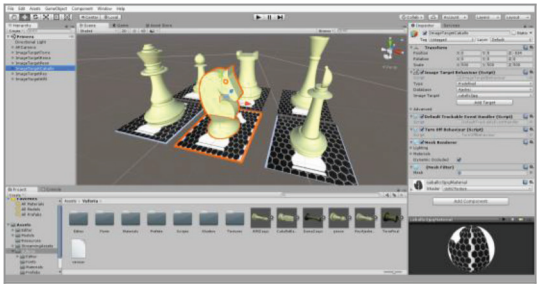


Figura 5 – Modelos en tres dimensiones de las piezas de ajedrez en la plataforma Unity.

3.2. Metodología.

Esta propuesta inicia un desarrollo de estudio mediante el método cuasi-experimental a través del procedimiento de la encuesta con enfoque cuantitativo como método de evaluación de la usabilidad de la realidad aumentada y medir los criterios de efectividad, eficiencia y satisfacción como lo establece la norma ISO/IEC 9241-11. La realidad aumentada se diferencia de los sistemas habituales por una serie de características que se toman en cuenta al momento de efectuar la evaluación como las características del entorno físico, del evaluador y del usuario (Fernández Zumaquero, 2019). El método DGMM (Método de modelado y recolección de datos) se usa para obtener experiencia de los encuestados y sus acciones. Dentro de éste, existe una subcategoría llamada DGM (Método de recolección de datos) que es nuestra metodología fundamental para la selección de las características de la satisfacción del usuario ya que este método se basa en las diferentes maneras de seleccionar información y experiencia acerca de las particularidades destacadas de los consumidores finales y sus actividades como en las encuestas y entrevistas (Scapin & Law, 2007). Se inicia con la primera fase de consulta a un grupo formado de manera aleatoria por 25 estudiantes de la Unidad Educativa "*El Libertador*". La primera encuesta refiere al conocimiento del estudiante sobre los movimientos de las piezas de ajedrez, sin haber usado la aplicación móvil "*Jaque-Maitte*", y la segunda encuesta consiste en evaluar el aprendizaje que le brinda la aplicación a dicho usuario, después de usar la misma. En la figura 6, se muestra el consolidado de las respuestas correctas e incorrectas de los encuestados que participaron en esta fase:

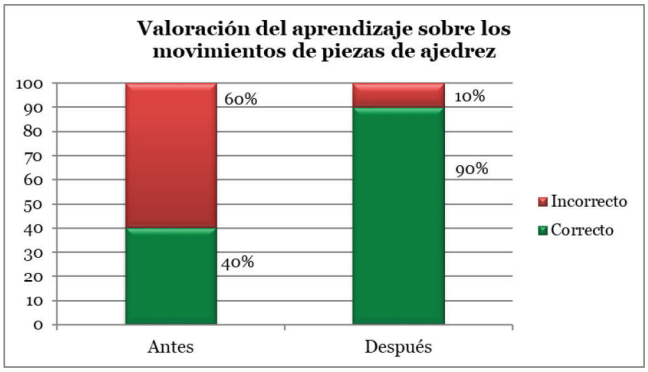


Figura 6 – Porcentajes de respuestas correctas e incorrectas antes y después de usar la aplicación "*Jaque-Maitte*".

Se determina que antes del uso de aplicación "*Jaque-Maitte*", se tiene un porcentaje menor de recuerdo referente a los movimientos de cada una de las piezas de ajedrez.

Se observa que sin la aplicación hay mayor cantidad de respuestas incorrectas, es decir luego de usar la aplicación con imágenes aumentadas, el estudiante encuestado logra retener en su memoria los movimientos de las piezas de ajedrez con mayor detenimiento. La siguiente fase consiste en cotejar las calificaciones de los estudiantes pertenecientes a la asignatura Ajedrez, realizar una comparación entre los puntajes anteriores y actuales,

y así determinar si existe un porcentaje de mejora en el aprovechamiento por parte de los estudiantes, luego de incluir esta nueva forma de aprendizaje. Como fase final se encuesta de manera online por medio del servicio de Google Forms, a 400 estudiantes con la ayuda de sus padres, perteneciente a la Unidad Educativa "*El Libertador*", mediante los afiches en forma de tarjetas que contienen las imágenes representativas del ajedrez y con la aplicación móvil "*Jaque-Maitte*".

4. Resultados

Uno de los propósitos fundamentales de la realidad aumentada es captar de manera inmediata el patrón de reconocimiento y superponer el objeto o modelo en el mundo real por medio de la cámara de un dispositivo y lograr la virtualización deseada. Para un reconocimiento óptimo de las imágenes patrones, se realiza un análisis, para poder comprender el algoritmo de valoración que ofrece Vuforia SDK sobre las características de cada imagen patrón. En esta fase, se utiliza como imágenes marcadoras, *Image Target*s de tipo Logo, ya que por la gran cantidad de características que se obtiene desde el inicio, no necesita agregarle formas ni textos adicionales para alcanzar una mayor puntuación en Vuforia, gracias al fondo hexagonal que se establece en cada uno de los *Image Target*, a estas imágenes se las conoce como marcadores ideales. La tabla 1 muestra la cantidad de características de los Images Target brindadas por Vuforia.

Nombre de *Image Target*	**Tipo**	**Selección**	**Características**	**Puntaje**
Rey	Single Image	Logo	340	5 estrellas
Reina	Single Image	Logo	352	5 estrellas
Torre	Single Image	Logo	348	5 estrellas
Alfil	Single Image	Logo	281	4 estrellas
Caballo	Single Image	Logo	345	5 estrellas
Peón	Single Image	Logo	297	4 estrellas

Tabla 1 – Target Manager de Vuforia usados en "*Jaque-Maitte*"

En la segunda fase, se realiza una comparación de las calificaciones de 26 estudiantes de ajedrez del paralelo 2do "A" obtenidas desde la plataforma web que usa la Unidad Educativa El Libertador llamada "Edukay" para evidenciar si existe mejora alguna o un incremento cuantitativo en el puntaje de las calificaciones de la asignatura antes y depués de aplicar esta nueva forma de aprendizaje en los estudiantes, como se muestra en la figura 7.

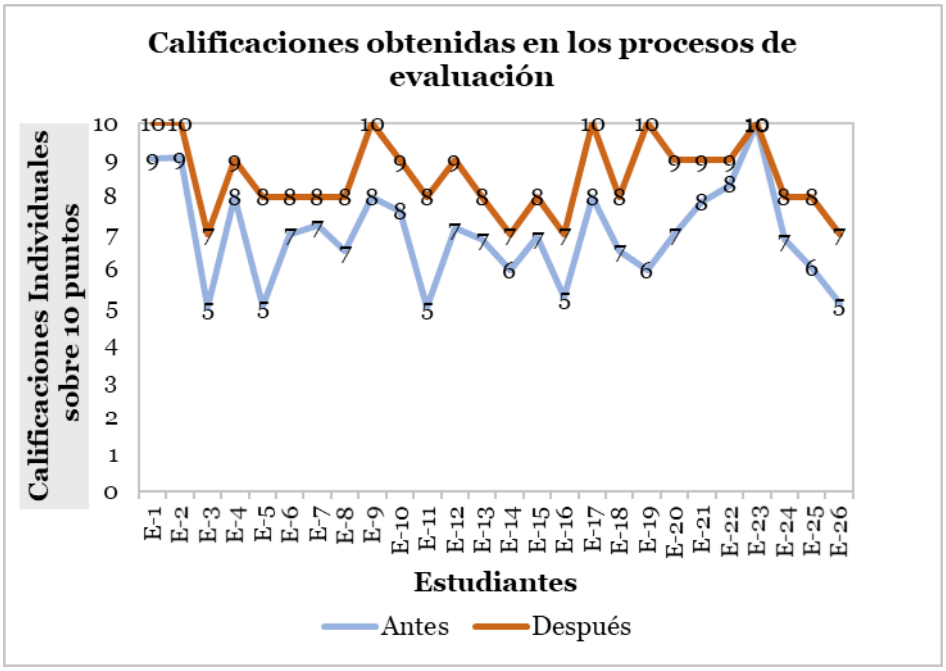


Figura 7 – Calificaciones de la asignatura de Ajedrez, para el Curso 2do "A", sobre diez puntos.

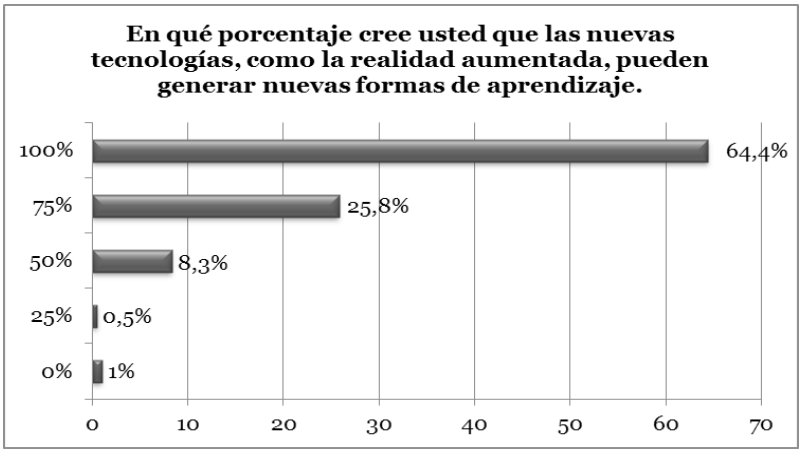


Figura 8 – Pregunta No. 2 de la encuesta, detalla las diferentes opiniones del encuestado, en porcentajes, referente al aprendizaje con realidad aumentada.

El promedio anterior en la asignatura de ajedrez de los 26 estudiantes pertenecientes al paralelo 2do "A" antes de aplicar esta nueva forma de enseñanza era de 7/10, y después de

efectuar este método de enseñanza con el dispositivo móvil usando realidad aumentada mejora el promedio del paralelo a 9/10.

En la última fase de este trabajo, la versión final del aplicativo fue liberado para su evaluación, se realiza una encuesta a 400 estudiantes que tengan instalada la aplicación en el dispositivo móvil de sus padres, el resultado de la experiencia al usar nuestra aplicación se muestra más adelante de este documento.

En la figura 8, se observa que la mayoría de los encuestados indican que la realidad aumentada puede generar nuevas formas de aprendizaje.

La figura 9 presenta la facilidad al usar la aplicación desarrollada, el 88% de los encuestados indican que ha sido fácil en el momento de usarla.

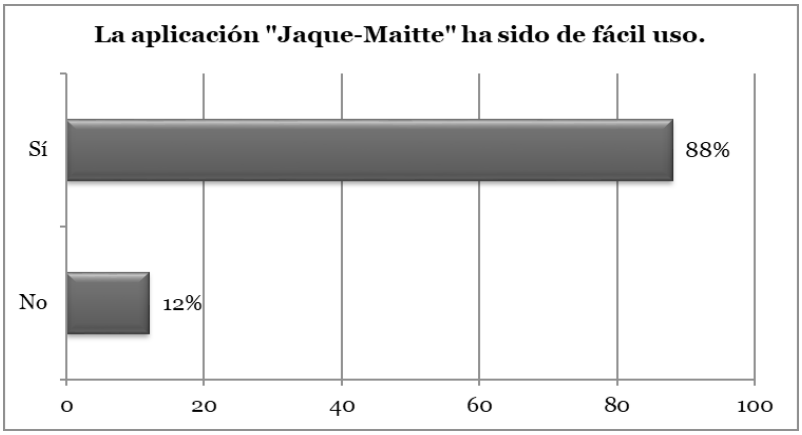


Figura 9 – Pregunta No. 3 de la encuesta, en lo referente al uso de la aplicación móvil y la experiencia en el usuario.

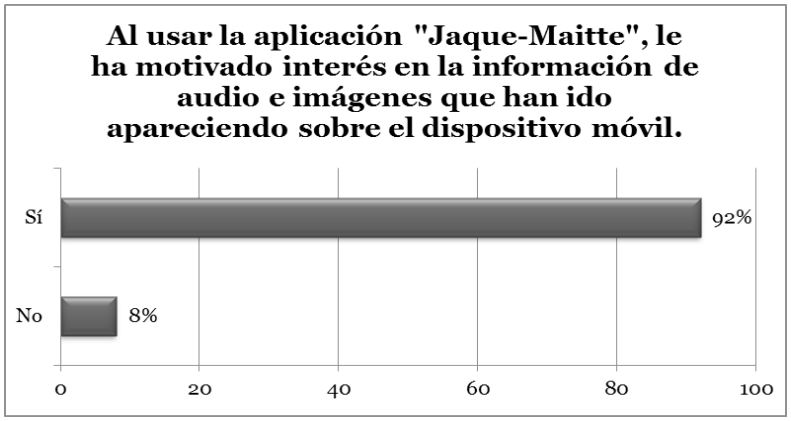


Figura 10 – Pregunta No. 4 de la encuesta, muestra el interés por el contenido seleccionado para su uso.

En la figura 10 se visualiza el porcentaje de simpatía que los usuarios tuvieron con la aplicación en el momento de interacción con ella y, la utilidad cuando fue mostrada la información que el aplicativo les proporciona. El 92% de los que realizan la encuesta indican que sí les ha motivado el interés de la información ofrecida en sus distintos formatos.

En la figura 11, trata sobre la pregunta No. 5 de la encuesta, donde los estudiantes evaluan el contenido visual de la aplicación, donde el 66,2% de los encuestados eligen el puntaje máximo para la visualización mostrada a través de la aplicación del dispositivo.

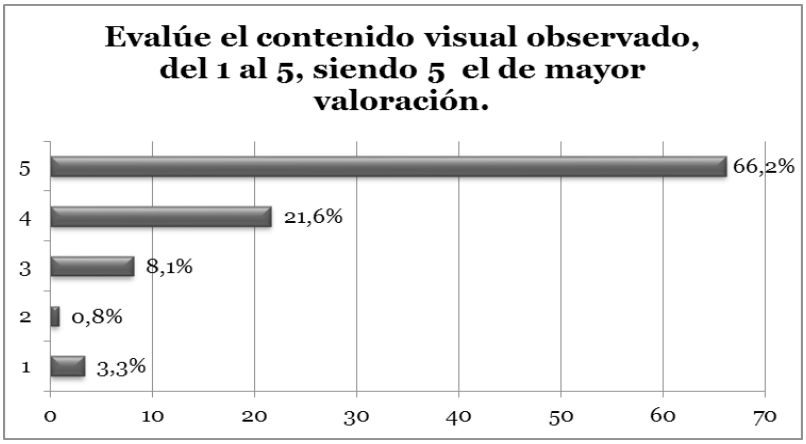


Figura 11 – Pregunta No. 5 de la encuesta, indica la valoración del contenido visual observado.

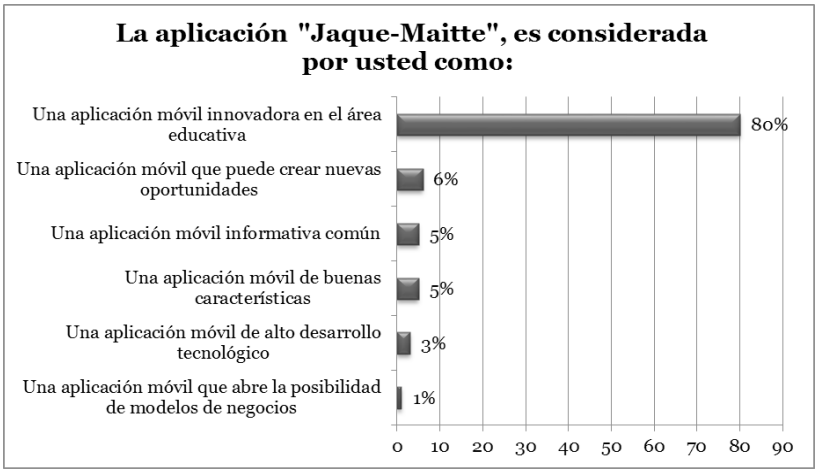


Figura 12 – Pregunta No. 10 de la encuesta, refleja la opinión de los encuestados de cómo es cosiderada la aplicación "*Jaque-Maitte*".

Finalmente, en la figura 12 , se muestra la opinión que tiene el encuestado acerca de la aplicación "*Jaque-Maitte*", y en ella se refleja que el 80% indica que dicha aplicación es innovadora en el área educativa, es decir que es considerada como un medio que cumple los objetivos para la que fue desarrollada. El 6% indica que la aplicación móvil que puede crear nuevas oportunidades para fuentes de trabajo, que pueden ser directos o indirectos. Se abre una posibilidad de desarrollo local, gracias al aporte que la aplicación logra en las personas que observan el trabajo presentado.

Es importante indicar que, las personas encuestadas, tienen un grado de interés y motivación por aprender materias y asignaturas por este medio, con ello la aplicación "*Jaque-Maitte"*, es una potencial herramienta de interacción que puede contribuir fuertemente en el aprendizaje de la asignatura que se ha escogido para el proyecto que presentamos en este documento.

5. Conclusiones

En este artículo se manifiesta un modelo de aplicación móvil para fortalecer la educación con una nueva forma de aprendizaje y a su vez cultivar el conocimiento de los usuarios finales con información de audio e imágenes estructuradas al estudiar el ajedrez. La tecnología digital no nos deja de sorprender, y su fomento en la parte educativa, sin lugar a duda sigue en crecimiento a gran escala. La realidad aumentada en aplicaciones es algo llamativo por parte del usuario que, al unirlo con un tema de interés, como en este caso, la educación digital y la gamificación, logra captar la atención de muchos estudiantes. La innovación es un motor en el ámbito educativo y la incorporación de dispositivos tecnológicos adecuados junto al desarrollo de aplicaciones creativas con buen contenido visual, motiva al logro de procesos de enseñanza y de aprendizaje más eficaces, es imperante realizar mejoras para que el servicio brindado por dichas aplicaciones sea más atractivo y fácil para la experiencia del usuario final al momento de usarla. Se realiza satisfactoriamente la aplicación móvil para fortalecer el conocimiento del área educativa en cuestión y, las experiencias analizadas por los encuestados tuvieron una reacción de manera favorable. Con esto se pudo demostrar, la adquisición de conocimientos del ajedrez, a través de una aplicación móvil innovadora en el área educativa, dando paso a futuros trabajas motivando interés en una asignatura determinada y mejorando el desarrollo del aprendizaje por parte de los estudiantes gracias a la aplicación móvil "*Jaque-Maitte*".

Referencias

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, *20*, 1–11. https://doi.org/10.1016/J.EDUREV.2016.11.002

Banchoff Tzancoff, C. M., Martin, E. S., López, F., & Alfano, A. (2015). *Uso de TICs en la escuela primaria: nuevas propuestas para temas tradicionales*. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/49079

Barbour, M. K. |Grzebyk. T. Q. J. (2014). Any Time, Any Place, Any Pace-Really? Examining Mobile Learning in a Virtual School Environment. *Turkish Online Journal of Distance Education*, *15*(1), 114–127. Retrieved from https://eric.ed.gov/?id=EJ1042983

Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented Reality in the Classroom. *Computer*, *45*(7), 56–63. https://doi.org/10.1109/MC.2012.111

Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, *51*(1), 1–15. https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400

Cuban, L. (2010). Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America. *Science Education*, *94*(6), 1125–1127. https://doi.org/10.1002/sce.20415

de la Nube Toral Sarmiento, A., Loaiza Martínez, M. D. L., Llerena Izquierdo, J., Ayala Carabajo, R., Torres Toukoumidis, A., Romero-Rodríguez, L. M., ... & Peñafiel Caicedo, J. A. (2018). 4to. Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad. Memoria académica.

Fernández Zumaquero, S. (2010). Métodos de evaluación de la usabilidad para entornos de Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Sistemas Ubícuos [Ebook] (pp. 8-9). Albacete. Retrieved from http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro39/Usabilidad.pdf

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

Kesim, M., & Ozarslan, Y. (2012). Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *47*, 297–302. https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2012.06.654

Kim, S., Song, K., Lockee, B., & Burton, J. (2018). *Gamification in Learning and Education*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47283-6

Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, *56*(2), 13–21. https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3

Lindsay, L. (2016). Transformation of teacher practice using mobile technology with one-to-one classes: M-learning pedagogical approaches. *British Journal of Educational Technology*, *47*(5), 883–892. https://doi.org/10.1111/bjet.12265

Llerena, J., Andina, M., & Grijalva, J. (2018, November). Mobile application to promote the Malecón 2000 tourism using augmented reality and geolocation. In 2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS) (pp. 213-220). IEEE.

Scapin, D. e Law, E. 2007. R3UEMs: Review, Report and Refine Usability Evaluation Methods. The 3rd COST294-MAUSE International Workshop. Atenas, Grécia. Disponível em http://www.cost294.org

Thomas, & Munoz. (2016). Hold the Phone! High School Students' Perceptions of Mobile Phone Integrati...: EBSCOhost. *American Secondary Education 44(3) Summer 2016*. Retrieved from http://web.b.ebscohost.com.eproxy.pusan.ac.kr/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=c17a67da-d581-4676-a83b-f8ed6ae5d213%40sessionmgr103

Williamson, B. (2016). Digital education governance: data visualization, predictive analytics, and 'real-time' policy instruments. *Journal of Education Policy*, *31*(2), 123–141. https://doi.org/10.1080/02680939.2015.1035758.

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

Recebido/Submission: 29/03/2019
Aceitação/Acceptance: 25/06/2019

Predicción del desempeño en una tarea colaborativa con uso de tecnologías. El papel de la construcción social del conocimiento y la comunicación

Dunia Inés Jara-Roa[1], María-Soledad Ramírez-Montoya[2], Marcos Cabezas G.[3], José Eulogio Real Deus[4]

dijara@utpl.edu.ec, solramirez@tec.mx, mcabezasgo@usal.es, joseeulogio.real@usc.es

[1] Docente agregado Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto, 593 7301444, Loja, Ecuador.

[2] Profesora investigadora Tecnologico de Monterrey, Avda. Garza Sada 2501 Sur. Col Tec. Monterrey, 52 81 2358 2000, Monterrey, México.

[3] Profesor titular Universidad de Salamanca, Paseo de Canalejas 169, 37008, Salamanca, España.

[4] Profesor titular Universidad Santiago de Compostela, Campus Universitario Sur, 15706, Santiago de Compostela, España.

Pages: 134–146

Resumen: En el presente artículo se muestra un modelo predictivo para identificar si un trabajo colaborativo con el uso de tecnologías contribuye a la construcción social del conocimiento a partir de cuatro componentes y doce dimensiones. La construcción social del conocimiento abarca tres componentes, mientras que el trabajo colaborativo está basado en la percepción subjetiva del estudiante. Para la recogida de datos se aplicó un cuestionario a estudiantes de la asignatura de Inteligencia Artificial de modalidad a distancia de la Universidad Técnica Particular de Loja. El modelo indica que el trabajo colaborativo incide en un 56,7% en la construcción social del conocimiento, visibilizando dos aspectos fundamentales: a) la fluidez de la comunicación y b) la asistencia del docente. El aporte del estudio se da en el área de construcción social del conocimiento en ambientes en línea, que puede ser replicado en otro tipo de ambientes (presenciales, multimodales, b-learning, m-learning).

Palabras-clave: Aprendizaje colaborativo; gestión del trabajo colaborativo; construcción social del conocimiento.

Prediction of performance in a collaborative work with the use of technologies. The role of the social construction of knowledge and communication

Abstract: A predictive model aimed to identify if collaborative work contributes to the social construction of knowledge is proposed. The model consists of four components and twelve dimensions, where the social construction of knowledge is composed of three components. In turn, collaborative work is based on the

student's subjective perception with respect to the execution of the activity. For data collection purposes, a questionnaire was applied to students of Artificial Intelligence in the University Technical Particular of Loja Open Modality. The model showed that collaborative work accounts for 56.7% of social construction of knowledge, illustrating two fundamental aspects of collaborative work: a) communication fluency and b) teacher assistance. The contribution of the study lies on the area of social construction of knowledge in online environments, which can be replicated in other types of environments (face-to-face, multimodal, b-learning, m-learning).

***Keywords**:* Collaborative learning; collaborative work management; social construction of knowledge.

1. Introducción

El aprendizaje colaborativo describe "una situación en la cual se espera que ocurran formas particulares de interacción, que conllevarán a mecanismos de aprendizaje, pero que no hay una garantía total que estas condiciones ocurran efectivamente" (Collazos, Muñoz, & Hernández, 2014, p.11). Además, estos autores puntualizan que "este tipo de aprendizaje no se opone al trabajo individual ya que puede observarse como una estrategia de aprendizaje complementaria que fortalece el desarrollo global del alumno" (p.9). El aprendizaje colaborativo se caracteriza por: a) una interdependencia positiva; b) interacción promotora; c) responsabilidad individual y grupal; d) desarrollo de las competencias de trabajo en equipo; y, e) valoración del grupo (Johnson, Johnson, & Smith, 1998). Los integrantes de la Red sobre Aprendizaje Colaborativo en Entornos Virtuales (RACEV) establecen una definición de aprendizaje colaborativo en entornos virtuales, según la cual "el aprendizaje colaborativo se basa en un proceso de actividad, interacción, y reciprocidad entre los estudiantes, facilitando la construcción conjunta de significados y un avance individual hacia niveles superiores de desarrollo" (Guitert & Pérez-Mateo, 2013, pp.24-25). Así pues, el aprendizaje colaborativo tiene como fin la construcción de significados individuales y grupales producto del diálogo, la negociación y la toma de decisiones y, por tanto, es altamente dependiente de la calidad del trabajo colaborativo desarrollado.

1.1. Trabajo colaborativo

Martín-Moreno (2004, citado por Espuny, González, LLeixá, & Gisbert, 2011) destaca que el trabajo colaborativo: a) multiplica la diversidad de conocimientos y experiencias, b) favorece mayores niveles de rendimiento académico, c) incrementa la motivación, d) potencia el pensamiento crítico y e) mejora la retención de lo aprendido. (Ramos Gonçalves & Vieira da Silva, 2019) agregan enriquece la reflexión. A fin de identificar los aspectos a considerar en la ejecución de tareas colaborativas, es necesario manejar indicadores de desempeño grupales e individuales. Noguera & Gros (2014) organizan estos indicadores en cuatro áreas: (a) diseño de la tarea y preparación individual; (b) organización de la tarea y negociación grupal; (c) realización de la tarea y construcción colaborativa del conocimiento; (d) evaluación crítica. Así mismo, (Mayordomo & Onrubia, 2015) mencionan que se debe considerar los procesos de organización y coordinación del trabajo colaborativo para que se promueva la construcción colaborativa del conocimiento, e indican que es responsabilidad de los docentes ayudar en éstos procesos para asegurar el cometido.

1.2. Construcción social del conocimiento

Para investigar la forma en la que se construye socialmente el conocimiento se han propuesto modelos para analizar las interacciones producidas en un aula (presencial o virtual). Dada la naturaleza de la investigación, de entre los modelos de construcción social de conocimiento, el modelo seleccionado es el de Garrison, Anderson, & Archer (2000), puesto que, además de ser un modelo que continúa investigándose, se orienta a ambientes de aprendizaje en línea basados en el aprendizaje constructivista y colaborativo que puede darse en una Comunidad Virtual de Aprendizaje (CVA) a través de la presencia cognitiva, social y docente.

Para terminar de desarrollar el modelo de construcción social del conocimiento a partir del trabajo colaborativo, se identificaron en la literatura aquellas conductas que pueden darse durante la interacción entre iguales dado que éstas son importantes en la consecución de las metas educativas (Coll, 1984). Una de las metodologías disponibles consiste en la utilización de pruebas sociométricas como lo indican Ingles, Aparisi, Delgado, Torregrosa, & Garcia-Fernandez (2017). Asimismo, se ha elaborado el llamado Protocolo de Observación de Interacción en el Aula (PIA), desarrollado por las Universidades de Oviedo y La Laguna (España) (Pedrosa, Borges, Herranz, Lorenzo, & García-Cueto, 2013). Los resultados obtenidos con el PIA mostraron que es un instrumento fiable y flexible, que se puede aplicar a cualquier colectivo y a cualquier programa educativo, por lo que resulta idóneo para nuestra investigación. El PIA fue adaptado eliminando dos categorías: la interacción neutra y la instrumental, no aptas para la modalidad a distancia. Asimismo, a partir de la Teoría del Aprendizaje Colaborativo y la Teoría de la Representación Social desarrollada por Roselli (2011) se añadieron tres componentes de comunicación sociocognitiva: comunicación en el grupo, comunicación con el líder, y comunicación con el docente.

A partir de lo señalado, ésta investigación se plantea el estudio de las dimensiones relevantes para la construcción social del conocimiento en un trabajo colaborativo. Así pues, el objetivo general del trabajo fue: analizar cómo la ejecución de un trabajo colaborativo contribuye a la construcción social del conocimiento, a partir de los componentes y dimensiones del modelo teórico general, así como la selección de aquellos componentes y dimensiones más relevantes para un mejor aprendizaje, con el fin de aportar en el área de la construcción social del conocimiento.

2. Método

La recopilación de datos para la presente investigación se la hizo a través de un cuestionario estructurado autoadministrable, que abarca cuatro componentes. El cuestionario fue aplicado a los alumnos de la Universidad Técnica Particular de Loja, Modalidad a Distancia, matriculados en la asignatura de Inteligencia Artificial. El cuestionario fue administrado *online*. La asignatura se implementó coordinadamente durante un semestre (abril-agosto/2018), en un diseño de trabajo colaborativo basado en la resolución de casos; más concretamente, los estudiantes tuvieron que

resolver un caso de optimización de combinaciones para la resolución de un problema práctico. La solución fue proporcionada a través de la plataforma Moodle. Concluido el período académico se les envió un mail a los estudiantes en el que se les solicitaba que respondieran al cuestionario online. La muestra recogida fue de 106 cuestionarios, que representaban el 70.66% de la población objeto de estudio. La edad promedio de los participantes es de 26 años, en lo que se refiere al sexo el 84.31% eran hombres y 15.6% eran mujeres. Para el análisis de datos se utilizó el programa SPSS. Tras la revisión de los cuestionarios, se encontró que 17 de ellos estaban incompletos y fueron descartados, con lo que la muestra final de los participantes fue de N = 89.

2.1. Análisis

El indicador de desempeño se desarrolló a partir de las respuestas de los alumnos a 9 ítems dicotómicos, correspondientes a las 9 actividades llevadas a efecto en la AC. Para cada uno de los ítems, los alumnos debían indicar si dicha actividad les había permitido lograr aprendizajes significativos para llegar a la solución del caso y/o para entender y aplicar la temática propuesta en el mismo.

En primer lugar, se analizó la relación existente entre las respuestas proporcionadas por los estudiantes a los 9 ítems, empleando la prueba chi-cuadrado, así como el coeficiente de correlación Phi (ϕ) de Pearson. Una vez comprobadas estas relaciones bivariadas, los 9 ítems fueron sometidos a un análisis de correspondencias múltiple (Gifi, 1990; Greenacre, 1991). El análisis de correspondencias múltiple permite resumir las relaciones existentes entre un conjunto de variables nominales a las distancias entre puntos en un espacio de baja dimensionalidad (en el caso, 2 dimensiones), de tal modo que las coordenadas de estos puntos en el espacio pueden ser interpretadas como cuantificaciones métricas de las relaciones no métricas existentes entre las variables originales; esto permite expresar mediante variables cuantitativas las propiedades subyacentes a las relaciones existentes entre los 9 ítems dicotómicos.

Una vez que se obtuvo la solución del análisis de correspondencias, ésta fue empleada para estudiar la relación entre los 9 ítems y otras variables categóricas del instrumento aplicado, con el fin de comprobar si estas variables estaban relacionadas con los indicadores de desempeño. Finalmente, las coordenadas proporcionadas por la solución del análisis de correspondencias múltiple fueron empleadas como variables dependientes en sendos análisis de regresión lineal múltiple, tomando como predictores las dimensiones del modelo teórico general. Los resultados de estos análisis permitieron, por un lado, interpretar las dimensiones de la solución del análisis de correspondencias múltiple, y por otro, determinar los factores responsables de un mejor o peor aprendizaje y/o resolución del problema planteado en la AC.

3. Resultados

La inspección de las frecuencias esperadas y observadas de la tabla de contingencia permitió conocer el tipo de relación existente entre los ítems, mientras que el coeficiente ϕ proporcionará una cuantificación de esta relación.

	Actividades	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	*Rev. Bib. propuesta por docente*	.201	.286**	.151	.226*	.109	.018	.172	.408***
2.	*Rev. Bib. propuesta por grupo*		.163	.479***	.556***	.245*	.183	.340**	.132
3.	*Búsqueda y selec. recursos web*			.121	.235*	.369**	.207	.225*	.405***
4.	*Discusión en grupo*				.603***	.403***	.366**	.499***	.164
5.	*Conclusiones del grupo*					.577***	.387***	.384***	.200
6.	*Elab lectura y revisión inf. Final*						.394***	.452***	.259*
7.	*Lectura trabajos otros grupos*							.345**	.186
8.	*Retroalimentación del docente*								.193
9.	*Iniciativa personal*								1.00

* $p<.05$; ** $p<.01$; *** $p<.001$

Tabla 1 – Coeficientes de correlación ϕ de Pearson entre los 9 ítems de la AC

Se encontraron relaciones siempre directas, moderadamente fuertes, y significativas, entre la mayoría de las actividades. La Tabla 1 muestra estas correlaciones junto con su significación estadística. La existencia de correlaciones moderadas a fuertes entre algunos de los ítems indicó que es factible realizar un análisis de correspondencias múltiple, y reducir las relaciones entre las 9 actividades a una menor dimensionalidad, a partir de las coordenadas proporcionadas por el análisis. Con el fin de resumir la información proporcionada por los ítems en un modelo de baja dimensionalidad, se solicitó una solución en 2 dimensiones. La solución proporcionada por el análisis mostró que la primera de las dimensiones era mucho más importante que la segunda, con autovalores de 3.471 y 1.402, respectivamente.

El coeficiente Alfa de Cronbach correspondiente a las escalas métricas subyacentes a ambas dimensiones también mostró claras diferencias entre ellas, con valores de .801 y .323, respectivamente. La inspección de las correlaciones existentes entre las variables en el modelo mostró que estas fueron muy similares a los coeficientes ϕ presentados en la Tabla 1, lo que indica que esta solución reproduce fielmente las relaciones existentes entre las variables originales. La mayoría de las actividades (6 ítems) mostraron mucha relación con la dimensión 1 y prácticamente ninguna con la dimensión 2, mientras que solo 3 de ellas mostraron más relación con la dimensión 2 que con la dimensión 1. Las inspecciones de las medidas de discriminación mostraron que los ítems relacionados con la dimensión 1 se referían a aspectos relativos a la ejecución del trabajo colaborativo, mientras que aquellos más relacionados con la dimensión 2 se referían a aspectos que no precisan de la presencia del grupo (trabajo individual), tales como revisión bibliográfica propuesta por el docente, búsqueda en la web o iniciativa personal.

En la Figura 1 se presenta la solución bidimensional, junto con las posiciones de las respuestas (Sí o No) a los 9 ítems. La combinación de las coordenadas asignadas a las respuestas sitúa a éstas en posiciones diferentes dentro de los 4 cuadrantes del espacio que se forman a partir del centroide de cada dimensión, de tal modo que la dimensión 1 separa el cumplimiento de los indicadores de desempeño (a la izquierda)

del incumplimiento de los mismos (a la derecha); mientras que, la dimensión 2 distingue entre el cumplimiento de los indicadores de desempeño individuales (arriba) del cumplimiento de los indicadores de desempeño grupales (abajo). Esto da lugar a cuatro agrupamientos de indicadores, de tal modo que el no cumplimiento de los indicadores correspondientes a actividades en grupo, situadas en el cuadrante 1 (superior derecho), se oponen a sus versiones positivas, situadas en el cuadrante 3 (inferior izquierdo). Del mismo modo, el no cumplimiento de los indicadores correspondientes a actividades de tipo individual, situadas en el cuadrante 2 (inferior derecho), se oponen a sus versiones positivas, situadas en el cuadrante 4 (superior izquierdo). Así pues, en función de los cuatro cuadrantes, es posible distinguir cuatro grupos diferentes de estudiantes: (1) personas que no aprenden por medio de tareas colaborativas; (2) personas que no aprenden por medio de tareas individuales; (3) personas que aprenden por medio de tareas colaborativas; (4) personas que aprenden a través de tareas individuales.

Además de proporcionar coordenadas en el espacio bidimensional para las respuestas de los sujetos, el análisis de correspondencias múltiple también asigna coordenadas a las personas dentro del mismo espacio, lo que permite relacionar la posición de las variables en la solución con la posición de los sujetos. Esto facilitó la creación de una variable categórica que asignó a los estudiantes de la muestra a uno de estos cuatro grupos en función de sus coordenadas en la solución. Aquellas personas con coordenadas positivas en ambas dimensiones (cuadrante 1) fueron asignadas al grupo 1; las que tenían coordenadas positivas en la dimensión 1 y negativas en la dimensión 2 (cuadrante 2) fueron asignadas al grupo 2; las que tenían coordenadas negativas en ambas dimensiones (cuadrante 3) fueron asignadas al grupo 3; finalmente, las que tenían coordenadas negativas en la dimensión 1 y positivas en la dimensión 2 (cuadrante 4), fueron asignados al grupo 4.

A continuación, se utilizó de nuevo la prueba chi-cuadrado para tablas de contingencia, con el fin de estudiar la relación de esta variable categórica con otras variables categóricas del presente estudio, tales como: sexo, edad, nivel de estudios, fluidez de la comunicación dentro del grupo de trabajo, y uso de redes sociales en la AC. Se encontró una asociación fuerte y significativa en el caso de la fluidez de la comunicación dentro del grupo de trabajo (chi-cuadrado= 54.84; g.l.= 9; $p<.001$), mientras que no se encontraron relaciones significativas con el resto de variables analizadas. La inspección de la tabla de contingencia para la variable de fluidez en la comunicación reveló que las categorías de incumplimiento de los indicadores de desempeño (1 y 2) estaban asociadas a bajos niveles de fluidez en la comunicación, mientras que las categorías de cumplimiento (3 y 4) estaban asociadas a niveles altos de fluidez en la comunicación.

Dada la asociación encontrada entre esta variable y la solución proporcionada por el análisis de correspondencias múltiples, se realizó un nuevo análisis, integrando ahora la variable de fluidez en la comunicación dentro del modelo. Al igual que en el caso del primer análisis, se solicitó una solución en dos dimensiones. Los resultados mejoraron ligeramente con respecto a los obtenidos previamente, sobre todo en el caso de la dimensión 2, aunque de nuevo la dimensión 1 mostró mucha mayor importancia que ésta, con autovalores de 3.922 para la dimensión 1, y de 1.646 para la dimensión 2. En lo que se refiere a la consistencia interna de las escalas creadas por cada dimensión, el Alfa de Cronbach para la dimensión 1 fue de .828, y de .436 para la dimensión 2.

La Tabla 2 muestra las medidas de discriminación correspondientes a las variables del nuevo modelo. Por lo que respecta a la nueva variable incluida en el modelo, la fluidez de la comunicación dentro del grupo, ésta mostró valores de discriminación elevados para ambas dimensiones, aunque ligeramente mayores para la dimensión 1 que para la dimensión 2.

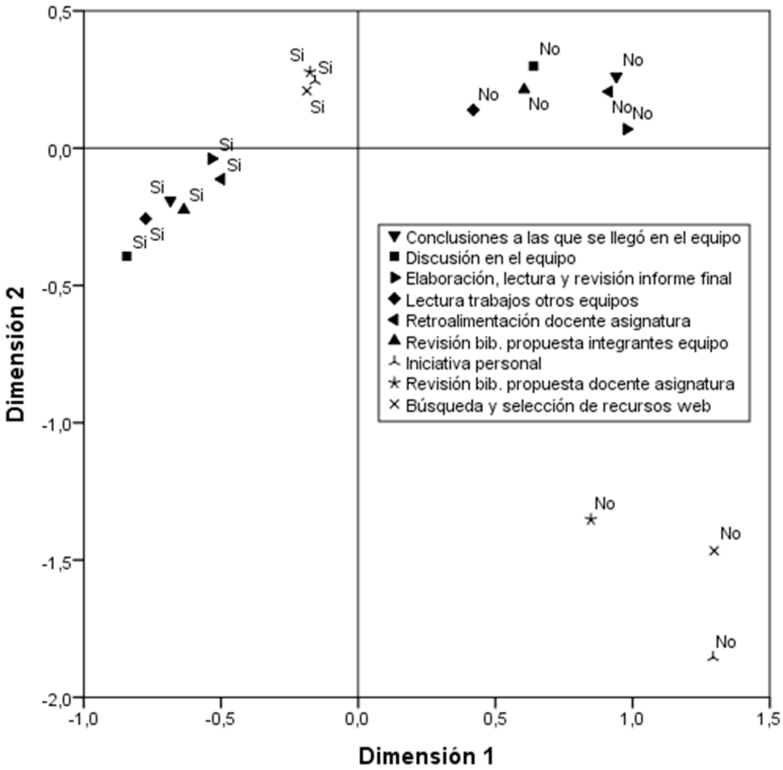


Figura 1 – Espacio bidimensional en la solución proporcionada por el análisis de correspondencias múltiple

Así pues, este modelo mejorado ha mostrado mayor ajuste que el modelo previo, con autovalores e índices de consistencia interna superiores. Además, la incorporación de una nueva variable al mismo no ha alterado significativamente las relaciones existentes previamente entre las variables del modelo. Por otro lado, la nueva variable muestra una fuerte asociación con ambas dimensiones, por lo que contribuye a mejorar el modelo en su totalidad.

En la Figura 2 se muestra la solución bidimensional proporcionada por el nuevo modelo. Puede apreciarse que no existen diferencias en las posiciones de las respuestas de los estudiantes a los 9 ítems dicotómicos En cuanto a la nueva variable introducida (fluidez en la comunicación) en el modelo, se constata que las condiciones de baja fluidez en la comunicación están asociadas al incumplimiento de los indicadores de desempeño

en las 9 actividades (zona derecha), mientras que las condiciones de alta fluidez están asociadas al cumplimiento de éstas (zona izquierda).

	Dimensión	
	1	2
Conclusiones a las que se llegó en el grupo.	,668	,022
Discusión en el grupo.	,599	,089
Elaboración, lectura y revisión del informe final.	,490	,003
Retroalimentación del docente encargado de la asignatura.	,411	,011
Revisión bibliográfica propuesta por alguno de los integrantes del grupo.	,388	,012
Lectura de los trabajos realizadas por otros grupos.	,307	,036
Iniciativa personal.	,184	,404
Revisión bibliográfica propuesta por el docente encargado de la asignatura.	,134	,383
Búsqueda y selección de recursos disponibles en la Web.	,212	,247
Fluidez de la comunicación entre las personas que formaron parte del grupo	,530	,440
Total active	3,922	1,646

Tabla 2 – Medidas de discriminación para los 9 ítems de la AC y la variable de fluidez de la comunicación

Además, cada categoría de respuesta se asoció con alguno de los 4 cuadrantes de la solución. Así, la falta total de comunicación se asocia al incumplimiento de los indicadores de desempeño individual. La baja fluidez en la comunicación, por su parte, se asoció al incumplimiento de los indicadores de desempeño grupal, mientras que las condiciones de buena o muy buena fluidez se asociaron al cumplimiento de estos indicadores, aunque en mucha mayor medida cuando fue a través del trabajo colaborativo que cuando no lo fue. Este resultado indica que, como sería de esperar, el aprendizaje mediante trabajo colaborativo depende en gran medida del grado de fluidez existente en la comunicación entre sus miembros, de tal modo que la presencia de esta fluidez está asociada al aprendizaje, mientras que su ausencia dificulta o impide el aprendizaje. Además, y como sería de esperar, cuando se da esta fluidez en la comunicación afecta mucho más al aprendizaje en grupo que a las actividades de aprendizaje no relacionadas con el grupo.

Una vez obtenido el modelo de análisis de correspondencias múltiples para estas variables categóricas, se planteó su relación con las dimensiones del modelo teórico general. Para ello, se tomaron las coordenadas de los estudiantes en las dimensiones como cuantificaciones de las propiedades medidas por estas dimensiones, utilizándolas como variable criterio en sendos análisis de regresión lineal. Antes de llevar a cabo estos análisis, se comprobó la consistencia interna de las dimensiones de nuestro modelo teórico general mediante el coeficiente Alfa de Cronbach. En el primer análisis de regresión se tomó como variable dependiente las coordenadas de las personas en la dimensión 1 del análisis de correspondencias, y como variables independientes las 12 escalas del estudio correspoondientes a los componentes: comunicación sociocognitiva, presencia cognitiva-metacognitiva, patrones de interacción, y la presencia subjetiva de

la AC. Se empleó un método de selección de predictores por pasos sucesivos (Draper & Smith, 1998). El análisis retuvo dos predictores: construcción social del conocimiento y comunicación entre los miembros del grupo. La proporción de varianza explicada conjuntamente por ambos predictores fue del 66%, lo que puede considerarse un valor satisfactorio. En la Tabla 3 se muestra los coeficientes de regresión y determinación, así como el error típico de estimación para cada uno de los pasos del procedimiento.

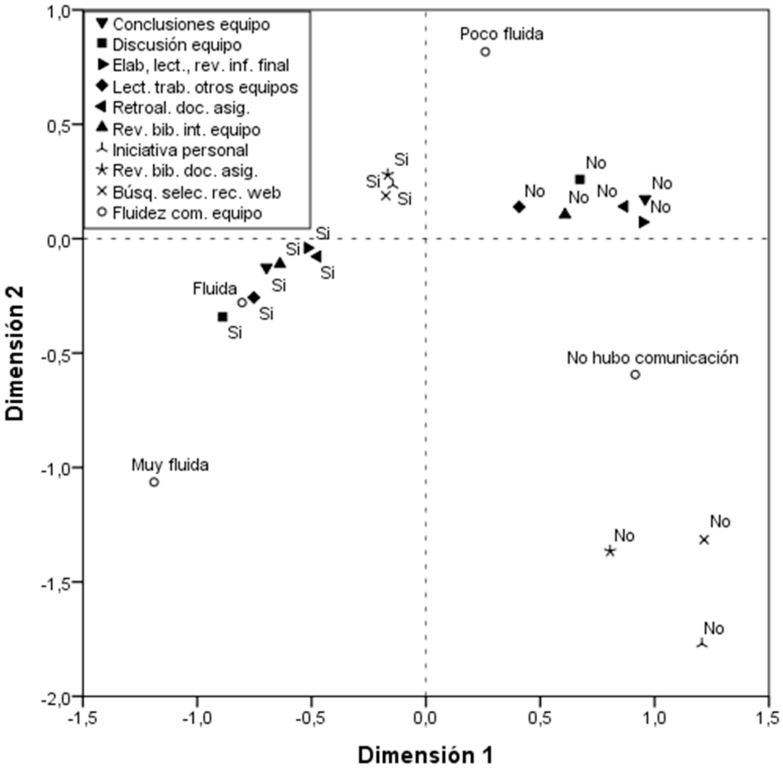


Figura 2 – Espacio bidimensional análisis de correspondencias múltiple. Solución mejorada

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	E.T. estimación	Cambio en R^2
Construcción del conocimiento	,753	,567	,562	,66581	,567
Comunicación entre los miembros del grupo	,813	,660	,652	,59352	,093

Tabla 3 – Resumen del modelo de regresión lineal por pasos sucesivos. Variable dependiente: coordenadas de las personas en la dimensión 1 de la solución del análisis de correspondencias múltiple

La construcción social del conocimiento es el principal predictor del aprendizaje/no aprendizaje a partir del trabajo colaborativo, con un 56.7% de varianza explicada, mientras que la comunicación entre los miembros del grupo explicó el 9.3% restante. Por lo que se refiere al peso de cada predictor en el análisis, ambos mostraron coeficientes Beta similares y negativos (construcción social del conocimiento=-.453; comunicación entre los miembros del grupo=-.428). Dado que en la dimensión 1 el cumplimiento correspondía a valores negativos (situados en la zona izquierda de la Figura 2), estos coeficientes indican que, a mayor construcción social del conocimiento y mayor comunicación entre los miembros del grupo, mayores posibilidades de cumplimiento de los indicadores de desempeño.

En lo que se refiere a la dimensión 2 del análisis de correspondencias, el análisis de regresión retuvo 3 predictores, aunque el ajuste del modelo a los datos fue muy inferior, con solo un 16.1% de varianza explicada. Los predictores seleccionados fueron la presencia social, con un 6.9% de varianza explicada; la comunicación con el líder del grupo, con un 5% de varianza explicada; y la comunicación con el docente, con un 4.2% de varianza explicada. En la Tabla 4 se presentan los coeficientes de regresión y determinación, junto con el error típico de estimación para cada uno de los pasos del análisis de regresión. La inspección de los pesos de cada uno de los predictores mostró que la presencia social estaba positivamente relacionada con las coordenadas de las personas en la dimensión 2 (*Beta*= .342). Esto viene a indicar que la presencia social está asociada al cumplimiento de los indicadores individuales de desempeño, mientras que su ausencia está asociada al cumplimiento de los indicadores grupales. Por su parte, la comunicación con el líder del grupo mostró un coeficiente negativo (*Beta*= -.368), lo que indica que, a mayor comunicación con el líder del grupo, mayor cumplimiento de los indicadores grupales, y viceversa para el caso de los indicadores individuales. Finalmente, la comunicación con el docente mostró un coeficiente positivo (*Beta*= .254), lo que viene a indicar que el docente tiene un efecto positivo sobre los indicadores individuales, y negativo sobre los grupales.

Modelo	**R**	**R^2**	**R^2 corregida**	**E.T. estimación**	**Cambio en R^2**
Presencia social	,263	,069	,058	,97600	,069
Comunicación con el líder del grupo	,346	,119	,099	,95487	,050
Comunicación con el docente	,401	,161	,131	,93756	,042

Tabla 4 – Resumen del modelo de regresión lineal por pasos sucesivos Variable dependiente: coordenadas de las personas en la dimensión 2 de la solución del análisis de correspondencias múltiple

Como resumen de los resultados obtenidos, ambos análisis indican que, de modo general, los mejores predictores del desempeño en una tarea colaborativa son, en este orden, la construcción social del conocimiento y el grado de comunicación entre los miembros del grupo. Por otra parte, se estable una diferencia entre desempeño individual y desempeño grupal, este último mejora en función del grado de comunicación con el líder, mientras que el desempeño individual mejora en función del grado de presencia social que tiene el alumno focal en el grupo, así como de su grado de comunicación con el profesor.

4. Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio ponen de manifiesto que la construcción social del conocimiento en la AC estuvo fuertemente relacionada con el grado de fluidez presente en la comunicación entre los integrantes del equipo, coincidiendo en este sentido con lo que señalan Guitert & Pérez-Mateo (2013), cuando mencionan que la interacción y la reciprocidad facilitan la construcción conjunta de significados. Asimismo, y como sería de esperar, aquellos indicadores de desempeño no asociados con el trabajo colaborativo mostraron menos dependencia del grado de comunicación que los que sí estaban asociados.

Este resultado pone de manifiesto dos aspectos fundamentales en la ejecución de un trabajo colaborativo: 1. Dado que la mayoría de las actividades en este tipo de trabajo son grupales, la fluidez de la comunicación será un factor determinante, por lo que garantizar dicha fluidez se convierte en una condición indispensable para el éxito de éste, corroborando lo planteado por Collazos, Muñoz, & Hernández (2014). Por el contrario, la escasez o falta de fluidez en la comunicación se convierte en un factor determinante del fracaso del trabajo colaborativo, pero no constituye un obstáculo para el desempeño individual. Adicionalmente, nuestros resultados también ponen de manifiesto que la presencia de un líder eficaz y comunicativo dentro del grupo es esencial para el éxito del desempeño grupal. 2. A pesar de que la característica fundamental de las actividades colaborativas es el trabajo con otros, este tipo de actividades también precisa de cierto grado de desempeño individual, algo ya señalado por (Johnson et al., 1998). En este sentido, otro tipo de factores que van a afectar al éxito o fracaso de dicha actividad son, por este orden, la iniciativa personal del alumno, el uso de herramientas externas a la actividad en grupo y a la influencia del líder, y la asistencia proporcionada por el profesor, como lo mencionan (Mayordomo & Onrubia, 2015). Así pues, al llevar a cabo este tipo de actividades es necesario ser consciente de la importancia que tiene el docente en su papel de acompañar, mediar y orientar a los alumnos en su trabajo, y no dejarlo todo a las interacciones entre los alumnos, o a la dirección del líder del grupo. También es necesario tener en cuenta los factores personales de los alumnos, por lo que tampoco es conveniente apoyarse únicamente en el grupo como un todo, sino también fomentar la iniciativa individual y la investigación fuera del grupo. Es muy probable que la atención a estas características de iniciativa dentro del grupo de alumnos pueda resultar útil también para el trabajo del grupo como un todo, por ejemplo, para la selección de líderes.

Como conclusión, los resultados de este estudio animan a seguir investigando la incidencia del trabajo colaborativo y del trabajo individual en la construcción del conocimiento del estudiante, lo que apoyará para identificar de qué manera se debe gestionar el aprendizaje con la participación, interacción y la ejecución del trabajo colaborativo. Por otro lado, el bajo poder predictivo de nuestro segundo modelo de regresión múltiple viene a indicar que todavía quedan por identificar otros factores responsables de un mayor desempeño individual o grupal.

Sería interesante replicar el presente trabajo en una muestra mayor y por un período más largo de tiempo para ratificar o rectificar los hallazgos encontrados, y así determinar si el trabajo colaborativo es realmente una estrategia de aprendizaje para la construcción social del conocimiento, así como profundizar en la interdependencia entre un buen

desempeño individual y un buen desempeño grupal a la hora de mejorar los resultados de aprendizaje en este tipo de actividad.

Referencias

Coll, C. (1984). Estructura grupal, interacción entre alumnos y aprendizaje escolar. *Infancia y Aprendizaje*, (27), 119–138. Retrieved from http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=668449%5Cnhttp://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/668449.pdf

Collazos, C., Muñoz, J., & Hernández, Y. (2014). *Aprendizaje Colaborativo Apoyado por Computador* (1ra. Ed. I). LATIn. Retrieved from https://openlibra.com/es/book/aprendizaje-colaborativo-apoyado-por-computador

Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied regression analysis. Third edition*. New York: Wiley.

Espuny, C., González, J., LLeixá, M., & Gisbert, M. (2011). Actitudes y expectativas del uso educativo de las redes sociales en los alumnos universitarios. *RUSC. Revista de Universidad y Sociedad Del Conocimiento*, *8*(1), 171–184. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Garrison, R., Anderson, T., & Archer, W. (2000). Critical Inquiry in a Text-Based Environment: Computer Conferencing in Higher Education. *The Internet and Higher Education*, *2*(2–3), 87–105. https://doi.org/10.1016/S1096-7516(00)00016-6

Gifi, A. (1990). *Nonlinear multivariate analysis*. Chichester: Wiley.

Greenacre, M. J. (1991). Interpreting multiple correspondence analysis. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, *7*(2), 195–210. Retrieved from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/asm.3150070208

Guitert, M., & Pérez-Mateo, M. (2013). La colaboración en la red: Hacia una definición de aprendizaje colaborativo en entornos virtuales. *Tesi*, *14*(1), 10–31. Retrieved from http://www.redalyc.org/pdf/2010/201025739004.pdf

Ingles, C. J., Aparisi, D., Delgado, B., Torregrosa, M. S., & Garcia-Fernandez, J. M. (2017). Sociometric types and academic self-concept in adolescents. *Psicothema*, *29*(4), 496–501. https://doi.org/10.7334/psicothema2016.54

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (1998). *Active learning: cooperation in the college classroom*. (I. B. Company, Ed.).

Mayordomo, R. M., & Onrubia, J. (2015). Work coordination and collaborative knowledge construction in a small group collaborative virtual task. *Internet and Higher Education*, *25*(2015), 96–104. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.003

Noguera, I., & Gros, B. (2014). Indicadores para la construcción de prácticas colaborativas en entornos virtuales de aprendizaje / Indicators to develop collaborative practices in online learning. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa - RELATEC*, *13*(1), 51–62. Retrieved from http://mascvuex.unex.es/revistas/index.php/relatec/article/view/1155

Pedrosa, I., Borges, Á., Herranz, N., Lorenzo, M., & García-Cueto, E. (2013). Desarrollo del Protocolo de Observación de Interacción en el Aula: aplicación en un programa de niños con altas capacidades. *Revista de Educación*, *Extra1*(1), 338–362. https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2013-EXT-250

Ramos Gonçalves, D., & Vieira da Silva, M. C. (2019). Formación de profesores e identidad profesional: la contribución del trabajo colaborativo en educación. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación Del Profesorado*, *23*(2). https://doi.org/10.30827/profesorado.v23i2.9691

Roselli, N. (2011). Teoría del aprendizaje colaborativo y teoría de la representación social: convergencias y posibles articulaciones. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, *2*(2), 173–191.

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

Recebido/Submission: 07/03/2019
Aceitação/Acceptance: 15/06/2019

Interfaz de usuario enfocado en el co-diseño con niños

Elizabeth Morales-Urrutia[1], José Miguel Ocaña Ch[2], Jorge Luis Santamaría Aguirre[3], Diana Pérez-Marín[4].

ek.morales@uta.edu.ec, jmocanac@ejercito.mil.ec, jl.santamaria@uta.edu.ec, diana.perez@urjc.es

[1] Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 182020, Ambato, Ecuador.

[2] Ejército Ecuatoriano, Ecuador, 182020, Ambato, Ecuador.

[3] Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 182020, Ambato, Ecuador.

[4] Universidad Rey Juan Carlos, España, 28933, Madrid, España.

Pages: 147–160

Resumen: El co-diseño es un método que permite el desarrollo de productos por medio de la experimentación, se puede determinar las necesidades reales de los usuarios ocasionando una mejora del producto, en funcionalidad y usabilidad. El presente artículo da a conocer el proceso de co-diseño de un agente pedagógico conversacional que enseñará a programar a niños. Se centra en como extraer información del público objetivo para generar una propuesta que cubra sus expectativas, en la experiencia de interacción y aprendizaje; para esto, se pidió a 66 niños de 8 a 10 años que escribieran un diálogo con el ordenador sobre cómo les gustaría que se les enseñara la programación. Del análisis de los diálogos recopilados, se obtienen los criterios para definir el perfil y rasgos que configuran al agente pedagógico conversacional y las actividades que éste desarrolla en el entorno de la aplicación.

Palabras-clave: Interfaz; usuario; co-diseño; agente pedagógico conversacional; niños.

User interface co-designed with children

Abstract: Co-design is a method to develop software through experimentation by identifying the users' real needs. The goal is to improve the usability and functionality of the software. In this paper, the co-design process of a Pedagogic Conversational Agent to teach programming to children is described. The paper is focused on how to extract information from the children to generate the interface that covers their expectations. To do that, 66 children between eight to ten years of age were requested to write a dialogue with their computer about how they would like to be taught programming. From the dialogue analysis, criteria have been elicited to define the profile and features of the Pedagogic Conversational Agent interface and its tasks.

***Keywords**:* Interface; user; co-design; Pedagogic Conversational Agent; children.

1. Introducción

En décadas recientes, las preferencias de los usuarios se ha convertido en factor que incide a la hora de generar o crear un diseño, esto se ha visto reflejado en diferentes medios tales como revistas, libros, aplicaciones digitales, entre otros. Con el pasar del tiempo el factor humano ha realizado importantes aportes a la calidad del producto y facilidad de uso, tomando como referencia principal el grado de satisfacción del usuario. En este sentido, algunas industrias han elaborado diseños en función de la relación existente entre las necesidades de Maslow (2012) y factores como la funcionalidad, usabilidad y el placer.

En las últimas décadas, los seres humanos contribuyen a la creación de usabilidad y de establecer una serie de principios que deberá contener el diseño para que sea fácil de utilizar (Jordan, 1998), A este respecto, el gran desafío al que se enfrenta el ser humano es desarrollar productos que puedan generar diferentes emociones y sentimientos en las personas (Hollan, Hutchins y Kirsh, 2000).

En la actualidad, se investiga tecnologías educativas y metodologías adecuadas para desarrollar competencias digitales que promuevan el pensamiento lógico por medio de la enseñanza de programación. Una de estas tecnologías son los Agentes Conversacionales Pedagógicos (ACPs), que se pueden definir como sistemas interactivos que permiten a los estudiantes repasar de una forma entretenida y amigable, a su vez éstos están considerados como una entidad viviente artificial que son diseñados con la finalidad de tener conversaciones con seres humanos reales, conversaciones que pueden ser llevadas a cabo vía texto, de forma oral o incluso una conversación no verbal (Johnson, Rickel y Lester, 2000).

Siendo el objetivo principal de este estudio el desarrollar un Agente Conversacional Pedagógico para enseñar programación en Educación Primaria en la presente investigación se trabajará con ALCODY, cuyo nombre representa (Algoritmos -Código), agente que aproximará a los usuarios y en especial a los niños a la toma de decisiones y desarrollo del pensamiento lógico es por ello que para el diseño del agente se integra a los niños en el proceso creativo para el desarrollo del personaje a través del co-diseño, con el fin de construir un agente con rasgos y características que los niños identifiquen y que finalmente puedan empatizar con su personalidad.

En esta investigación, se ha tomado como referencia al co-diseño como apoyo al diseño a través de la retroalimentación por parte del usuario, en este caso las historias creadas por los estudiantes de educación básica, ya que no hay precedentes en el diseño de agentes pedagógicos conversacionales para el apoyo en la enseñanza de programación. Los resultados obtenidos con los estudiantes permiten configurar al agente pedagógico conversacional, mediante el análisis morfológico de los rasgos y características detectadas en los diferentes textos escritos y en el proceso de retroalimentación en la co-creación del personaje con la ayuda de los niños.

Este artículo está compuesto de siete apartados. Partiendo desde la introducción como primer apartado que nos aproxima a la problemática, en el segundo apartado se aborda

el estado del arte basado en la revisión existente de literatura sobre usabilidad, diseño y co-diseño; tomando en cuenta la no existencia de referentes sobre la creación de agentes conversaciones para el apoyo interactivo en clase y sobre todo enfocado a la enseñanza de programación. En el tercer apartado se establece la metodología desarrollada en el co-diseño del agente conversacional pedagógico, en el cuarto apartado se exponen los resultados obtenidos de la experiencia de los textos escritos, en el quinto apartado se muestra la propuesta de diseño, en el sexto apartado se muestran las conclusiones y trabajo a futuro de la aplicación y los aspectos de interés encontrados en el co-diseño y finalmente en el apartado siete se recoge la bibliografía.

2. Trabajos relacionados

2.1. Usabilidad

En el campo del diseño, la usabilidad es un término ya conocido y aplicado como un proceso que presenta métricas para su evaluación que dependen de la efectividad, eficiencia y satisfacción. Mientras que como producto descansa en la facilidad para aprender, recordar, y operar, además de resultar atractivo (González, Montero y Gutiérrez, 2012). El reto en los procesos de diseño está en identificar, evaluar y detectar los aspectos hedónicos de los procesos interactivos, y de cómo poder diseñar un sistema que haga al usuario "sentirse bien" y genere en él "afinidad", "fidelidad" o "complacencia", aparte de que el grado de belleza estética, diseño visual, colores o estilo de la marca sean del agrado de éste (Jordan, 1998).

En el diseño de un producto ya sea físico o digital, se debe tomar en cuenta algunos aspectos tales como: usabilidad, integración e interacción que generan entre la aplicación y los usuarios, para Human Computer Interaction (HCI) la usabilidad se relaciona en hacer que los sistemas sean fáciles de aprender y fáciles de usar (Preece et al., 1994) y se distingue de la noción de "experiencia del usuario", que abarca un conjunto más amplio de preocupaciones, tales como crear sistemas que sean satisfactorios, divertidos, entretenidos, útiles, estéticamente agradables, de apoyo a la creatividad, gratificante o emocionalmente satisfactorios, que permitan en la actualidad el desarrollo optimizado en todos los dispositivos basados en tecnologías modernas tangibles e intangibles (Wong y Khong, Chee Weng y Thwaites, 2012), los investigadores de HCI reconocieron que para producir sistemas con buena usabilidad, era necesario entender aspectos psicológicos, factores ergonómicos, organizativos y sociales que determinan cómo operan las personas, y para considerar el trabajo grupal, integración e interacción de los medios, así como los impactos más amplios de las tecnologías informáticas (Kukulska-Hulme, 2004).

Al hablar de diseño y usabilidad es importante conjugar los términos de cognición y ergonomía enfocados a la interacción entre persona e interfaz. Los procesos cognitivos, como percepción, aprendizaje o solución de problemas juegan un papel importante en la ejecución de tareas cognitivas, tales como la búsqueda de información y su interpretación, la toma de decisiones y la solución de problemas (Cañas y Waerns, 2001). Por su lado, Preece (2000) había pasado a considerar la usabilidad en el contexto de las comunidades en línea, concluyendo que "... el software con buena usabilidad admite aprendizaje rápido, alta retención de habilidades, bajas tasas de error y alta productividad". Además, dentro del diseño es necesario considerar una interfaz que permita fluidez de contenidos

y sea invisible en el contexto de uso para no afectar la experiencia del usuario (Hadler, 2018), (Badashian et al., 2011), (Roth, 2017). En la actualidad se encuentran ejemplos de proyectos enfocados al aprendizaje y al diseño de interfaz de usuario en diversos ámbitos de la educación y de la formación de los niños (Martínez y Cely, 2018).

2.2. Diseño y Co-diseño

El uso de iteraciones y grupos pequeños de los posibles usuarios, en la actualidad se esta utilizando en el desarrollo de las nuevas tecnologías y la realidad aumentada (O'Hare et. al, 2018). Estas acciones están basadas en la participación activa de los sujetos de estudio para el éxito del co-diseño (Andersen et al, 2015).

Partiendo de la visión de Norman (2004), en la que se argumenta que la parte emocional del ser humano viene de tres niveles diferentes del cerebro, un buen diseño debe tomar en cuenta inicialmente el nivel visceral, asociado a la apariencia del producto, que genera la primera impresión; por otro lado, el nivel comportamental, asociado a la comprensión del uso desde la experiencia de interacción del usuario, donde la percepción de utilidad, rendimiento y usabilidad se entrelazan; y, por último, el nivel reflexivo que permite al usuario recordar el pasado y contemplar el futuro, creando relaciones duraderas con los objetos, a través de los sentimientos de satisfacción de poseer, ver o usar un producto.

Hassenzahl (2013) manifiesta que el diseño emocional ha ayudado al desarrollo de productos o sistemas tecnológicos que ha generado diferentes emociones y placer en el usuario. Asimismo, la creación de experiencias significativas mediante la apropiación de una tecnología. En este sentido, se puede decir que el diseño debe presentar productos asequibles, funcionales y generadores de experiencias únicas para el consumidor y sobre todo que produzcan en el usuario el placer de poseerlo y utilizarlo (Norman 2002). En el proceso creativo de construcción de un producto participan tanto los diseñadores como los co-diseñadores, a fin de experimentar, probar, transformar, desarrollar, y completar ideas iniciales a través de la observación, reflexión, interpretación, discusión y expresión (Sanders y Stappers, 2014).

Para Sanders (2008) el proceso de diseño se resume en un ciclo de tres pasos, en primer lugar, los productos comienzan como ideas, segundo, se transforman en uno o más prototipos, y finalmente en el tercer paso se convierten en productos. Es así como con la evolución y desarrollo de las investigaciones de diseño la percepción que el diseñador tiene del consumidor va cambiando con el pasar del tiempo; es decir, las personas que participan en el diseño han ido tomando varios roles. Durante los años 70´s se los conoce como clientes y consumidores, en los 80´s el diseño se centra en el usuario donde se refiere a las personas como usuarios finales y en la actualidad está surgiendo un enfoque que invita a las personas a participar en el diseño real, ahora se piensa en las personas como participantes en el proceso de diseño, como adaptadores del producto diseñado, o incluso como co-creadores, personas con experiencia única y relevante, y los diseñadores se convierten en intérpretes de las necesidades, los sueños de las personas, y no solo creadores de un producto (Sanders, 2005).

El diseño debe enfocarse en colocar al usuario final en el centro del proceso de diseño, el estándar ISO 9241-210 (Mirnig et al., 2015) define el diseño centrado en el ser humano como "un enfoque para el diseño y desarrollo de sistemas que tiene como objetivo hacer

los sistemas interactivos más útiles centrándose en el uso del sistema y la aplicación de factores humanos/ergonomía y conocimiento y técnicas de usabilidad", de tal forma que se pretende agrupar una mayor cantidad de percepciones por parte del usuario y no solamente tener en cuenta la funcionalidad del sistema. Por su parte, Bonsiepe (2012) menciona que una interfaz debe "ser aprendida rápidamente, con un bajo nivel de frustración" (p.110). Del mismo modo, el estándar ISO 9241-210 describe el beneficio potencial de seguir un enfoque de diseño que mejore la usabilidad y los factores humanos: "Los sistemas utilizables pueden proporcionar una serie de beneficios, incluyendo una mejor productividad, mayor bienestar para el usuario, evitar el estrés, mayor accesibilidad y menor riesgo de daños" (Mirnig et al., 2015).

En los procesos de co-diseño, la intervención de los socios del diseño es fundamental, es así que, a la hora de diseñar el criterio de los usuarios es de importancia, sean estos adultos o niños. En este sentido, Druin (1997) afirma que el trabajar con niños posibilita el desarrollo de un entorno de acercamiento que apoya a las actividades del aprendizaje de éstos. En los primeros acercamientos de su investigación los niños se sentían atraídos por contar historias mediante el uso de dibujos o escritos. A través de estas actividades desarrollaron y ejercitaron habilidades de alfabetización visual y verbal, y al mismo tiempo permitieron generar cierta competencia con el uso de las nuevas tecnologías. En el diseño de prototipos gráficos, los niños se convirtieron en catalizadores y generadores de ideas en las que no se había pensado antes y definitivamente cambiaron la dinámica de grupo y de los diseños (Druin et al., 1997).

En los últimos años, se han desarrollado numerosas metodologías que llevan a los usuarios de tecnología al proceso de desarrollo, convirtiéndolos en socios activos para la construcción de propuestas (Bjerknes, Ehn y Kyng, 1987); (Greenbaum y Kyng, 1991), (Schuler y Namioka, 1993), inspectores o probadores (Nielsen, 1995), (Nielsen, 1994), o participantes de investigación para ser observados y / o entrevistados (Beyer y Holtzblatt, 1998), (Druin et al., 1997), (Holtzblatt et al., 1995), (Chan, Kah & Easterly, Douglas, 2009), (Ayuningtyas & Effendy, Veronikha & Kaburuan, Emil, 2018). Todas las metodologías parten de una visión proyectual y trabajo en equipo con el fin de buscar soluciones que integren la opinión de todos los participantes.

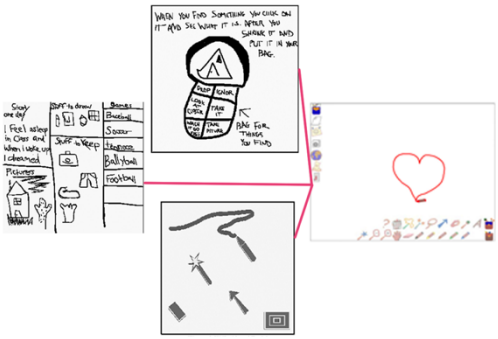


Figura 1 – Design Suggestions from Children, Druin 1999

Para Manzini (2015) “todo diseño es (o debería ser) una actividad de investigación en sí misma que promueva experimentos socio-técnicos”. Druin (1999) puso de manifiesto que el mejor ambiente de co-diseño con los niños es el que se da de manera natural, ya sea a través de patrones de actividades y roles de juego, lo cual se diferencia del co-diseño con adultos. En algunos casos en los estudios que abarca la tecnología se observa que los niños quieren ser narradores de historias, asimismo, se ha encontrado que los niños de 7 a 10 años son la mejor alternativa (Druin et al., 1999), debido a que son lo suficientemente verbales y auto reflexivos para discutir lo que están pensando. No parecen estar demasiado agobiados por nociones preconcebidas sobre la forma en que “se supone que deben ser las cosas”, algo que típicamente vemos en niños mayores de 10 años (Druin et al., 1999).

Como explican Greenbaum y Kyng (1991) coinciden en la “la necesidad de que los usuarios se conviertan en socios plenos en el proceso de desarrollo del sistema cooperativo. La plena participación de los usuarios requiere capacitación y cooperación activa, no solo representación simbólica”; siendo los dos ejes fundamentales desde el ámbito de diseño al momento de desarrollar una interfaz (Bonsiepe, 2012, p. 101). En estudios recientes la estrategia de trabajo y metodología con los niños es más frecuente, teniendo mayor relevancia la interacción con las experiencias y percepción de los niños (Chan y Easterly, 2009), (Birch et al., 2017) y (Kleinsmann, Sarri y Melles , 2018), en los que el uso de focus group, análisis de experiencias previas y la etnografía son caminos para la obtención de información relevante.

3. Metodología

Para el co-diseño del agente con los niños se desarrollan las siguientes etapas:

- Toma de información de los requerimientos de los docentes
- Primera propuesta de diseño basado en los requerimientos de los docentes.
- Co-diseño con los estudiantes.
- Segunda propuesta de Diseño basado en los requerimientos de los estudiantes.

Como primera etapa en el diseño de la interfaz para el análisis de requisitos, se entrevistó a docentes de una escuela de Educación Primaria en Madrid - España, donde plantearon rasgos iniciales del agente conversacional pedagógico, de acuerdo con su visión y que es el punto de partida para la presente investigación. Estos manifestaron que el agente conversacional debería presentar una estructura sencilla constituida por formas básicas y que tuviera colores pasteles. En la segunda etapa el diseño inicial que se presentó tenía el aspecto que se muestra en la Figura 2, el personaje fue creado con formas geométricas simplificadas.

Figura 2 – Diseño de agente conversacional basado en entrevista con docentes
Morales-Urrutia, 2017

En la tercera etapa de la metodología para la validación de la interfaz, ésta se mostró a 66 niños (hombres y mujeres) de 8 a 10 años de una institución de educación Primaria en Madrid - España, en la cual se aplicó una encuesta para determinar el conocimiento que tienen de programación además se les pidió crear una historia en la que debían escribir un diálogo con el ordenador sobre cómo les gustaría que se les enseñara programación, con la finalidad de recopilar de manera directas sus expresiones escritas (Figura 3).

Posterior a ello se procede a analizar de manera contextual los textos que desarrollaron los niños para analizar la parte comunicacional a fin de interpretarlo para el diseño de la Interfaz (Silveira et al., 2015). Lo que se puede interpretar del primer acercamiento de los niños con la interfaz es que: los niños por medio de los diálogos identificaron al ordenador como el nexo de aprendizaje y acompañante, dando la pauta para la creación y características del personaje.

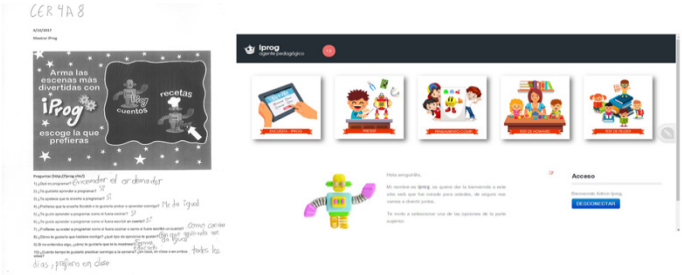


Figura 3 – Test impreso y digital aplicado (instrumentos de recolección de información)

De las historias creadas por los niños se puede extraer las características implícitas en los textos para el co-diseño, como se observa en el texto (Figura 4)

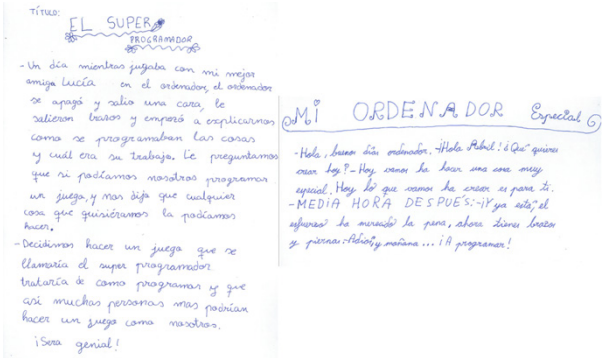


Figura 4 – Historias de conversación de los niños con agente pedagógico conversacional.

4. Resultados

De las historias creadas por los niños en la etapa de la propuesta, se realizó un análisis más profundo para contextualizar las historias contadas, para esto se optó por el método de análisis de contenidos para extraer ideas y atributos que sirvan para el desarrollo

del personaje y su contexto, a través de la matriz de análisis morfológico donde se organiza las ideas y se configuran la opción u opciones más viables. En el análisis de contenidos se extraen palabras clave asociadas a nueve parámetros, cinco de ellos: **personaje, género, color, características del personaje y estado de ánimo.** Estos parámetros permiten definir los rasgos generales de forma y actitud del personaje; mientras que: **tipo de historia, estructura de la historia, tema y como te gustaría que hablase contigo**, permiten establecer el carácter del personaje y sus interacciones con los usuarios (ver Figura 5).

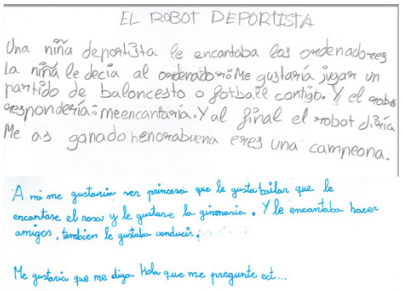


Figura 5 – Descripción de las características del robot por medio de textos.

Los rasgos generales que se destacan de los resultados obtenidos en la (Tabla 2), definen la personalidad y rasgos formales del agente conversacional ALCODY como: ordenador antropomorfo, masculino, paleta de colores, deportista, que hable, con aspecto humano, normal y amigable. Los rasgos aproximan la propuesta de diseño con una cabeza, tronco y extremidades como base para el diseño; además se toma en cuenta que el carácter del personaje debe ser calmado y que realice actividades humanas como el deporte, y que debe comunicarse con los niños en un tono amigable.

Personaje	**Género**	**Color**	**Características del Personaje**	**Estado de Ánimo**
ordenador (25)	*no define (34)	*no define (54)	deporte (7)	normal (22)
persona (19)	masculino (20)	varios colores (5)	*no define (6)	amigable (15)
robot (7)	femenino (7)	Rosado (2)	Hablar (5)	*no define (8)
animal (6)			Características humanas (brazos, boca, piernas) (4)	feliz (5)
transporte (2)			característica de animales (2)	asombro (2)
			bailar (2)	preocupado (2)
				sorprendido (2)
				triste (2)
				mensajes positivos (1)
				agresividad (1)

Nota: * Son valores cuantitativos representativos de la muestra, pero no tienen valor cualitativo.

Tabla 2 – Resultados de la encuesta a los niños

El género está presente en una ambivalencia de masculino y femenino (Tabla 3), siendo el primero el que logró mayor puntaje, esto finalmente no tendrá impacto de sesgo para el diseño, para evitar un posible condicionamiento a factores culturales preexistentes en los niños.

Género	Color
masculino (20)	femenino (7)
varios colores (5)	Rosado (2)

Tabla 3 – Género y color

En la investigación también se pudo destacar rasgos de personalidad para ALCODY, como lo muestra la (Tabla 4):

Personaje	**Características del personaje**	**Estado de Animo**
*Ordenador	*Deporte	*Normal
*Persona	Hablar	Amigable
Robot	Humanas (brazos, boca, piernas)	Feliz
Transporte	Característica de animales	Sorprendido
Animal	Bailar	Asombro
		Mensajes positivos

Nota: * Características con mayor representatividad que permiten la personificación y características del agente pedagógico.

Tabla 4 – Personalidad

Se ha decidido optar por los rasgos más aparentes para una comunicación no verbal para el agente pedagógico conversacional como: deberá tener una cara expresiva, deberá tener brazos que le permita realizar actividades y comunicarse con los usuarios de la aplicación.

5. Propuesta

Descripción del co-diseño del agente conversacional pedagógico con niños para que les enseñe a programar, el análisis de la percepción de los estudiantes con respecto al agente pedagógico conversacional dio paso al co-diseño del personaje, obteniendo una nueva versión (Figura 6), adaptada a las preferencias y sugerencias de los niños.

Figura 6 – Imagen del agente pedagógico conversacional llamado Alcody

Alcody se muestra amigable, se ha trabajado en los ojos para denotar expresividad, los colores se mantienen en una base neutra permitiendo que los elementos visuales complementarios sean notorios y se pueda variar al agente pedagógico conversacional en su personalidad y actitud.

5.1. Descripción de Personaje

En cuanto a las formas, la estructura es más simplificada y representa tecnología, se relaciona con la experiencia que los niños tienen en manejo de medios y dispositivos; además, las gafas representan un elemento de identidad del nombre del personaje ALCODY, aun cuando no es visible al 100%, esto se planea como estrategia de diferenciación creativa que genera un mayor dinamismo en la creación e identidad del personaje. En síntesis, del co-diseño se puede concluir que el personaje creado cumplirá su rol de agente. El concepto que se ha manejado de manera gráfica es mostrar que es un robot inteligente de última generación que guía a los niños en su aprendizaje de programación, el nombre asignado es Alcody y presenta cualidades de ser multifacético en personalidad, alegre, amigable, activo, con inmediatez en la comunicación y guía de las actividades. Alcody tiene una forma compacta, donde los elementos más representativos resaltan como los ojos y la pantalla del cuerpo, mientras que los elementos complementarios que no interactúan en la interfaz se los ha simplificado para facilitar la interacción del personaje, el personaje al no tener mayor expresividad en el rostro, el movimiento de brazos y manos se convierte en una estrategia de comunicación con los niños.

5.2. Forma - styling

La forma general es ovoide, con detalles y complementos redondos; se utilizan figuras básicas y simplificadas que definen la forma del personaje; los trazos son finos y no tienen gran impacto en la estructura global. Los pies se simplifican porque no tiene interacción dentro de las actividades de la interfaz.

En general, el diseño utiliza formas básicas, círculos, rectángulos, cuadrados, etc, se aplican estos elementos con el fin de no saturar la interfaz. Se utiliza una paleta de colores con tonos de colores relacionados con la tecnología, y a su vez, se pretende que sean alegres y permitan su aplicación en entornos cotidianos de los niños. La representación del personaje en sus distintas facetas es discreta pero notoria (Figura 7), marcan las diferentes propuestas para la alternancia del personaje en los escenarios y narrativas que tienen que acompañar al aprendizaje del niño (Si & Marsella, 2014).

Figura 7 – Representación del agente pedagógico conversacional

5.3. Entorno

El entorno va asociado a la personalidad de Alcody, por tanto, se hace un cambio de espacios muy coloridos y saturados de la primera versión hacia un entorno más limpio pero que denota tecnología donde se manejan líneas y formas muy sutiles que no interfieren con las actividades lúdicas del personaje y el usuario. Los fondos son neutros y se prioriza los espacios de información con textos simples contrastantes e ilustraciones coloridas. A cada tipo de información se le asigna un color para ser identificado con mayor facilidad y rapidez. Para la interfaz de comunicación entre el usuario y el agente pedagógico, se analiza la experiencia de los niños relacionada con la forma de comunicarse por medio de aplicaciones digitales, de los textos escritos analizados se observa la estructura de un chat; la misma que ha servido de base para el diseño de la nueva interfaz que se muestra en la Figura 8.

Figure 8 – Propuestas de chat basado en el análisis de los textos

6. Conclusiones y trabajo futuro

Dada la falta de características predefinidas para el diseño de un nuevo agente conversacional pedagógico para la enseñanza de la programación en Educación Primaria, en este artículo se ha propuesto la aplicación del método de co-diseño con niños. La aplicación del co-diseño ha permitido un entorno de creación basado en el diálogo y experiencias que ha logrado un resultado apegado a la realidad y gustos del usuario. Para la definición de los rasgos del personaje y sus actividades en el entorno se han tenido en cuenta los criterios extraídos de los diálogos con los niños. Se pretende continuar con este proceso de co-diseño para adaptar no solo el personaje, el entorno y la interacción del niño con la interfaz, sino también para adaptar la interacción en lenguaje natural entre los niños y el agente.

Referencias

Ayuningtyas, O & Effendy, Veronikha & Kaburuan, Emil. (2018). User Interface modelling by implementing storytelling on Sudanese cultural introduction media for early childhood using child - centered design method. *IOP Conference Series:Materials Science and Engineering*, 434.

Andersen, L. B., Danholt, P., Halskov, K., Hansen, N. B., & Lauritsen, P. (2015). Participation as a matter of concern in participatory design. *CoDesign*, 250–261.

Badashian, A. S., Mahdavi, M., Afzali, S. H., & Zabardast, Z. (2011). Supporting Multiple Categorization using Conceptual File Management. *American Journal of Scientific Research*, 192–136.

Beyer, H. y Holtzblatt, K. (1998). Contextual design. defining customer-centered systems. San Francisco. CA: Morgan Kaufmann.

Bjerknes, G. Ehn, P. y Kyng, M. (1987). Computers and democracy: A Scandinavian challenge. UK. Alebury: Aldershot.

Birch, J., Parnell, R., Patsarika, M., & Šorn, M. (2017). Creativity, play and transgression: children transforming spatial design. *CoDesign*, 245–260.

Bonsiepe, G. (2012). Diseño y crisis. Valencia: Campgráfic

Cañas, J. J. y Waerns, Y. (2001). Ergonomía cognitiva: aspectos psicológicos de la interacción de las personas con la tecnología de la información. Médica Panamericana.

Chan, Kah & Easterly, Douglas. (2009). Understanding Empathy in Children Through 3D Character Design. *In DiGRA Conference*.

Druin, A. Stewart, J. Proft, D. Bederson, B. y Hollan, J. (1997). KidPad: A design collaboration between children, technologists, and educators. In Proceedings of Human Factors in Computing Systems. (CHI 97) ACM Press, 463–470.

Druin, A. Bederson, B. Boltman, A. Miura, A. Knotts-Callahan, D. y Platt, M. (1999). Children as our technology design partners. The design of children's technology. San Francisco: CA: Morgan Kaufmann, 51–72.

González-Sánchez, José-Luis; Montero-Simarro, Francisco; Gutiérrez-Vela, Francisco-Luis. (septiembre-octubre de 2012). Evolución del concepto de usabilidad como indicador de calidad del software. En el profesional de la información, 529–536.

Greenbaum, J. y Kyng, M. (1991). Design at work: Cooperative design of computer systems. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Hassenzahl, M. 2013. «User experience and experience design» The Encyclopedia of Human-Computer Interaction.

Hadler, F. (2018). *Interface critique*. *Editorial–Beyond UX*, 2–9

Hollan, J. D. Hutchins, E. L. y Kirsh, D. (2000). Distributed cognition: A new theoretical foundation for human–computer interaction research. ACM Transactions on Human-Computer Interaction, 174–196.

Holtzblatt, K. Jones, S, M. Baecker, J. Grudin, W. A. S. Buxton, y Greenberg, S. (1995). Readings in Human-Computer Interaction: Toward the year 2000. San Francisco. CA: Morgan Kaufmann.

Johnson, W. L., Rickel, J. W., & Lester, J. C. (2000). Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments, *Journal of Artificial Intelligence in Education*, nº 11, pp. 47-78.

Jordan, P. (1998). Human factors for pleasure in product use. En Applied Ergonomics, 25–33.

Kleinsmann, M., Sarri, T., & Melles, M. . (2018). Learning histories as an ethnographic method for designing teamwork in healthcare. *CoDesign*, 1–19.

Kukulska-Hulme, A. (2004). Usability and pedagogical design: Are language learning websites special?. In EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology. Association for the Advancement of Computing in Education, pp. 4235–4242.

Manzini, E. (2015). Cuando todos diseñan: Una introducción al diseño para la innovación social. Madrid: Gráficas Muriel.

Martínez, Y , & Cely, C. (2018). Diseño de Interfaz de Usuario para la creación de Sistemas Multimedia para Apoyar el Desarrollo del Lenguaje. *Tecnología & Diseño*.

Maslow, A. 2012. «Pirámide de las necesidades.»

Mirnig, A. G. Meschtscherjakov, A. Wurhofer, D. Meneweger, T. y Tscheligi, M. (2015). A formal analysis of the ISO 9241-210 definition of user experience. *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on* Human Factors in Computing Systems. ACM, 437–450.

Morales-Urrutia, E. Ocaña, J. M. Pérez-Marín, D. y Tamayo, S. (2017, October). A first proposal of Pedagogic Conversational Agents to develop Computational Thinking in children. *In Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (p. 2). ACM.

Nielsen, J. (1994). Usability inspection methods. New York: Wiley.

Nielsen, J. (1995). Scenarios in discount usability engineering. *Scenario-based design: Envisioning work and technology in system development*. New York: Wiley, 151–167

Norman, D. (2002). Emotion & design: attractive things work better. *Interactions*, 36–42.

Norman, D. (2004). Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things. *En Basic Books*. Nueva York: Basic Books.

O'Hare, J., Dekoninck, E., Mombeshora, M., Martens, P., Becattini, N., & Boujut, J. F. (2018). Defining requirements for an Augmented Reality system to overcome the challenges of creating and using design representations in co-design sessions. *CoDesign*, 1–24.

Preece, J. Rogers, Y. Sharp, H. Benyon, D. Holland, S. y Carey, T. (1994). Human-Computer Interaction. *AddisonWesley*.

Preece, J. (2000). Online Communities: Designing Usability, Supporting Sociability. *Chichester: Wiley*.

Roth, R. (2017). User Interface and User Experience(UI/UX) Design. *The Geographi Information Science & Technology Body of Knowledge*

Sanders, E. B. N. y Stappers, P. J. (2014). Probes, toolkits and prototypes: three approaches to making in codesigning. *En CoDesign,* 5–14.

Sanders, E. B. (2005). Information, inspiration and co-creation.*Proceedings of the 6th International Conference of the European Academy of Design*. Bremen: University of the Arts.

Stappers, P. J. (2014). Prototypes as Central Vein for Knowledge Development. *Proto: type* 2010.

Sanders, E. B.-N. y Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, 5–18.

Silveira Donaduzzi, D. S. D., Colomé Beck, C. L., Heck Weiller, T., Nunes da Silva Fernandes, M., & Viero, V. (2015). Grupo focal y análisis de contenido en investigación cualitativa. *Index de enfermería*, 71–75.

Si, M, & Marsella, S. C. (2014). Encoding theory of mind in character design for pedagogical interactive narrative. *Advances in HCI*, 10.

Schuler, D. y Namioka, A. (1993). Participatory design: Principles and practices. Hillsdale. *Lawrence Erlbaum*.

Wong, M.L. & Khong, Chee Weng & Thwaites, H. (2012). Applied UX and UCD Design Process in Interface Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 703–708.

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

Recebido/Submission: 10/03/2019
Aceitação/Acceptance: 20/06/2019

Use of gamification in the learning of children with dyseidetic disexia: a case study

Antonio Quiña-Mera[1,2], Selena Pozo Barahona [1], Cathy Guevara-Vega[1,2], Iván García-Santillán[1], Alexander Guevara-Vega[1,2], Javier Montaluisa Yugla[3]

aquina@utn.edu.ec, svpozob@utn.edu.ec, cguevara@utn.edu.ec, idgarcia@utn.edu.ec, alexguevara@utn.edu.ec, fjmontaluisa@espe.edu.ec

[1] Universidad Técnica del Norte, Faculty of Engineering in Applied Sciences, 17 July Avenue, 100150, Ibarra, Ecuador.

[2] Network Science Research Group e-CIER, 17 July Avenue, 100150, Ibarra, Ecuador

[3] Fuerzas Armadas ESPE University, Software Engineering Career, Quijano-Ordónez and Hermanas Páez Street, 050150, Latacunga, Ecuador.

Pages: 161–173

***Abstract*:** In primary education institutions there is a high degree of children with associated learning difficulties and not disability, among the most common, dyslexia. The objective of this research was to make a proposal for the improvement of the visual and spatial abilities of children between 6 and 9 years old with dyseidetic dyslexia, using gamification. The video game was developed with the SUM methodology in the Game Maker Studio environment. A case study was carried out in an Educational Unit of the city of Ibarra-Ecuador, where an evaluation was applied before and after the use of the videogame, to measure the improvement of the visual and spatial abilities of the subjects. In addition, a non-parametric statistical analysis was performed using the Wilcoxon test where it was obtained that 46.15% and 53.84% of the children evaluated had an improvement in their visual and spatial abilities, respectively.

Keywords: Learning difficulties; dyslexia; SUM; video game; gamification.

1. Introduction

The difficulties of school learning are very common in educational institutions and continue being a widely treated field in educational research. People with learning problems have significant problems in the learning process in different areas (Badia, Cano, & Fernández, 2013). In this context, it is considered that a student with learning problems is not within the range expected by their age with respect to the acquisition of knowledge, representations, behaviors and mastery of scientific concepts (Santana & Rosato, 2018).

One of the most frequent learning problems in elementary school students is dyslexia. His study began in the nineteenth century, where Kussmaul defined it as “verbal blindness” in 1877, to a case study where a patient who had lost reading ability despite

not presenting previous injuries. In 1896, Morgan defined it as “a case of congenital verbal blindness”; however, later it had different variations in its name, until 1975 where the World Federation of Neurology called it “dyslexia of development”, a term that has not undergone major changes until now (Bueno & Lourdes, 2006).

Dyslexia is a disorder that presents difficulties with the written language of a person with a normal IQ, without physical or psychological problems that could be a cause of this disorder that directly affects the priority processes in the life of a human being, such as reading and writing (Hudson, 2017). The persistent difficulties in reading and mathematical calculation, dyslexia and dyscalculia respectively, are the most important learning disorders in educational and clinical practice, which have the most impact on the acquisition of knowledge and interfere in the school performance of children in the educational stage, with a worldwide prevalence of 5% (De-La-Peña & Brotóns, 2018).

This disorder is based on the concept of developmental dyslexia and another as acquired dyslexia, also called alexia. Under the first concept, dyslexia is classified into three subtypes according to Boder: (i) Dysphonic dyslexia: equivalent to linguistic and auditory subtypes, (ii) Dyseidetic dyslexia: equivalent to visual and spatial subtypes, and (iii) Mixed dyslexia: it combines the deficits of the previous subtypes (Boder, 1973). Children with dyseidetic dyslexia have visual perception, memory of letters and configurations or gestalts of words, with difficulty in developing visual vocabulary, although they have no difficulty in developing phonetic skills (Bermosolo, 2010).

The symptoms of dyslexia manifest themselves differently in each person. Children with the disorder have considerable reading delays of more than a year with respect to their actual age and their teaching process. The most common signs are inversion and confusion of letters, syllables and even words, mirror writing and difficulty in spelling. In addition, those affected have signs that are alien to their training process, such as poor spatial orientation, motor uncoordination, unclear temporal notions, low self-esteem and a host of problems that arise from the aforementioned. According to most authors, these signs are considered to be indicative, but not determinant for the diagnosis of the disorder (Sánchez-Rivas & Coveñas, 2013). The diagnosis is usually made in primary school since difficulties in reading and writing are used as first indicators; however, if this problem is detected and addressed in preschool years, the condition of affected people can be improved and the impact of the disorder reduced (Gaggi, Galiazzo, Palazzi, Facoetti, & Franceschini, 2012).

On the other hand, gamification is defined as the use of learning techniques or methods that are automated and focused in the educational field, in order to motivate actions, (Prabawa, Sutarno, Kusnendar, & Rahmah, 2018). Gamification supports the learning process of children who have problems learning, motivating and promoting their participation to acquire or reinforce their knowledge (Shamsuddin, Selman, Ismail, Amin, & Rawi, 2018). Thus, the use of video games (Del Moral, 2015) with methods and techniques designed to train the skills affected by dyslexia have also been shown to be effective in improving the effects of the disorder (Gaggi, Galiazzo, Palazzi, Facoetti, & Franceschini, 2012).

In the educational field, the implementation of video games is based on determining goals and ideal objectives, which can be linked to the teaching - learning process

of children (Cartuche, 2015). In the implementation, the human aspects over the technological ones must be prioritized. However, it is necessary for institutions to have technological centers, for the didactic innovation and, above all, facilitate the work of teachers, becoming a complementary educational resource (Castro, Raposo, & Martínez, 2018). Studies show that the implementation of video games in the classroom "Special Educational Needs" (SEN) (Sánchez-Rivas, Ruiz, & Sánchez-Rodríguez, 2017).

The objective of this research is to develop a video game that is used as an educational tool to work with children with SEN not associated with disability, specifically, with dyseidetic dyslexia, a type of dyslexia very common. For the construction of the proposal, the SUM and Game Maker Studio methodology is applied as a development environment. The learning achievements are determined by a prior evaluation and subsequent to the use of the video game in those affected.

Regarding the structure of the document, section 1 determines the current situation of the research, the problem and the justification of the development. Section 2 specifies the type of research, its population and sample, then the SUM methodology is applied to the development of the video game. In section 3 the results and evaluation of the software are determined by means of statistical tests. Section 4 presents the discussion and section 5 the conclusions and future work.

2. Materials and Methods

The research methodology consisted of three phases: (i) design of the research, (ii) design and development of the videogame, and (iii) evaluation, see Figure 1.

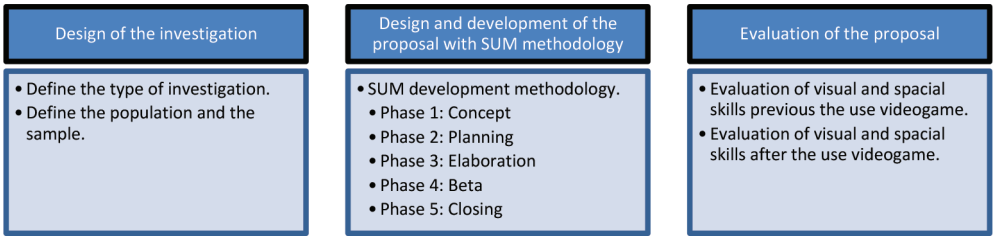


Figure 1 – Research methodology used in the study.

Phase 1: Research design

Kind of investigation

The research is exploratory, documentary, and descriptive and field, with a quantitative and longitudinal approach.

Population and sample

This study was carried out on children from 6 to 9 years of age corresponding to the second, third and fourth years of General Basic Education (EGB) of an Educational Unit of the city of Ibarra - Ecuador. The population consisted of 126 students, where their teachers a sample of 52 students of which 13 have dyslexia was selected, and the others

which were identified as having learning problems, according to their shortcomings and behaviour. The selection was made using a non-probabilistic method, that is, a convenience sampling.

Phase 2: Design and development of the video game

The proposal of this research was developed using the SUM methodology for videogames which has five phases (See Figure 2).

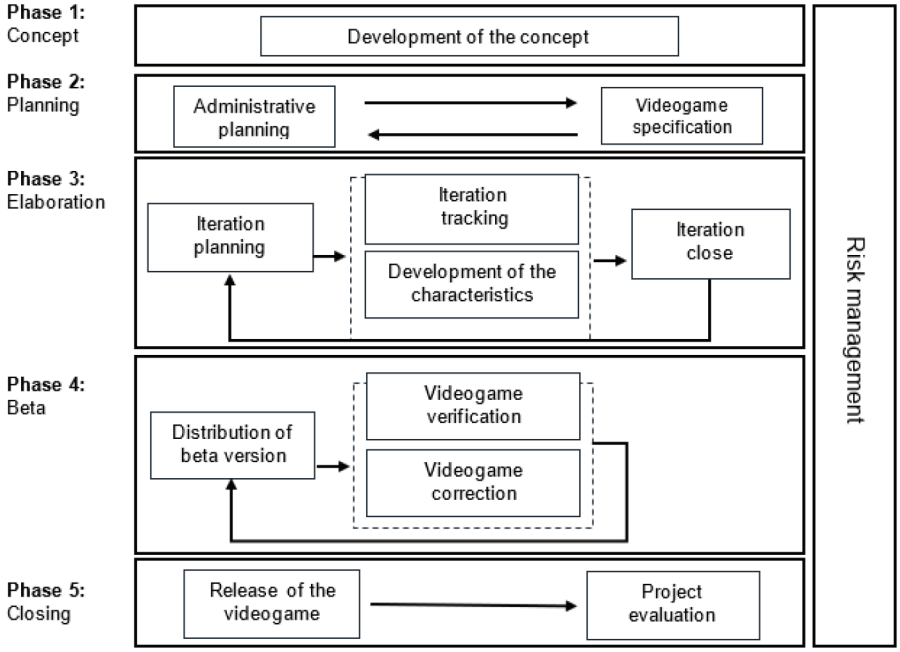


Figure 2 – SUM life cycle. (Eclipse, 2008).

F1. Concept

The proposal has a ludo-educational approach, designed for children with dyslexic dyslexia from 6 to 9 years old and teachers who a support need tool for the learning of those affected.

Game mechanics

In accordance with the functional requirements (Guevara-Vega et al., 2019) of the video game, which in the SUM methodology are called characteristics, two game modes were established based on the areas affected by the dyseidetic dyslexia, corresponding to the visual and spatial area of the child.

The video game strengthens the child's visual area using eye-hand coordination training, through exercises in which it is necessary to identify an object from a set of images that is equal to a sample that is projected on the screen; The player, by using the mouse, drags his

response to the sample, if it is correct the game will emit a victory sound and will move on to the next activity (which increases his level of difficulty throughout the game), otherwise if the answer is wrong will tell you what to keep trying, it should be noted that the game makes the indications visually (visual perception) and auditory (auditory perception) at all times, in this way the attention and visual search ability of the child / player will be exercised.

In addition, the video game consists of several spatial orientation activities, in which you must choose the address of each of the objects that are on the screen, for which you drag with the mouse each object towards the direction that is created correctly , if all movements are successful, the level is advanced, otherwise you must keep trying. A reinforcement level is used every three levels passed, in order to remember the positions that were used. As the level progresses, the direction alternatives used are increased, the main ones being up, down, right, left, forward and back, thus strengthening the laterality, attention skills and spatial orientation of the child / player.

The processes of automation of the mechanics of the game for the visual and spatial areas are similar, as an example the process of the visual area is shown (See Figure 3).

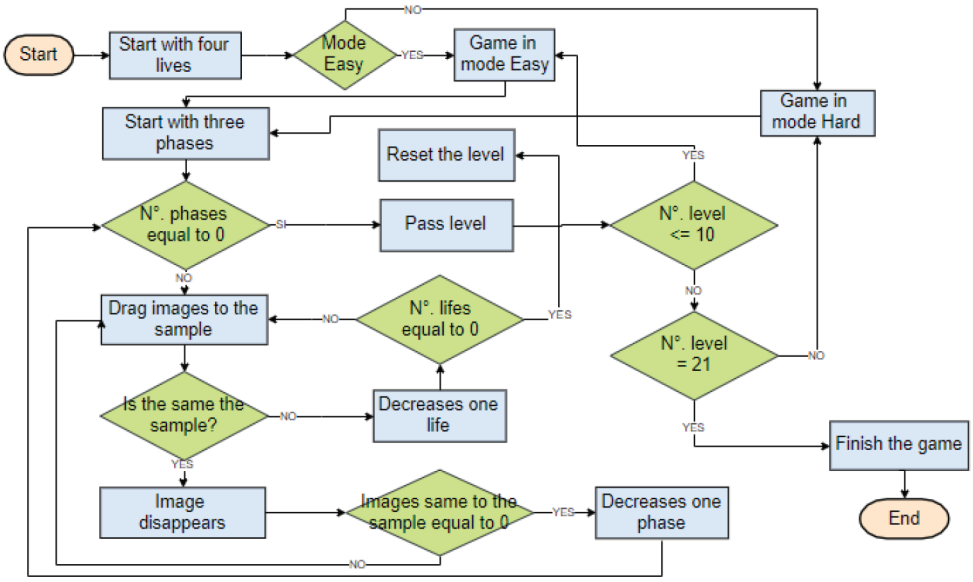


Figure 3 – Flow diagram of game mechanics - Visual.

Definition of technologies and tools

As a development IDE, Game Maker Studio (GMS) was used with its programming language Game Maker Language (GML) (YoyoGames, 2019). For the graphic part, the IDE's own image editor and the free software tool GIMP (GIMP, 2019) were used, and Audacity (Audacity Team, 2019), also freely available, was used as the sound editor. In addition, websites were used to design buttons, personalized texts, download images and sounds without a license.

F2: Planning

Definition of the development team

The video game was designed with the support of an expert in the software engineering area of the Technical University of the North (UTN, Ecuador), an expert in the area of primary education with knowledge of dyslexia and an expert in the area of psychology of the educational institution, who developed and implemented the proposal, as well as evaluate the learning achievements of the affected students thanks to the video game.

Specification of videogame features

The main functional characteristics of the videogame were established and distributed in six iterations, determining the order in which they should be developed, to maximize their value, see Table 1.

ID	Characteristics	ID	Characteristics
CR-01	Main page	CR-07	Space Area – Hard Mode
CR-02	Page "About"	CR-08	Space Area – Reinforcement levels
CR-03	"Exit" page	CR-09	Option menu
CR-04	Visual Area – Easy Mode	CR-10	Help screens
CR-05	Visual Area – Difficult Mode	CR-11	Management of lives and games
CR-06	Space Area – Easy Mode		

Table 1 – Characteristics of the video game

F3: Elaboration

Construction of the video game

The elaboration of the video game was carried out in six iterations, each previously planned. In addition, each iteration was monitored to comply with all the characteristics established in Phase 2 (See Table 2).

N° Iteration	Characteristics	Type	Estimation (Hours)
1	CR-01	Design and programming	8
	CR-02	Design and programming	2
	CR-03	Design and programming	2
2	CR-04	Design and programming	40
3	CR-05	Design and programming	40
4	CR-06	Design and programming	25
5	CR-07	Design and programming	30
	CR-08	Design and programming	10
6	CR-09	Design and programming	6
	CR-10	Design and programming	10
	CR-11	Design and programming	8
	Total estimated time (Hours)		***180***

Table 2 – Iterations for the development of the video game

F4: Beta tests

Verification and correction of videogame errors was made through three distributions (See Table 3). Each of them was tested by the beta tester, who is able to report as many errors as possible, to make the necessary adjustments and continue with the development.

N° Distribution	Types of errors	Estimation (Hours)
1	Programming, design and sound	8
2	Programming and design	6
3	Programming, design and sound	8

Table 3 – Beta distributions

F5: Closure

In this phase the final version of the proposal is delivered, in this case the video game was installed in the technological environments of the Educational Unit. In addition, the installer and user manual of the video game was made to the Department of Student Counseling of the institution.

Phase 3: Evaluation of the video game

Evaluation of visual and spatial skills prior to the use of the video game

Once the development of the video game and the beta tests were completed, the first evaluations were made with those affected, with the purpose of verifying the initial state of their visual (see Table 4) and spatial (see Table 5) abilities, and then making a comparison with the evaluations subsequent to the use of the videogame, and analyze the results (impact) of this process.

Evaluation of visual and spatial skills after the use of the video game

Subsequent evaluations allow us to appreciate the effectiveness or failure of the videogame in the training of students' abilities. In the same way, the evaluated areas (visual - spatial) are separated for a better appreciation of the results (see Tables 6 and 7).

3. Results

The sample of the research is children with learning problems equivalent to 52 students, of which 42.31% have no difficulties in the areas evaluated, while 57.69% have different degrees of involvement in each area.

For the visual area

After the use of the video game, the visual and spatial abilities of the affected children were evaluated, and the results before and after the use of the software were compared, obtaining the following results in the visual area:

Evaluation Criteria	N ° of Students	% Total
Absent	28	53.85%
Slight	15	28.85%
Moderate	4	7.69%
Severe	5	9.61%
Total	52	100.00%

Table 4 – Results of the previous evaluation - Visual area.

Evaluation Criteria	N ° of Students	% Total
Absent	40	76.92%
Mild	7	13.46%
Moderate	3	5.77%
Serious	2	3.85%
Total	52	100.00%

Table 5 – Results of the subsequent evaluation - Visual area.

The analysis of the previous and subsequent evaluations in the visual area shows an increase of children who do not have learning problems in 23.07%, equivalent to twelve students, and considerable improvements that are reflected thanks to the decrease of students affected in the others evaluation criteria (see Figure 4).

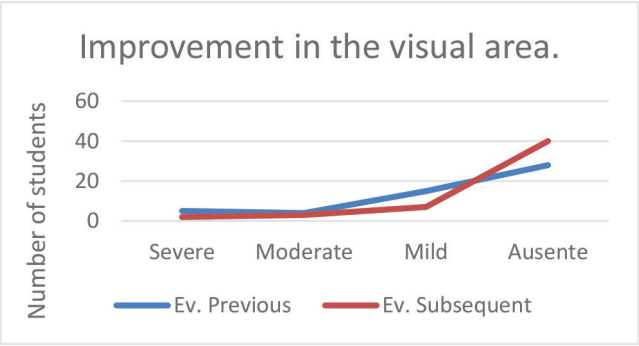


Figure 4 – Representative picture of the improvement in the visual area.

For the space area

Similarly, in the space area an improvement of 26.92% was observed, equivalent to fourteen children, in the "Absent" evaluation criterion, therefore, the number of students affected in the other ranks has decreased (see Figure 5).

Evaluation Criteria	N ° of Students	% Total
Absent	28	53.85%
Slight	13	25.00%
Moderate	10	19.23%
Severe	1	1.92%
Total	52	100.00%

Table 6 – Results of the previous evaluation - Spatial area.

Evaluation Criteria	N ° of Students	% Total
Away	42	80.77%
Mild	6	11.54%
Moderate	4	7.69%
Severe	0	0.00%
Total	52	100.00%

Table 7 – Results of the subsequent evaluation - Spatial area.

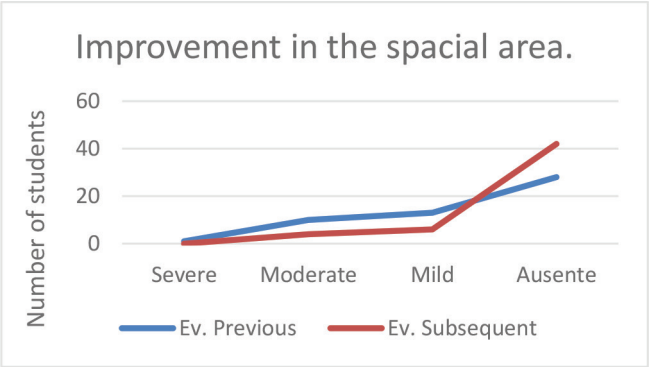


Figure 5 – Representative picture of the improvement in the space area.

With the implementation of the videogame, an improvement of visual and spatial perception abilities was achieved in children with dyslexia and those who presented features of dyslexia. In addition, it was demonstrated that the use of new teaching methods that are related to technology generate good results.

Statistical Analysis

Additionally, to corroborate that there is an improvement of visual and spatial perception abilities in children with dyslexia, a statistical analysis was carried out considering the types of variables and the sample used. In this case, the measured variables are of ordinal type and the sample is related (the same group of individuals), so the statistical test

used was that of Wilcoxon (Juma et al., 2019). This test consists of a nonparametric test applied to two related samples and tries to debate whether the results emitted by both samples are the same or different. Specifically, the null hypothesis (H0) will show that the starting distributions of the populations from which the samples were obtained are the same, as opposed to the alternative hypothesis (H1) that there is a difference between both distributions (Bouso, 2013). In this study, the two hypotheses were established as follows:

H0: There are no significant differences in the improvement of visual and spatial perception skills in children with dyslexia.

H1: Whether there are significant differences in the improvement of visual and spatial perception skills in children with dyslexia.

Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics software, version 24 (IBM, 2018). The decision rule in the hypothesis test was the following:

If p. value> 0.05 then H0 is accepted, otherwise H0 is rejected.

The p. value represents the Asymptotic Sig value shown in Table 8.

As it is observed, for all the tests, the values of asymptotic significance (p-value) are inferior to 0.05, that is to say, that according to the rule of decision the hypothesis H1 is accepted. Therefore, it is concluded that there are significant differences in the improvement of visual and spatial perception abilities in children with dyslexia.

	Visual area - after - Visual area - before	**Space area - after - Space area - before**
Z	-4.359[b]	-4.491[b]
Sig. Asymptotic (bilateral)	, 000	, 000

a. Wilcoxon signed rank test

b. It is based on positive ranges.

Table 8 – Wilcoxon test statistics [a]

4. Discussion

The results of this investigation are related to the study carried out by Sánchez-Rivas et al. (2017) who noted that the use of video games in the classroom has an advantage over traditional resources in students with SEN, improving participation, motivation, performance and the extension of the educational process outside the study center. Castro et al. (2018), confirm that skills and cognitive processes can be improved in children with learning difficulties, by integrating video games as an educational resource, since the results of these interventions have turned out to be very positive. In the same way, the research agrees with Pedroli et al. (2017) by pointing out that traditional skills training methods can become boring and very demanding, which is why he points out as a technological tool a Wii game that improves reading skills in dyslexic children. A very similar project, made by Pinilla (2013), proposes the video game as a tool that

facilitates pedagogical work and treatment, strengthening the linguistic, auditory, visual and spatial areas of the affected people.

In accordance with Santana & Rosato (2018), it was affirmed that it is important understanding of the complexity of the teaching and learning processes in students with school learning problems. De-La-Peña & Brotóns (2018) analysed dyslexia and dyscalculia as the most common and important learning difficulties in educational practice. On the other hand, Castro et al. (2018) exposed the integration of video games as an educational resource that helps improve the cognitive processes of elementary school students with learning problems. Sánchez-Rivas et al. (2017) had as objective to know the perception of the teachers that teach direct teaching to the children of primary education with SEN, where they showed that the teachers who made use of the videogames noticed improvements regarding the classroom work.

Regarding the development and implementation of this proposal, there were some limitations: (i) the development team did not have a professional in graphic or sound design, (ii) the budget of the project was very small, which was not possible acquire a license for the development environment, (iii) the primary education institution did not have a technological space, which is equipped with everything necessary for the use of the video game, since its physical space is very limited, and (iv)) students are not familiar with the use of desktop computers or laptops, so they do not have the skills to handle and manipulate computer peripherals.

5. Conclusions and Future Work

Through the use of the SUM methodology, a videogame could be developed in an organized and effective way that served as an educational tool to train the visual and spatial perception of children with SEN not associated with disability, specifically, with dysidetic dyslexia. With the use of the videogame, motivation could be improved and learning processes facilitated through innovative techniques or methods.

The results of the research confirm that the use of videogames in the educational field is very favorable, since in the visual area (see Figure 4) and in the spatial area (see Figure 5) significant improvements could be seen in the affected children. This is also corroborated by a nonparametric statistical analysis using the Wilcoxon test (see Table 8).

Finally, as future work, more complex exercises or activities must be implemented, which allow the progressive training of the visual and spatial abilities of the children; as well as the integration of a module for diagnosis and monitoring of the affected people. It is also recommended as future work testing the game with a larger population.

References

Audacity Team. (2019). *Audacity*. Obtenido de https://www.audacityteam.org/

Badia, G. A., Cano, O. M., Fernández, V. C. (2013). *Dificultades de aprendizaje de los contenidos curriculares*. Barcelona: Editorial UOC.

Bermosolo, J. (2010). *Psicopedagogía en el aula: Desafío a las barreras en el aprendizaje y la participación*. (Primera ed.). México: Alfaomega.

Boder, E. (1973). Developmental dyslexia: A diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine & Child Neurology, 15*(5), 663–687.

Bouso, F.J. (2013). *El paquete estadístico R*. Madrid: CIS - Centro de Investigaciones Sociológicas.

Bueno, A., Lourdes, M. (2006). *Dislexia y otras dificultades*. Caracas.

Cartuche, E. L. (2015). Desarrollo de un Videojuego para la Enseñanza-Aprendizaje de la Historia de los Sitios Turísticos de la Ciudad de Loja. *Tesis de Grado*. Universidad Nacional de Loja, Loja.

Castro, Á. P., Raposo, M., Martínez, E.M. (2018). Improving attention with videogames? A case study. [¿Mejorar la atención con videojuegos? Un estudio de caso]. *Revista Espanola de Orientacion y Psicopedagogia*, 94–109. doi:10.5944/reop.vol.29.num.3.2018.23323

Del Moral, M. E., Fernández, L. C. (2015). Videojuegos en las aulas: Implicaciones de una innovación disruptiva para desarrollar las Inteligencias Múltiples. *Revista Complutense de Educacion, 26*, 97–118. doi:10.5209/rev_RCED.2015.v26.44763

De-La-Peña, C., Brotóns, E. (2018). Dyslexia and dyscalculia: A current systematic revision from a neurogenetics perspective: Una revisión sistemática actual desde la neurogenética]. *Universitas Psychologica, 17(3)*, 1–11. doi:10.11144/JAVERIANA.UPSY17-3.DDRS

Eclipse. (2008). *SUM para Desarrollo de Videojuegos*. Obtenido de http://www.gemserk.com/sum/

Gaggi, O., Galiazzo, G., Palazzi, C., Facoetti, A., Franceschini, S. (2012). A Serious Game for Predicting the Risk of Developmental Dyslexia in Pre-Readers Children. *2012 21st International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*. doi:10.1109 / ICCCN.2012.6289249

Guevara-Vega, C., Guzmán, E., Guevara-Vega, V., Andrade, A., Quiña-Mera, J.A. (2019). Functional Requirement Management Automation and the Impact on Software Projects: Case Study in Ecuador. Springer professional, Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 918, pp 317-324. doi: https:// 10.1007/978-3-030-11890-7_31

GIMP. (2019). *GIMP: GNU image manipulation program*. Obtenido de https://www.gimp.org/

Hudson, D. (2017). *Dificultades específicas del aprendizaje y otros trastornos*. Madrid, España: Narcea.

IBM SPSS (2018). IBM SPSS Statistics. Obtenido de https://www.ibm.com/analytics/ec/es/technology/spss/

Juma A., Rodríguez, J., Naranjo M., Caraguay J., Quiña A., García-Santillán, I. (2019). Integration and Evaluation of Social Networks in Virtual Learning Environments: A Case Study. Communications in Computer and Information Science. Vol. 895, pp 245–258.Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-05532-5_18

Pedroli, E., Padula, P., Guala, A., Meardi, M. T., Riva, G., Albani, G. (2017). A Psychometric Tool for a Virtual Reality Rehabilitation Approach for Dyslexia. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. doi:10.1155/2017/7048676

Pinilla, K. E. (2013). Videojuego para el tratamiento de la dislexia. *Tesis de Grado*. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.

Prabawa, H. W., Sutarno, H., Kusnendar, J., & Rahmah, F. (2018). Learning basic programming using CLIS through gamification. *Journal of Physics: Conference Series, 1013*(1). doi:10.1088/1742-6596/1013/1/012099

Sánchez-Rivas, L., Coveñas, R. (2013). *Dislexia: Un enfoque multidisciplinar*. ECU.

Sánchez-Rivas, E., Ruiz, J., Sánchez-Rodríguez, J. (2017). Videojuegos frente a fichas impresas en la intervención didáctica con alumnado con necesidades educativas especiales. *Educar, 53*(1), 29–48.

Santana, T., Rosato, M. (2018). The subjective dimension of the complaint of school learning difficulties; Dimensión subjetiva de la queja de dificultades de aprendizaje escolar]. *Psicologia Escolar e Educacional, 22(2)*, 385–394. doi:0.1590/2175-35392018011363

Shamsuddin, S., Selman, M., Ismail, I., Amin, M., & Rawi, N. (2018). A conceptual framework for gamified learning management system for LINUS students. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 12*(3), 1380–1385. doi:10.11591/ijeecs.v12.i3.pp1380-1385

YoyoGames. (2019). *Game Maker Studio*. Obtenido de https://www.yoyogames.com

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

Recebido/Submission: 03/10/2019
Aceitação/Acceptance: 09/12/2019

Constrained Edges on Kinetic Delaunay Triangulation

Simena Dinas[1] and Héctor J. Martínez[2]

simena.dinas00@usc.edu.co, hector.martinez@correounivalle.edu.co

[1] Universidad Santiago de Cali, Calle 5 # 62-00, Cali, Colombia

[2] Universidad del Valle, Calle 13 # 100-00, Cali, Colombia

Pages: 174–186

Abstract: Real world can be described as an interaction of moving objects and obstacles. To address this fact, we consider how to transform a straightforward set of vertices into a simple and enriched structure that includes obstacles. It has been done by representing obstacles with constrained edges. To model motion, Kinetic Data Structure has demonstrated to be suitable and adaptable for different geometrical and logical structures. However, for modeling collision detection has been proposed Kinetic Delaunay Triangulation. First, we proposed a Kinetic Constrained Delaunay Triangulation, which is as Delaunay as possible and represents obstacles by constrained edges and objects by vertices. Second, we contribute with a Kinetic Delaunay Constrained Triangulation model that guarantees both: constrained edges and the Delaunay Triangulation structure. Third, we show experiments for each kinetic model to compare their performance. The purpose of this article is to show and evaluate new models to understand its strengths and weaknesses.

Keywords: Constrained Delaunay Triangulation; Delaunay Constrained Triangulation; Delaunay Triangulation; Kinetic Data Structure; Kinetic Delaunay Triangulation.

1. Introduction

In the physical world, objects interact when they come near to each other; especially in motion. However, there are motionless objects with an unchangeable position; they are obstacles. A geometrical structure can be used to represent the most significant of elements of the real world; it is the Delaunay Triangulation (DT). Thus, DT will be used to model motion and motionless objects as simple as possible. Managing moving objects in an environment with obstacles is the central topic of this approach.

Even though motion objects are highly studied, motionless objects can be used to represent the motionless world, the part of the world that never changes its position. For that, constraints represent obstacles. DT helps to calculate the proximity information, which has been an interesting topic in Computational Geometry to detect collisions.

There are several works focused on small perturbations; they exploit temporal and spatial coherence; in other words, they work on the stability or predictability of the data. For instance, in (Vomácka, 2008a), it was addressed research on DT of moving points, whereas in (Vomácka, 2008b), it was proposed a numerical-analytical method to compute times of topological events required to maintain a DT. Research conducted by Machado Manhães de Castro (2009) showed an efficient way to update DTs when there are small perturbations on vertices. Besides, a study of times for topological events using DT was developed by Vomácka and Kolingerová (2008). They worked on the computation of a highly time-consuming process, which analyzes topological events required to maintain a Kinetic Delaunay Triangulation (KDT) with moving vertices through linear trajectories. Additionally, fast updating of DT of moving vertices by bi-cell filtering was proposed by Zhou et al. (2010), in which they addressed a slight perturbation on data for DT. They used Bi-cell filtering to update the triangulation; its approach takes advantage of the connectivity between vertices, the temporal, and the spatial coherence.

Kinetic Data Structures (KDS) are challenging for motion in collision detection (Weller, 2013); moreover, KDT have been explored to tackle problems related to collision detection because motion objects play a crucial role in simulations. Even though kinetic approaches are computationally more expensive than traditional approaches which model moving objects as unrelated static snapshots over time, they are more complete and more precise than the others. When simulating a complex system of moving objects, it is desirable to maintain both, objects and environment, as a whole. However, proposed approaches ignore static objects; they represent moving and static objects indistinguishable. In this research, we aim to address the problem by defining static objects as obstacles and constraints model obstacles in DTs.

The remainder of this document is organized as follows: Delaunay Triangulation and Constrained Edges are described in Sections 2. Motion Data and Kinetic Delaunay Triangulation with Constrained Edges is detailed in Sections 3 and 4, respectively, whereas, the Computational Experiments and Conclusions are described, respectively, in Sections 5 and 6. The Acknowledgements and Bibliography are shown in the last part of the document.

2. Delaunay Triangulation and Constrained Edges

Given a set of points P, a DT is a net of non-overlapping triangles whose circumcircles do not contain any vertex of other triangle and the set of vertices is P (local-empty circle condition) (Guibas and Russel, 2004). This structure is widely used in computational geometry and extended to other multi-purpose areas. Some applications of DT include Computer Vision (Dinas and Bañón, 2015); Moving Points (Vomácka, 2008b); Networks (Mei et al., 2018); Images (Lawonn and Günther, 2019); Video Compression (Vomácka and Puncman, 2009); Meshing (Pardue and Chernikov, 2019); among others.

Given a set of points P and a set of edges E, a Constrained Delaunay Triangulation (CDT) respects only the Constrained Edges (CE), it means, all the edges belong to the triangulation, and the resulting triangulation is as close as possible to a DT.

Given a set of points P and a set of edges E, a Delaunay Constrained Triangulation (DCT) guarantee both, the CE and the DT, it is possible to convert a CDT into a DCT by inserting artificial vertices inside the triangulation.

3. Motion Data

Motion data is related to the change of the position of each object. Motion can be random; however, we work on a specific trajectory for the objects, which is previously known. Several authors have been working on motion planning (Moll et al., 2014), motion data (Basch et al., 1997) and KDS (Guibas et al., 2004). Several authors have worked on DT of moving vertices, using dynamic and kinetic approaches (Russel, 2007; Vomácka, 2008b).

3.1. Kinetic Data Structure

A KDS is a set of related data used to track a set of attributes that are changing continuously in time. They are suitable to model continuous collision detection since they model and combine the state of geometrical and motion configuration (Basch et al., 1997).

Kinetization transforms an algorithm working with static data into a data structure valid for continuously changing data. A KDS is a structure that uses attributes in the input set, includes a set of proofs that guarantees all attributes stay valid, and has a system that updates the data structure when proofs or the data structure are no longer valid.

A background on KDS and applications was widely studied by (Russel, 2007). A package for exact computation was developed by Russel et al. (2007), which constructed a framework for KDS for Computational Geometry Algorithms Library –CGAL. Nevertheless, on the validation of the framework, they used a KDT.

KDSs were early documented focused on Collision Detection (Basch et al., 1997b). However, an in-depth study was proposed by Guibas et al. (2004). In contrast, the evaluation criteria for KDS: responsiveness, efficiency, compactness and locality were defined in Basch (1999). These criteria can be used to evaluate the goodness of the KDS (Guibas et al., 2004; Basch, 1999).

Based on the circumcircle condition, a KDT takes advantage of the uniqueness of the Delaunay construction for moving vertices (Vomácka, 2010). There are three approaches based on DT to deal with continuous collision detection problem: *i)* discrete-time approach or inserting and deleting approach, *ii)* continuous movement approach, and *iii)* continuous legalization approach (Russel, 2007).

A discrete-time approach updates the triangulation by two operations: insertion and deletion (Vomácka, 2008a). The independence of the trajectory of each point is the main advantage of this technique; however, discrete intervals of time can produce temporal fails in the triangulation. Continuous motion approaches are related to apply motion of the vertices in a triangulation continuously, but it is not important to update the DT when motion produces an invalid structure (Vomácka, 2008a). Continuous legalization approach is related to KDS. They are based on track a set or attributes by using certificate functions that indicates if the structure remains valid, otherwise, an event is produced

and the structure has to be repaired. Certificate functions are widely explained in Guibas (2004). For details of Kinetic Data Structures see Vomácka (2008a); Basch et al. (1997b); Guibas (2004)

3.2. Certificate Functions in Kinetic Delaunay Triangulation

A DT is a Data Structure. In order to make this structure Kinetic, four certificate functions are useful: *i)* inCircle is used to guarantee the data validity for each triangle (Basch et al., 1997b), *ii)* verticesCollision is used to guarantee the data validity for all vertices connected by an edge, *iii)* convexHullEdge is uses to guarantee the validity of the edges the Convex Hull, and *iv)* convexHullVertex is used to guarantee the validity of the vertices the Convex Hull. Following, an extended explanation of inCircle and verticesCollision certificate functions:

1. For each pair of adjacent triangles in a DT, it is required an inCircle certificate function, which is based on the local empty-circle condition.
2. For each edge in a DT, it is required a verticesCollision certificate function, which uses the distance between two points to verify if two vertices have or not the same coordinate.

4. Kinetic Delaunay Triangulations with Constrained Edges

The work developed by Karavelas and Guibas (2001) is based on Kinetic Constrained Delaunay Triangulation (KCDT) and is an approach to model CE in KDT; nevertheless, they work mainly on the comparison of CDT and Spanners. Rather than providing a new structure for kinetic approaches, they explained the similarities between both to take advantage of spanners to model CDT. Additionally, the authors show the way to maintain the structure in kinetic approaches focused on the nearest neighbor, which is an inherent feature for DT. In Bose et al. (2015), it was proved that a CDT is a spanner graph for generalized Constrained Delaunay. Karavelas and Guibas (2001) proved that a Constrained Delaunay graph is a Spanner graph and a mathematical demonstration of Kinetic Spanner graphs was developed. In contrast, Gold and Dakowicz (2007) developed a KCDT approach based on urban building and street boundaries as obstacles; however, this approach was closer to Voronoi Diagrams rather than DT. Finally, in Al-Jubeh et al. (2013), it was worked on the connectivity of CE or planar graphs.

Gold and Dakowicz (2007) proposed KCDT: a tool to move and draw points using an edit operation where users make the point motion. Thus, they model motion in CDT by using discrete approaches based on point motion rather than KDS.

The KCDT model uses CDT as a Data Structure to produce a Kinetic model. Thus, the input, rather than only vertices and their motion functions, involves constrained edges. The Kinetic Delaunay Constrained Triangulation (KDCT) model uses DCT as a Data Structure to produce a Kinetic model. Thus, the input, rather than only vertices and their motion functions, involves artificial vertices. Both motels were proposed by Dinas (2016).

DT environments are computationally expensive, whereas a CDT can exhibit degenerate cases in which the solution deals with NP-Problems (Grislain and Shewchuk, 2003). Several authors worked on accelerating the Delaunay construction by using graphic

hardware implementations and parallel approaches. For instance, GPU implementations of DT and CDT were introduced in Chen et al. (2017) and, Coll and Guerrieri, (2017) and Chen and Tan (2019), respectively. A parallel implementation of DT with MPI (Message Passing Interface) was proposed in Nguyen and Rhodes (2018), whereas Funke et al., (2019) presented a Parallel Delaunay Triangulation approach based on a Divide and Conquer technique. Finally, new researches on DT are focused on optimal and curved approaches (Feng et al., 2018) and image matching based on photogrametry (Jiang and Jiang, 2019).

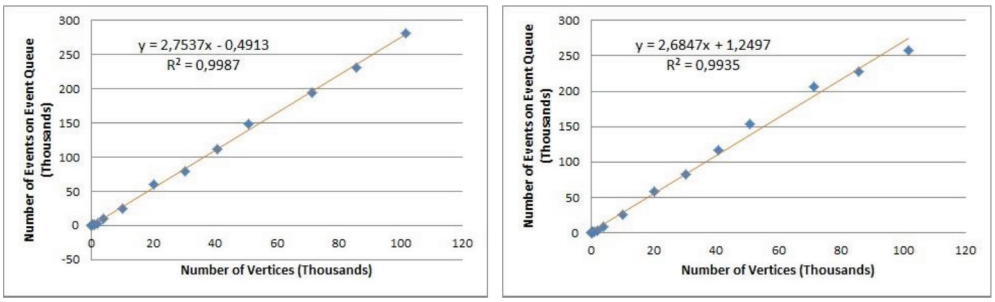
5. Computational Experiments

The KCDT and the KDCT experiments are focused on analyzing the performance of the algorithms for the events management. For more details, see Dinas (2016).

The experiment for both triangulations includes the following steps: *i)* it was created 15 different sets with a number of vertices between 100 and 100.000. For that, the polynomial coefficients for the motion functions for each vertex were randomly determined. *ii)* It was created a set of 40 CE by 53 additional vertices. *iii)* For each set of vertices, it was created the KCDT and the KDCT. *iv)* For each triangulation, it was computed the number of certificate functions at time t = 0, then it was calculated the number of events in the Event Queue and the average time of events in the Event Queue. *v)* For each kind of event, it was computed the number of events repaired during the first 100 events. Finally, *vi)* it was calculated the average quantity of flip and moving operations required to repair the event.

5.1. Results

On the following figures, the number of moving vertices of each set of vertices is on the horizontal axis, the points represent the result of each experiment, and the straight line that appears in the figure is the tendency line for these points. The slope of the line equation and R^2 indicate the linearity level of the points.

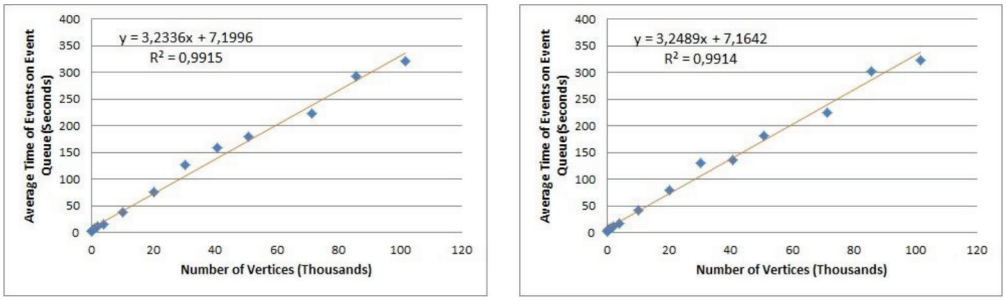


(a) CDT (b) DCT

Figure 1 – Quantity of Enqueued Events

The relationship between the number of enqueued events of both triangulations and the number of moving vertices is practically linear (R2 equals to 0.999 and 0.994,

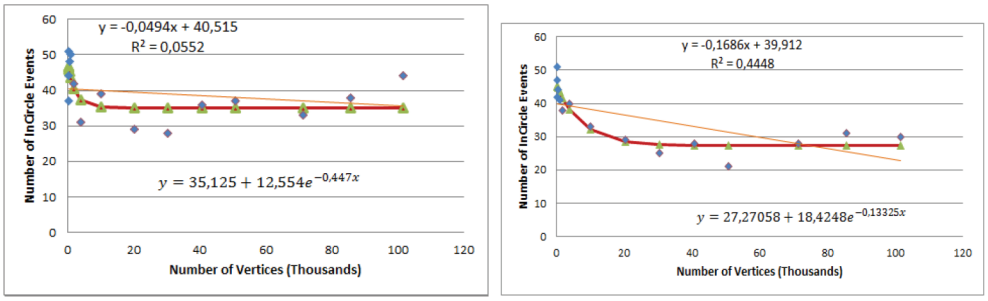
respectively). Moreover, for each thousand of vertices, the quantity of enqueued events increases in almost 2.750 and 2.685, respectively (Figure 1).



(a) CDT (b) DCT

Figure 2 – Time for Enqueuing Events

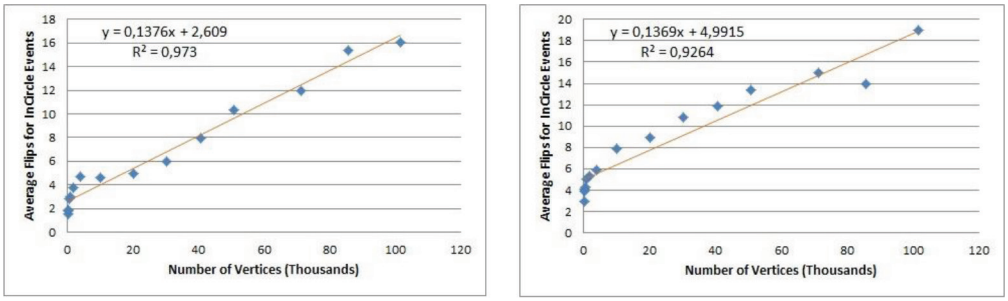
The relationship between the time for enqueuing events of both triangulations and the number of moving vertices is practically linear (R2 equals to 0.992 and 0.991, respectively). Moreover, for each thousand of vertices, the time required for enqueuing events increases in almost 3.23, and 3.25 seconds, respectively (Figure 2).



(a) CDT (b) DCT

Figure 3 – Number of inCircle events

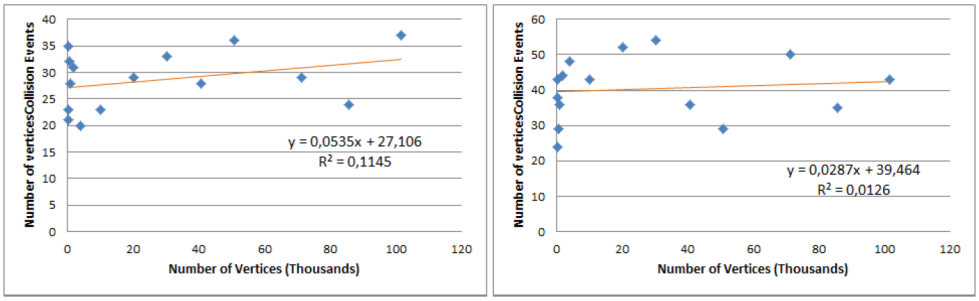
According to Figure 3, there is no linear relationship between the number of inCircle events and the number of vertices for the triangulations. The curve that appears in figure 3(a) is the nonlinear least squared curve fitting for these points. It has a limit of almost 35.125, which is the number of virtual vertices when the number of vertices is big; this limit is reached with a rate of 0.447 and a curvature of -12.554. Similarly, the curve that appears in figure 3(b) is the nonlinear least squared curve fitting for these points. It has a limit of almost 27.271, which is the number of virtual vertices when the number of vertices is big; this limit is reached with a rate of 0.133 and a curvature of -18.425.



(a) CDT (b) DCT

Figure 4 – Number of Flips in inCircle Events

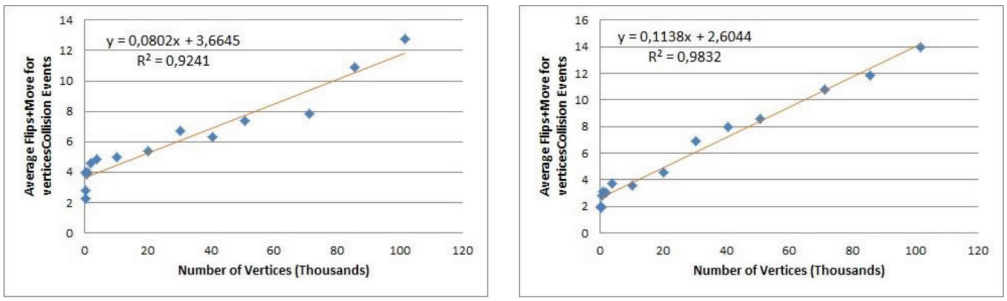
The relationship between the number of flips in inCircle events of both triangulations and the number of moving vertices tends to be linear (R^2 equals to 0.973 and 0.926, respectively). Moreover, for each thousand of vertices, the number of flips in inCircle events increases in almost 0.138, and 0.137, respectively (Figure 4).



(a) CDT (b) DCT

Figure 5 – Number of verticesCollision events

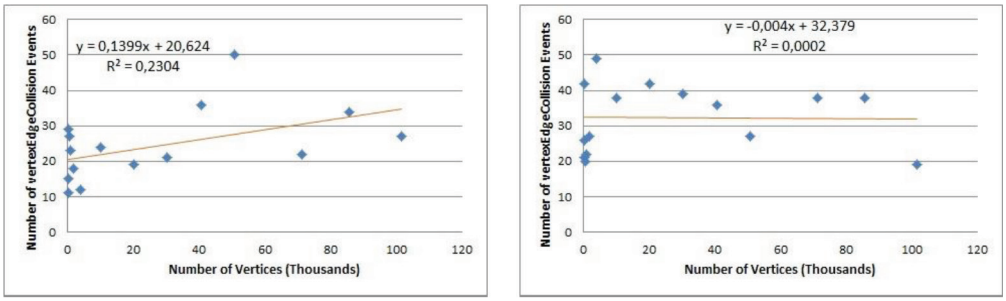
According to Figure 5, there is no linear relationship between the average number of verticesCollision events and the number of vertices for any of the triangulations.



(a) CDT (b) DCT

Figure 6 – Number of Flips + Moves in verticesCollision Events

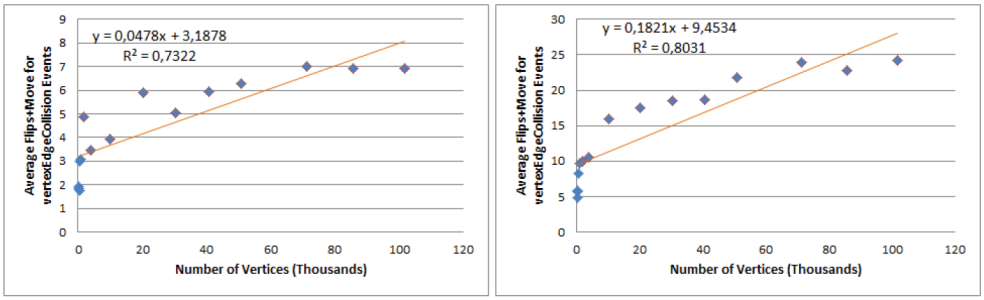
The relationship between the average number of flips and moves used to repair the verticesCollision events of both triangulations and the number of moving vertices tends to be linear (R^2 equals to 0.924 and 0.983, respectively). Moreover, for each thousand of vertices, the average number of flips and moves used to repair the verticesCollision events increases in almost 0.08, and 0.11, respectively (Figure 6).



(a) CDT (b) DCT

Figure 7 – Number of vertexEdgeCollision events

According to Figure 7, there is no linear relationship between the quantity of vertexEdgeCollision events and the number of vertices for the triangulations.



(a) CDT (b) DCT

Figure 8 – Number of Flips + Moves in vertexEdgeCollision Events

The relationship between the average number of flips and moves used to repair the vertexEdgeCollision events of both triangulations and the number of moving vertices tends to be linear (R^2 equals to 0.732 and 0.803, respectively). Moreover, for each thousand of vertices, the average number of flips and moves used to repair the vertexEdgeCollision events increases in almost 0.048, and 0.182, respectively (Figure 8).

5.2. Technical Features

In order to guarantee repeatability and reproducibility of the experiments, the experiments were done in a laptop with the following features of hardware. Intel(R) Core(TM) i5-2410M CPU 2.30GHz (Dual Core). Model: Dell System Inspiron N411Z.

RAM: 6GB. HardDisk: 679GB. Besides, the operative system, software, and packages used were Linux Ubuntu version 12.04 (64 bits), the Computational Geometry Algorithms Library (CGAL) Version 4.3, and DT, CDT, KDS, and Kinetic Framework.

5.3. Discussion

In general, the linear tendency of both triangulations is similar, as it is shown in the following summary table. The number of events enqueued, the time for enqueuing the events are practically linear with the number of vertices for both triangulations (Figures 1 and 2).

The results show that the number of inCircle events has not a linear tendency with the number of vertices (Figures 3). However, they have a nonlinear least squared curve fitting, which means that the tendency of the data fits a curve. In contrast, the flips required repairing the inCircle events have a linear tendency with the number of vertices (Figure 4). Similarly, the number of verticesCollision events has not a linear tendency with the number of vertices (Figure 5), whereas the flips and moves operations required to repair the verticesCollision events have a linear tendency with the number of vertices (Figures 6). Analogously, the number of vertexEdgeCollision events has not a linear tendency with the number of vertices (Figure 7), whereas the flips ad moves operations required to repair the vertexEdgeCollision events has not a linear tendency with the number of vertices (Figure 8).

Figure	**R2**		**Slope**	
	CDT	**DCT**	**CDT**	**DCT**
Quantity of Enqueued Events	0.999	0.994	2.754	2.685
Time for Enqueuing Events	0.992	0.991	3.234	3.249
Number of inCircle Events	0.055	0.445	------	------
Number of Flips in inCircle Events	0.973	0.926	0.138	0.137
Number of verticesCollision Events	0.115	0.013	------	------
Number of Flips + Moves in verticesCollision Events	0.924	0.983	0.08	0.114
Number of vertexEdgeCollision Events	0.23	0.0002	------	------
Number of Flips + Moves in vertexEdgeCollision Events	0.732	0.803	0.048	0.182

Table 1 – Results of the Experiments

According to Table 1, the R^2 for the quantity of enqueued events and the time for enqueuing events are almost equal for both Triangulations. Those values are calculated by the quantity of enqueued events in time t=0. In contrast, the following values are calculated by the amount of specific events that has used to repair the first 100 events on the Event Queue. The reparation of each event can produce new events. The R^2 for the number of flips in inCircle events shows a better linearity tendency for CDT than for DCT. In contrast, the R2 for the amount of flips and moves in verticesCollision events shows a better linearity for DCT than for CDT. Even though there is no a linear tendency in the other variables with the number of vertices, for the number of inCircle events and the number of verticesCollision events, this is better for DCT. Similarly, for the number of vertexEdgeCollision events this is better for CDT.

The slope for the quantity of enqueued event, the time for enqueuing the events and the number of flips in inCircle events are almost equal for both triangulations; however the slope for the number of flips and moves in verticesCollision, and vertexEdgeCollision events, for CDT is almost 50% and 75% lower than the slope for DCT, respectively.

The quantity of enqueued events for CDT has the R2 and slope slightly upper than the R^2 and slope for DCT, respectively. That means that even though the number of moving points in both triangulations are equal, the CDT produces a slightly higher quantity of enqueued events. In contrast, the time for enqueuing the events is slightly lower for CDT than for DCT.

Finally, neither the number of inCircle nor the number of verticesCollision nor the number of vertexEdgeCollision events have a linear tendency with the number of vertices. However, there are a nonlinear correlation between the number of verticesCollision and the number of vertices, which can be seen in figure 4. The curve fitting for the figures 3(a) reaches the asymptotic value faster than the figure 3(b) because of its rate is the highest (0.447). In contrast, the number of verticesCollision events and vertexEdgeCollision events do not fit with the nonlinear least squared curve fitting.

In contrast, the number of flips in inCircle and the number of flips and moves in verticesCollision and vertexEdgeCollision have a linear tendency. Summarizing, CDT produces a higher number of enqueued events and its time for enqueuing the events is slightly lower than DCT. For that, CDT is slightly better than DCT because, even though its slightly higher quantity of data, the processing time is slightly lower.

6. Conclusions

Due to CDT is not a DT, the management involves additional work to maintain the structure valid. Then, a DCT model was constructed to take advantage of the DT structure including CE but including new vertices.

KCDT is a KDT method including CEs. Thus, CEs were used into the model to represent obstacles in the real world. As a result, a DT with CEs that does not have the Delaunay structure, but it has a structure as close as possible to a DT.

KDCT is a KDT supporting CEs and including new vertices. KDCT guarantees both: the inclusion of CEs and guarantees the Delaunay structure. Nevertheless, it is impossible to guarantee both features without changes; thus, new vertices were included into the triangulation. New vertices were managed as artificial vertices since they were not part of the original set of vertices. Lastly, new vertices change constantly because of motion.

A set of experiments for KCDT, and KDCT was developed to measure the time for enqueuing the events, the number of events, the number of operations, among others. The comparison between KCDT, and KDCT show that in the most of the cases, the KCDT have a slightly upper linear tendency than KDCT. Except for the Number of Flips + Moves in verticesCollision Events and Number of Flips + Moves in verticesCollision Events, which does not have a linear tendency.

The number inCircle verticesCollision and verticesEdgeCollision events show a tendency that is not linear. However, the number inCircle Events fit a nonlinear least squered

curve. In contrast, the others have an almost randomly behavior; thus the tendency is not clear to adjust a curve.

A reason which the KCDT is slightly better than KDCT could be related to the artificial points. Thus the cost of creates and updates the position of the artificial points in a kinetic environment need to be reviewed.

Acknowledgements

This research was supported by the Programa de Apoyo a Doctorados Nacionales de Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación -Colciencias). This article is part of the Ph.D. thesis called "*A Kinetic Constrained Delaunay Triangulation Approach for Modeling Obstacles*" and developed at Universidad del Valle.

References

Al-Jubeh, M., Barequet, G., Ishaque, M., Souvaine, D. L., Tóth, C. D., and Winslow, A. (2013). Constrained tri-connected planar straight line graphs. In Pach, J., editor, Thirty Essays on Geometric Graph Theory, 49–70. Springer New York. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-0110-0_5.

Basch, J. (1999). Kinetic Data Structures. PhD thesis, Stanford University, Stanford, CA, USA.

Basch, J., Guibas, L. J., and Hershberger, J. (1997a). Data structures for mobile data. In SODA, 747–756.

Basch, J., Guibas, L. J., Silverstein, C. D., and Zhang, L. (1997b). A practical evaluation of kinetic data structures. In Proceedings of the thirteenth annual symposium on Computational geometry, SCG '97, 388–390, New York, NY, USA. ACM. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/262839.263016.

Bose, P., De Carufel, J.-L., and van Renssen, A. (2015). Constrained generalized delaunay graphs are plane spanners. In Proceedings of the 31st European Workshop on Computational Geometry (EuroCG).

Chen, Z., and Tan, T.-S. (2019). Computing Three-dimensional Constrained Delaunay Refinement Using the GPU. CoRR, abs/1903.03406.

Chen, Z., Qi, M., and Tan, T.-S. (2017). Computing delaunay refinement using the GPU. In Proceedings of the 21st ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D '17), Stephen N. Spencer (Ed.). ACM, New York, NY, USA, Article 11, 9 pages. DOI: https://doi.org/10.1145/3023368.3023373

Coll, N., and Guerrieri, M. (2017). Parallel constrained Delaunay triangulation on the GPU, International Journal of Geographical Information Science, 31(7), 1467–1484, DOI: https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1300804

Dinas, S. (2016). A Kinetic-Constrained Delaunay Triangulation Approach for Modeling Obstacles. PhD Thesis, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Dinas, S. and Bañón, J. M. (2014). A Review on Delaunay Triangulation with Applications on Computer Vision. IJCSE – International Journal of Computer Science and Engineering, 3(2):9–18.

Feng, L., Alliez, P., Busé, L., Delingette,H., and Desbrun, M. (2018). Curved optimal delaunay triangulation. ACM Trans. Graph.37(4), Article 61, 16 pages. DOI: https://doi.org/10.1145/3197517.3201358

Funke D., Sanders P., Winkler V. (2019) Load-Balancing for Parallel Delaunay Triangulations. In: Yahyapour R. (eds) Euro-Par 2019: Parallel Processing. Euro-Par 2019. Lecture Notes in Computer Science, 11725. Springer, Cham

Gold, C. M. and Dakowicz, M. (2007). Dynamic cartography using voronoi / delaunay methods. In Proceedings of 5th ISPRSWorkshop on Updating Geospatial Databases with Imagery on DMGISs, 41–47.

Grislain, N. and Shewchuk, J. R. (2003). The strange complexity of constrained delaunay triangulation. In Proceedings of the Fifteenth Canadian Conference on Computational Geometry, 89–93.

Guibas, L. J. (2004). Kinetic data structures. In Handbook of Data Structures and Applications. CRC Press.

Guibas, L. J., Karavelas, M. I., and Russel, D. (2004). A computational framework for handling motion. In Proceedings of the Sixth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments, 129–141.

Guibas, L. J. and Russel, D. (2004). An empirical comparison of techniques for updating delaunay triangulations. In Proceedings of the twentieth annual symposium on Computational geometry, SCG '04, 170–179, New York, NY, USA. ACM. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/997817.997846.

Jiang, S. and Jiang, W. (2019). Reliable image matching via photometric and geometric constraints structured by Delaunay triangulation. In ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 153, 1-20 DOI: https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.006.

Karavelas, M. I. and Guibas, L. J. (2001). Static and kinetic geometric spanners with applications. In Proceedings of the twelfth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, SODA '01, 168–176, Philadelphia, PA, USA. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Khanimov, M. and Sharir, M. (2015). Delaunay triangulations of degenerate point sets. CoRR, abs/1510.04608.

Lawonn, K., & Günther, T. (2019). Stylized Image Triangulation. Comput. Graph. Forum, 38, 221–234.

Machado Manhães de Castro, P., Tournois, J., Alliez, P., and Devillers, O. (2009). Filtering relocations on a delaunay triangulation. In Proceedings of the Symposium on Geometry Processing, SGP '09, 1465–1474, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland. Eurographics Association. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01523.x.

Mei, G. Xu, N. and Cuomo, S. (2018) Degree Distribution of Delaunay Triangulations. https://arxiv.org/pdf/1805.08063.pdf

Moll, M., Sucan, I. A., and Kavraki, L. E. (2014). An extensible benchmarking infrastructure for motion planning algorithms. CoRR, abs/1412.6673.

Nguyen, C. and Rhodes, P. J. (2018). TIPP: parallel Delaunay triangulation for large-scale datasets. In Proceedings of the 30th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM '18). ACM, New York, NY, USA, Article 8, 12 pages. DOI: https://doi.org/10.1145/3221269.3223034

Pardue, J. and Chernikov, A. (2019). Algorithm 995: An Efficient Parallel Anisotropic Delaunay Mesh Generator for Two-Dimensional Finite Element Analysis. In ACM Trans. Math. Softw. 45(3):1-30 DOI: https://doi.org/10.1145/3301321

Russel, D. (2007). Kinetic data structures in practice. PhD thesis, Stanford University, Stanford, CA, USA.

Russel, D., Karavelas, M. I., and Guibas, L. J. (2007). A package for exact kinetic data structures and sweepline algorithms. Comput. Geom. Theory Appl., 38:111–127. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.comgeo.2006.11.006.

Vomácka, T. (2008a). Delaunay triangulation of moving points. In CESCG 2008, pages 67–74, Vienna. Vienna University of Technology.

Vomácka, T. (2008b). Delaunay Triangulation of Moving Points in the Plane. PhD thesis, University of West Bohemia, Pilsen, Czech Republic.

Vomácka, T. (2010). Construction of geometric models for moving points - the state of the art and concept of ph.d. Thesis. Technical report, University ofWest Bohemia in Pilsen, Univerzitni 8, 30614 Pilsen, Czech Republic.

Vomácka, T. and Kolingerová, I. (2008). Computation of topologic events in kinetic delaunay triangulation using sturm sequences of polynomials. In SIGRAD 2008, 57–64, Linköping. University Electronic Press.

Vomácka, T. and Puncman, P. (2009). A novel video compression scheme based on kinetic delaunay triangulation. In Algoritmy 2009: 18th Conference on Scientific Computing, 372–381, Bratislava. Slovak University of Technology.

Weller, R. (2013b). Kinetic data structures for collision detection. In New Geometric Data Structures for Collision Detection and Haptics, Springer Series on Touch and Haptic Systems, 49–89. Springer International Publishing. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-01020-5_3.

Zhou, Y., Sun, F., Wang, W., Wang, J., and Zhang, C. (2010). Fast updating of delaunay triangulation of moving points by bi-cell filtering. Computer Graphics Forum, 29(7), 2233–2242. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8659.2010.01812.x.

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

Recebido/Submission: 18/03/2019
Aceitação/Acceptance: 11/06/2019

Evaluación en Sistemas de Aprendizaje Móvil: una revisión de la literatura

Jorge Muñoz[1], Carolina González[2].

jorgevelasco@unicauca.edu.co, cgonzals@unicauca.edu.co

[1] Universidad del Cauca, Calle 5 # 4-70, 190001, Popayán, Colombia.

[2] Universidad del Cauca, Calle 5 # 4-70, 190001, Popayán, Colombia.

Pages: 187–199

Resumen: La evaluación cobra gran importancia en los sistemas mediados con tecnología, especialmente en Sistemas de Aprendizaje Móvil que utilizan información del contexto. Este documento presenta un análisis de los trabajos que incorporan evaluación y de los elementos en común alrededor de contexto sensible, técnicas de realimentación y componentes de modelado. Los resultados muestran que las entidades del contexto más relevantes son tiempo, ubicación, dispositivo, físico y estudiante. La técnica de razonamiento más utilizada es Fuzzy. Los componentes en común corresponden a entrega de contenido, perfil del estudiante, adquisición del contexto, banco de preguntas, evaluación adaptativa, módulo de razonamiento y módulo de realimentación.

Palabras-clave: Revisión Sistemática; Aprendizaje Móvil; Sensibilidad al Contexto; Evaluación; Realimentación.

Assessment in Mobile Learning System: A literature review

Abstract: The evaluation becomes very important in systems mediated with technology, especially in Mobile Learning Systems that use context information. This document presents an analysis of the works that incorporate evaluation and the elements in common around context-aware, feedback techniques and modeling components. The results show that the most relevant context entities are time, location, device, physical and student. The most used reasoning technique is fuzzy. The components in common correspond to content delivery, student profile, context acquisition, a question bank, adaptive evaluation, reasoning module and feedback module.

Keywords*: Systematic Review;* Mobile Learning; Context-Aware; Assessment; Feedback.

1. Introducción

Las tecnologías móviles están configurando un nuevo paradigma económico, social, cultural y educativo que obliga al desarrollo de individuos capaces de adaptarse a

situaciones de constante cambio (Unesco, 2013). Así, el uso de computadores portátiles, celulares inteligentes, tabletas, asistentes digitales personales, entre otros, están cambiando la forma cómo entendemos la comunicación y los procesos educativos en el aula, con el fin de dar soporte a nivel adaptativo, colaborativo, investigativo y productivo en las actividades de aprendizaje (Ozdamli & Cavus, 2011).

En este sentido, los Sistemas de Aprendizaje Móvil que detectan los cambios de ubicación y las características del mundo real (Schilit, Adams, & Want, 2008), se denominan Sistemas de Aprendizaje Móvil Sensibles al Contexto, los cuales están usando la información del contexto[1] para adaptar y/o personalizar materiales, rutas de aprendizaje y actividades educativas de acuerdo a las preferencias y necesidades de los estudiantes (Louhab, Bahnasse, & Talea, 2018b). Sin embargo, el uso de la información del contexto en procesos de evaluación aún requiere especial atención con fines de soporte en tiempo real y entrega de realimentación (Chu, Chen, Hwang, & Chen, 2017; Nikou & Economides, 2017).

Es por ello que la información del contexto es un elemento clave y esencial, ya que permite proveer y dar soporte a estudiantes y profesores con fines de seguimiento y mejora del proceso educativo, especialmente en procesos de evaluación (Banno & Yang, 2016; Louhab et al., 2018b). De acuerdo con esto, la evaluación formativa es incorporada como estrategia de realimentación, ya que permite a los estudiantes alcanzar y mejorar las metas establecidas (Hattie, 1999; Kulasegaram & Rangachari, 2018). Sin embargo, la incorporación de elementos de evaluación en sistemas móviles sigue siendo crítica (Madhubala & Akila, 2017). Por lo tanto, la presente revisión analiza los trabajos que están incorporando procesos de evaluación e identifica los elementos en común alrededor de entidades del contexto, técnicas de razonamiento y componentes de modelado, con el fin de dar soporte a mecanismos de evaluación efectivos en Sistemas de Aprendizaje Móvil (Lopes, Carvalho De Oliveira, & Vaccare Braga, 2017).

Finalmente, este artículo se ordena de la siguiente forma: En la sección 2, se describe la metodología utilizada para la revisión de la literatura. En la sección 3, se presentan los resultados de las temáticas a investigar y se analizan los elementos encontrados. Por último, en la sección 4, se concluye acerca de las preguntas de investigación y conclusiones finales.

2. Metodología

El presente estudio, establece como procedimiento guía para realizar la revisión de la literatura los pasos definidos por (Kitchenham, 2007). El objetivo de esta revisión, es proveer una visión global del conocimiento sobre Evaluación en Sistemas de Aprendizaje Móvil y la importancia de la información del contexto en este tipo de sistemas. Las pautas definidas para el protocolo de revisión corresponden a: i) preguntas de investigación, ii) fuente de datos y estrategia de búsqueda, iii) criterios de inclusión y exclusión, y iv) ejecución de la cadena de búsqueda.

[1] *"El contexto es cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que es considerado relevante para la interacción entre el usuario y una aplicación"* (Dey, 2001).

2.1. Preguntas de investigación

La revisión establece como referencias las investigaciones realizadas por (Kalaivani & Sivakumar, 2017; Madhubala & Akila, 2017; Nyland, 2017), quienes revisan trabajos relacionados con Contexto Sensible, Aprendizaje Móvil Adaptativo y Técnicas de Evaluación Formativa entre 2006 y 2014. Lo anterior, se establece para dar solidez a la presente investigación con el fin de identificar los elementos de evaluación en común en los Sistemas de Aprendizaje Móvil. El estudio fue guiado por la siguiente pregunta general de investigación.

¿Cuál es el estado actual del conocimiento sobre Evaluación en Sistemas de Aprendizaje Móvil?

Las preguntas de investigación (ver tabla 1) permiten identificar los trabajos que han incorporado mecanismos de evaluación y considerado uso de información contextual. De igual forma, las preguntas permiten identificar las técnicas más utilizadas para medir el nivel de conocimiento y el nivel de rendimiento de los estudiantes, así como también, permiten describir y analizar los componentes[2] de modelado en común de los diferentes estudios que consideran procesos de evaluación.

2.2. Fuente de datos y estrategia de búsqueda

Los motores de búsqueda representan la principal fuente de publicaciones en el área de investigación, entre ellos: Scopus, Science Direct, IEEE Xplore y ACM Digital Library. La cadena de búsqueda corresponde a los términos más relevantes y cercanos a los estudios que se pretenden investigar: *(Evaluation OR Assessment Formative OR Feedback) AND (Model OR System) AND (Mobile Learning OR m-learning) AND (Context-Aware OR Context awareness).*

No. Pregunta	Pregunta de investigación
PI1	¿Cuáles son las investigaciones desarrolladas alrededor de Sistemas de Aprendizaje Móvil sensibles al contexto?
PI2	¿Cuáles son los Sistemas de Aprendizaje Móvil sensibles al contexto que consideran procesos de evaluación?
PI3	¿Cuáles entidades del contexto son utilizadas en los sistemas encontrados que incluyen evaluación?
PI4	¿Cuáles son las técnicas de razonamiento consideradas con fines de realimentación en los sistemas que incluyen evaluación?
PI5	¿Cuáles son los componentes de modelado en los sistemas que incluyen evaluación?

Tabla 1 – Preguntas de investigación.

2.3. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión se establecen con base en la cadena de búsqueda, publicaciones académicas y profesionales indexadas realizadas en conferencias, revistas y libros, artículos en inglés publicados entre 2014-2018 y estudios que incorporen mecanismos

[2] "*Un componente es simplemente una cápsula de datos. De este modo, la ocultación de la información se convierte en el principio básico de construcción"* (Broy et al., 1998).

de evaluación y uso de información contextual. Los criterios de exclusión, se restringen a los artículos que no se relacionan con Sistemas de Aprendizaje Móvil, además de investigaciones en evaluación no propias del proceso de enseñanza-aprendizaje, artículos que solo presentan resumen o contenido en diapositivas, contenido de páginas web, blogs personales o folletos y sistemas de aprendizaje en ámbitos no móviles.

2.4. Ejecución cadena de búsqueda

La ejecución de la cadena de búsqueda permitió encontrar los siguientes artículos por motor de indexación: Scopus (48 artículos), Science Direct (14 artículos), IEEExplore (73 artículos) y ACM Digital Library (4 artículos) para un total de 139 artículos primarios. Cabe resaltar que después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión sobre los artículos encontrados, se seleccionaron 52 investigaciones con base en la revisión de títulos, resumen y palabras claves. Finalmente, solo 22 investigaciones fueron leídas a texto completo debido a su aporte y relación con la temática de estudio, priorizando revisiones de la literatura, modelos, arquitecturas y estudios de caso que permitan conceptualizar acerca de los mecanismos de evaluación y el uso de la información contextual.

3. Resultados

3.1. Descripción de los resultados

Los países con mayor actividad investigativa son Morocco, Tunisia y Taiwam, siendo los investigadores de este último país, donde más se profundiza en el campo de la evaluación. En la tabla 2, se presentan los artículos primarios relacionados a la pregunta PI1, de los cuales, solo 11 estudios hacen referencia a evaluación (PI2).

Autor(es)	Título	País	Evaluación
(Moebert, Zender, & Lucke, 2016)	A Generalized Approach for Context-Aware Adaptation in Mobile E-Learning Settings	Alemania	No
(Luo, Yang, & Wei, 2017)	Research on Adaptive Mobile Collaborative Learning System	China	Si
(Curum, Gumbheer, Khedo, & Cunairun, 2017)	A Content-Adaptation System for Personalized M-Learning	Mauritius	No
(Baccari & Neji, 2016)	Design for a context-aware and collaborative mobile learning system	Tunisia	No
(Akharraz, El Mezouary, & Mahani, 2018)	To context-aware learner modeling based on ontology	Morocco	No
(Lopes et al., 2017)	Context-Aware Ubiquitous Learning	Brasil	No
(Curum, Chellapermal, & Khedo, 2017)	A Context-Aware Mobile Learning System Using Dynamic Content-Adaptation for Personalized Learning	Mauritius	No
(Huang, Yin, & Liu, 2017)	Research on Individualized Learner Model Based on Context-awareness	China	No

Autor(es)	Título	País	Evaluación
(El Guabassi, Bousalem, Al Achhab, Jellouli, & El Mohajir, 2018)	Personalized adaptive content system for context-aware ubiquitous learning.	Morocco	No
(Tortorella, Kinshuk, & Chen, 2018)	Framework for designing context-aware learning systems	Finlandia	No
(Faber & Visscher, 2018)	The effects of a digital formative assessment tool on spelling achievement: results of a randomized experiment.	Los Países Bajos	Si
(Louhab, Bahnasse, & Talea, 2018a)	Considering mobile device constrains and context-awareness in adaptive mobile learning for flipped	Morocco	No
(Chu et al., 2017)	Effects of formative assessment in an augmented reality approach to conducting ubiquitous learning activities for architecture courses.	Taiwam	Si
(Chou, Lai, Chao, Lan, & Chen, 2015)	Negotiation based adaptive learning sequences: Combining adaptivity and adaptability	Taiwam	Si
(Mutahi, Bent, Kinai, Weldemariam, & Sengupta, 2015)	Capturing Learner's Activity Events from a Mobile Learning System using Adaptive Event Framework	Kenia	No
(Harchay, Cheniti-Belcadhi, & Braham, 2014)	A Context-Aware Framework to Provide Personalized Mobile Assessment	Tunisia	Si
(Nikou & Economides, 2017)	Mobile-based Assessment: Towards a Motivational Framework	Grecia	Si
(Louhab et al., 2018b)	Towards an Adaptive Formative Assessment in Context-Aware Mobile Learning	Morocco	Si
(Banno & Yang, 2016)	Improving Educational Assessment in Mobile Environment	Reino Unido	Si
(Khalifa, Souilem, & Neji, 2018)	An Evaluation system of students (applied in primary school in Tunisia)	Tunisia	Si
(Wirawan & Mahendra, 2017)	New Concept of Learning Outcomes Assessment in Adaptive Mobile Learning	Indonesia	Si
(Chiu & Huang, 2015)	The effectiveness of a meaningful learning-based evaluation model for context-aware mobile learning	Taiwan	Si

Tabla 2 – Estudios primarios seleccionados.

La información del contexto está siendo utilizada para soportar presentación, entrega y creación de materiales educativos. En la tabla 3, se clasifican solo los estudios que consideran evaluación y se detalla las entidades del contexto utilizadas por cada estudio de investigación, dando así respuesta a la pregunta PI3.

En la tabla 4, se presentan las técnicas de razonamiento (pregunta PI4) utilizadas en los estudios previos de la tabla 3, incluyendo el objetivo de medición de la técnica. El estudio de (Nikou & Economides, 2017) no reporta uso de técnica.

Autor(es)	Tiempo	Ubicación	Dispositivo	Estudiante	Físico
(Luo et al., 2017)	X	X	X	-	X
(Faber & Visscher, 2018)	-	-	-	-	-
(Chu et al., 2017)	-	-	-	-	-
(Chou et al., 2015)	-	-	-	-	-
(Harchay et al., 2014)	X	X	X	X	-
(Nikou & Economides, 2017)	-	X	-	-	-
(Louhab et al., 2018b)	X	X	X	X	-
(Banno & Yang, 2016)	-	X	X	X	X
(Khalifa et al., 2018)	X	X	X	X	-
(Wirawan & Mahendra, 2017)	-	-	-	-	-
(Chiu & Huang, 2015)	-	-	-	-	-

Tabla 3 – Entidades del contexto.

Autor(es)	Técnica de razonamiento	Objetivo de medición
(Luo et al., 2017)	-	Nivel de conocimiento
(Faber & Visscher, 2018)	Modelo teórico ítem-respuesta	Nivel de rendimiento
(Chu et al., 2017)	Web-based Assessment and Test Analyses (WATA) system	Nivel de conocimiento
(Chou et al., 2015)	Reglas Fuzzy	Nivel de rendimiento
(Harchay et al., 2014)	Algoritmo de Recuperación de Recursos de Evaluación Personalizado	Adquisición de contexto
(Nikou & Economides, 2017)	-	-
(Louhab et al., 2018b)	Reglas de adaptación basado en Pruebas Adaptativas Computarizadas CAT	Nivel de conocimiento y rendimiento
(Banno & Yang, 2016)	Extensión de algoritmo basado en el Modelo de Análisis del Factor de Rendimiento	Nivel de conocimiento y rendimiento
(Khalifa et al., 2018)	Lógica de primer orden	Nivel de conocimiento
(Wirawan & Mahendra, 2017)	Método de ponderación adaptiva simple	Nivel de rendimiento
(Chiu & Huang, 2015)	Proceso de Jerarquía Analítica	Nivel de rendimiento

Tabla 4 – Técnicas de razonamiento.

Por último, en la tabla 5, se presenta la información relacionada a la pregunta PI5 referente a los componentes de modelado en los Sistemas de Aprendizaje Móvil que incorporan procesos de evaluación. Los estudios de (Chu et al., 2017; Faber & Visscher, 2018) no presentan componentes de modelado.

Autor(es)	Componentes de modelado
(Luo et al., 2017)	Modelos de Estudiante, Dominio, Aprendizaje Colaborativo y Evaluación. Modelo de Recomendación Adaptativo basado en Contexto
(Faber & Visscher, 2018)	No especifica.
(Chu et al., 2017)	No especifica.
(Chou et al., 2015)	Modelo de estudiante, Módulo pedagógico, Framework de factores adaptativos y Módulo de adaptación basado en negociación.
(Harchay et al., 2014)	Interfaz gráfica, dispositivo, aprendices. Módulos de adquisición, razonamiento y entrega. Módulo Recursos de evaluación.
(Nikou & Economides, 2017)	Banco de preguntas, módulo de entrega, soporte basado en geolocalización, realimentación, autenticidad, soporte para guía apropiada, comunicación y colaboración.
(Louhab et al., 2018b)	Interfaz de evaluación adaptativa, objetos de aprendizaje, motor de evaluación adaptativa, reglas de adaptación, contexto del estudiante y perfil del estudiante.
(Banno & Yang, 2016)	Modelado de estudiante, motor de evaluación dinámica, motor de recomendación, dispositivo, evaluación dinámica, recursos de aprendizaje.
(Khalifa et al., 2018)	Autenticación, gestión del contexto, Base de Datos Ontológica, Módulo de Evaluación y Banco de Preguntas y Respuestas.
(Wirawan & Mahendra, 2017)	Dominio cognitivo y Dominio afectivo.
(Chiu & Huang, 2015)	Modelo de evaluación basado en aprendizaje significativo. Dimensiones: Activa, Autentica, Constructiva, Cooperativa e Interactiva.

Tabla 5 – Componentes de modelado.

3.2. Análisis de los resultados

De acuerdo a la pregunta PI1 , se evidencian que los estudios de (Baccari & Neji, 2016; Chiu & Huang, 2015; Louhab et al., 2018a) desarrollan investigación en el marco de aprendizajes como el colaborativo, invertido y significativo; esto confirma que nuevos enfoques de aprendizaje están siendo investigados en el campo de tecnologías móviles y ubicuas. Así mismo, cinco estudios (Banno & Yang, 2016; Chou et al., 2015; Chu et al., 2017; Faber & Visscher, 2018; Louhab et al., 2018b) adoptan la estrategia pedagógica de evaluación formativa para proveer realimentación y soporte a estudiantes y docentes, con el fin de mejorar el nivel de rendimiento, alcanzar logros y tomar decisiones acerca de las rutas de aprendizaje y materiales educativos.

Evaluación

En evaluación, se evidencian varios mecanismos (Louhab et al., 2018a; Madhubala & Akila, 2017) que están siendo incorporados en los Sistemas de Aprendizaje Móvil (Pregunta PI2). Sin embargo, la evaluación sigue siendo un componente crítico y es necesario promover esfuerzos con el fin de dar soporte a estudiantes y docentes en contenidos de evaluación, apoyo técnico, seguimiento a logros y nivel de compresión, así como realimentación efectiva durante la evaluación (Goldin, Narciss, Foltz, & Bauer, 2017). Otros estudios, resaltan que la evaluación formativa provee oportunidades a los

estudiantes para incrementar la responsabilidad de su propio aprendizaje y fomentar una mayor compresión del conocimiento (Chou et al., 2015; Chu et al., 2017). El estudio de (Chou et al., 2015) revela que la propuesta de evaluación basada en negociación puede extenderse a la búsqueda de ayuda, realimentación y ubicación de compañeros de estudio, así mismo, que el modelo propuesto puede ser más completo para abordar niveles de rendimiento más precisos, detallando el nivel de conocimiento y conceptos erróneos. Estudios como (Harchay et al., 2014; Khalifa et al., 2018) hacen uso de ontologías y notación semántica para personalizar recursos y actividades de evaluación, en ambos casos, se resalta la necesidad de contar con otros tipos de preguntas. La investigación realizada por (Nikou & Economides, 2017), indica que carece de soporte para entornos sensibles al contexto en el marco del modelo de evaluación móvil definido. Finalmente, el estudio de (Louhab et al., 2018b) presenta tres reglas de adaptación basadas en contexto sensible, con el fin de entregar contenidos de pruebas adaptativas según los niveles de dificultad, pero aún no se ha podido corroborar la efectividad de esta propuesta basada en pruebas adaptativas computarizadas.

Entidades del contexto

Los trabajos relacionados a la pregunta PI3, evidencian que solo seis investigaciones (ver tabla 3) involucran aspectos de información contextual, es decir, que consideran características del contexto para ser usadas en los Sistemas de Aprendizaje Móvil. En este sentido, la relevancia del contexto en el aprendizaje es un elemento clave (Kulasegaram & Rangachari, 2018) para proveer actividades, contenidos y recursos de aprendizaje efectivos basados en las características de los dispositivos, las necesidades del estudiantado y de los factores ambientales o del lugar donde ocurre el aprendizaje (Goldin et al., 2017; Madhubala & Akila, 2017).

Respecto a las entidades del contexto, solo cuatro estudios hacen referencia a la entidad llamada tiempo, donde autores como (Louhab et al., 2018b; Luo et al., 2017) utilizan la característica fecha, (Luo et al., 2017) tiempo de duración y (Harchay et al., 2014; Khalifa et al., 2018) consideran fechas de inicio y fin para las actividades de aprendizaje. Por otro lado, los estudios de (Banno & Yang, 2016; Harchay et al., 2014; Khalifa et al., 2018; Louhab et al., 2018b; Luo et al., 2017; Nikou & Economides, 2017) relacionan como entidad del contexto a la ubicación. La entidad denominada dispositivo hace referencia a conectividad de red, costo de comunicación y banda ancha. En especial, estudios como (Harchay et al., 2014) utilizan las normas definidas por el Consorcio W3C para la captura de propiedades hardware y software de los dispositivos. De la entidad llamada estudiante, se relacionan las características más comunes, entre ellas: información personal, nivel de conocimiento, preferencias, estilo de aprendizaje, nivel de rendimiento, comportamiento histórico y aspectos de colaboración. Solo dos estudios (Banno & Yang, 2016; Luo et al., 2017) hacen referencia a la entidad físico, donde las características en común corresponden a nivel de ruido, iluminación y temperatura. Finalmente, las técnicas de modelado de contexto más común son ontologías y bases de datos.

Técnicas de razonamiento

De acuerdo a la pregunta PI4, las técnicas de razonamiento encontradas (ver tabla 4) hacen referencia a técnicas para medir nivel de conocimiento y el nivel de rendimiento

de los estudiantes. En particular, el estudio de (Wirawan & Mahendra, 2017), se enfoca en obtener resultados de notas finales a través de sesiones tipo prueba, donde la estrategia de evaluación es sumativa. Por otro lado, solo cinco estudios (Banno & Yang, 2016; Chou et al., 2015; Chu et al., 2017; Faber & Visscher, 2018; Louhab et al., 2018b), se enfocan en proveer realimentación como soporte al proceso de evaluación, siendo estos estudios, los que abordan evaluación formativa. Solo los estudios de (Banno & Yang, 2016; Louhab et al., 2018b) consideran elementos contextuales. El soporte más común es orientado a estudiantes, solo dos estudios proveen soporte a docentes (Chu et al., 2017; Faber & Visscher, 2018).

En el estudio de (Faber & Visscher, 2018), se propone una herramienta de evaluación formativa digital basada en el modelo Teórico Ítem-Respuesta, los autores sugieren que se puede mejorar la entrega de realimentación para la toma de decisiones. El estudio de (Chu et al., 2017) presenta un mecanismo de evaluación formativa en tiempo real para la enseñanza de la arquitectura basado en Realidad Aumentada, como trabajo futuro, se pretende incluir un mecanismo de realimentación personalizado. El estudio realizado por (Chou et al., 2015) diseña un sistema de negociación basado en reglas Fuzzy haciendo uso de un modelo de negociación, la propuesta pretende ser extendida para dar soporte a nivel de realimentación. La investigación de (Louhab et al., 2018b) plantea un método de evaluación basado en reglas de adaptación haciendo uso de pruebas adaptativas computarizadas, el estudio resalta la importancia de los métodos de evaluación para presentar a los estudiantes procesos coherentes y adaptados.

Un algoritmo de razonamiento es presentado en el estudio (Harchay et al., 2014) para proveer contenidos de evaluación, se resalta la importancia de contar con una arquitectura que pueda ser usada en diferentes dominios y contextos de evaluación. Los autores (Banno & Yang, 2016) proponen un algoritmo basado en el modelo Factor de Análisis de Rendimiento, donde se estima el nivel de conocimiento con base en el número de respuestas previas correctas e incorrectas. La creación de algoritmos de análisis para captura de datos, toma de decisiones y seguimiento del nivel de compresión son desafíos a futuro de acuerdo a (Chu et al., 2017; Curum, Gumbheer, et al., 2017; Mutahi et al., 2015). El estudio de (Wirawan & Mahendra, 2017) presenta un método de inteligencia artificial llamado ponderación aditiva simple para la toma de decisiones, el trabajo a futuro de este estudio, radica en optimizar el método para evaluación de aprendizaje; el estudio no considera elementos contextuales.

Componentes de modelado

Finalmente, los estudios primarios descritos en la tabla 5, responden a la pregunta PI5, donde solo nueve estudios presentan componentes a nivel de modelado. Los estudios de (Chu et al., 2017; Faber & Visscher, 2018) no especifican ningún componente. Los componentes son presentados en términos de módulos (Louhab et al., 2018b), capas (Harchay et al., 2014), framework (Chou et al., 2015), necesidades humanas (Nikou & Economides, 2017), motores (Banno & Yang, 2016), dominios (Wirawan & Mahendra, 2017) y dimensiones (Chiu & Huang, 2015). De igual forma, se evidencia que no hay consenso frente a lo que representa un modelo de evaluación, cada propuesta presenta, interpreta e implementa de manera diferente el concepto de evaluación en el campo

móvil de acuerdo al dominio de aplicación, en este punto, los investigadores podrían presentar un modelado común que permita hacer uso de la información del contexto, estrategias de evaluación, enfoques pedagógicos y mecanismo de realimentación efectivos. Entre todos los estudios descritos en la tabla 5, los componentes en común hacen referencia a: entrega de contenidos, perfil del estudiante, adquisición del contexto, banco de preguntas, evaluación adaptativa, módulo de razonamiento y módulo de realimentación. Respecto a los métodos de evaluación, se evidenció el uso de: estrategia de pre-test y pos-test; estrategia basada en cuestionarios, autoevaluación y consenso, y estrategia basada en sistema WATA "respuesta repetida", "No hay respuesta que proporcionar" y "Realimentación inmediata" (Wang, Wang, Wang, Huang, & Chen, 2004).

4. Conclusiones

El estado actual del conocimiento sobre evaluación en Sistemas de Aprendizaje Móvil muestra que el uso de estrategias de evaluación como el enfoque formativo, permite a los estudiantes la apropiación del aprendizaje y una mayor compresión del conocimiento; siendo la realimentación el componente clave dentro de esta estrategia de evaluación. El soporte a este tipo de evaluaciones viene dado a partir de la medición o predicción del nivel de conocimiento, al igual que la creación, adaptación y/o entrega de actividades, contenidos y recursos de aprendizaje basados en el perfil del estudiante y su nivel de rendimiento.

Estudios recientes han empezado a involucrar elementos del contexto con mecanismos de evaluación (Banno & Yang, 2016; Louhab et al., 2018b), siendo estos elementos diferenciadores en el proceso, ya que representan la situación actual del estudiante en el aula de clase. Así, el contexto es un componente clave y de alto desafío para los investigadores, con el fin de proveer nuevos servicios educativos basados en la información que pueda ser capturada alrededor del estudiante. Las entidades en común de las propuestas revisadas corresponden a tiempo, ubicación, físico, dispositivo y estudiante.

Por otro lado, las técnicas de razonamiento utilizadas para la medición del nivel de conocimiento y nivel de rendimiento corresponden a modelo Teórico Ítem-Respuesta, Evaluación basada en Web y Análisis de Pruebas, Reglas Fuzzy, Reglas de Adaptación basadas en CAT y algoritmos de Extensión del Modelo de Análisis del Factor de Rendimiento. Así, solo las Reglas de Adaptación basada en CAT y la extensión del Modelo de Análisis del Factor de Rendimiento consideran elementos del contexto. La técnica de realimentación más usada de acuerdo a la revisión de la literatura, es Fuzzy.

Finalmente, los componentes de modelado en Sistemas de Aprendizaje Móvil que consideran mecanismos de evaluación y uso de la información del contexto, requieren de módulos para: i) entregar y adaptar contenidos de aprendizaje, ii) crear y actualizar el perfil del estudiante, iii) capturar y analizar la información del contexto, iv) almacenar y adaptar preguntas de evaluación, v) medir el nivel de conocimiento y el nivel de rendimiento y vi) entregar realimentación en tiempo real de manera efectiva.

Referencias

Akharraz, L., El Mezouary, A., & Mahani, Z. (2018). To context-Aware learner modeling based on ontology. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 1326–1334. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363383

Baccari, S., & Neji, M. (2016). Design for a context-aware and collaborative mobile learning system. *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*. https://doi.org/10.1109/ICCIC.2016.7919578

Banno, S. I., & Yang, Y. (2016). Improving educational assessment in mobile environment. *Proceedings - 2nd International Conference on Computational Intelligence and Communication Technology*, 591–597. https://doi.org/10.1109/CICT.2016.123

Broy, M., Deimel, A., Henn, J., Koskimies, K., Plášil, F., Pomberger, G., ... Szyperski, C. (1998). What characterizes a (software) component? *Software - Concepts & Tools*, *19*(1), 49–56. https://doi.org/10.1007/s003780050007

Chiu, P., & Huang, Y. (2015). The effectiveness of a meaningful learning-based evaluation model for context-aware mobile learning. *British Journal of Educational Technology*, *46*(2), 437–447. https://doi.org/10.1111/bjet.12147

Chou, C. Y., Lai, K. R., Chao, P. Y., Lan, C. H., & Chen, T. H. (2015). Negotiation based adaptive learning sequences: Combining adaptivity and adaptability. *Computers and Education*, *88*, 215–226. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.05.007

Chu, H. C., Chen, J. M., Hwang, G. J., & Chen, T. W. (2017). Effects of formative assessment in an augmented reality approach to conducting ubiquitous learning activities for architecture courses. *Universal Access in the Information Society*, 1–10. https://doi.org/10.1007/s10209-017-0588-y

Curum, B., Chellapermal, N., & Khedo, K. K. (2017). A Context-Aware Mobile Learning System Using Dynamic Content Adaptation for Personalized Learning. *Emerging Trends in Electrical, Electronic and Communications Engineering*, *416*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52171-8

Curum, B., Gumbheer, C. P., Khedo, K. K., & Cunairun, R. (2017). A content-adaptation system for personalized m-learning. *2017 1st International Conference on Next Generation Computing Applications*, 121–128. https://doi.org/10.1109/NEXTCOMP.2017.8016186

Dey, A. (2001). Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 4–7. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2012.01.006

El Guabassi, I., Bousalem, Z., Al Achhab, M., Jellouli, I., & El Mohajir, B. E. (2018). Personalized adaptive content system for context-Aware ubiquitous learning. *Procedia Computer Science*, *127*, 444–453. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.01.142

Faber, J. M., & Visscher, A. J. (2018). The effects of a digital formative assessment tool on spelling achievement: Results of a randomized experiment. *Computers and Education*, *122*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.008

Goldin, I., Narciss, S., Foltz, P., & Bauer, M. (2017). New Directions in Formative Feedback in Interactive Learning Environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *27*(3), 385–392. https://doi.org/10.1007/s40593-016-0135-7

Harchay, A., Cheniti-Belcadhi, L., & Braham, R. (2014). A Context-Aware Framework to Provide Personalized Mobile Assessment. *Interaction Design and Architecture*, 82–97.

Hattie, J. (1999). Influences on Student Learning, 1–25.

Huang, S., Yin, B., & Liu, M. (2017). Research on individualized learner model based on context-awareness. *Proceedings - 2017 International Symposium on Educational Technology, ISET 2017*, 163–167. https://doi.org/10.1109/ISET.2017.45

Kalaivani, R., & Sivakumar, R. (2017). A Survey on context-aware ubiquitous learning systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, *10*(23), 111–124.

Khalifa, W. Ben, Souilem, D., & Neji, M. (2018). An evaluation system of students (Applied in Primary School in Tunisia). *Proceedings of IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications AICCSA*, 1385–1390. https://doi.org/10.1109/AICCSA.2017.68

Kitchenham, B. (2007). Procedures for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Keele University & Durham University, UK*.

Kulasegaram, K., & Rangachari, P. K. (2018). Beyond "formative": assessments to enrich student learning. *Advances in Physiology Education*, *42*(1), 5–14. https://doi.org/10.1152/advan.00122.2017

Lopes, Á. R., Carvalho De Oliveira, D., & Vaccare Braga, R. T. (2017). Context-aware Ubiquitous Learning: Literature Systematic Mapping on Ubiquitous Learning Environments.

Louhab, F. E., Bahnasse, A., & Talea, M. (2018a). Considering mobile device constraints and context-awareness in adaptive mobile learning for flipped classroom. *Education and Information Technologies*, *23*(6), 2607–2632. https://doi.org/10.1007/s10639-018-9733-3

Louhab, F. E., Bahnasse, A., & Talea, M. (2018b). Towards an Adaptive Formative Assessment in Context-Aware Mobile Learning. *Procedia Computer Science*, *135*, 441–448. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.195

Luo, L., Yang, Y., & Wei, Y. (2017). Research on Adaptive Mobile Collaborative Learning System. *Springer Nature Singapore Pte Ltd*, 414–423. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20424-6

Madhubala, R., & Akila, A. (2017). Context Aware and Adaptive Mobile Learning : A Survey. *Advances in Computational Sciences and Technology*, *10*(5), 1355–1370. Retrieved from http://www.ripublication.com

Moebert, T., Zender, R., & Lucke, U. (2016). *A Generalized Approach for Context-Aware Adaptation in Mobile E-Learning Settings* (Vol. 406). https://doi.org/10.1007/978-3-319-26518-6

Mutahi, J., Bent, O., Kinai, A., Weldemariam, K., & Sengupta, B. (2015). Capturing Learner's Activity Events from a Mobile Learning System Using Adaptive Event Framework. *2nd ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems*, 109–112. https://doi.org/10.1109/MobileSoft.2015.23

Nikou, S. A., & Economides, A. A. (2017). Mobile-based assessment: Towards a motivational framework. *IEEE Global Engineering Education Conference EDUCON*, 1522–1526. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7943051

Nyland, R. (2017). A Review of Tools and Techniques for Data-Enabled Formative Assessment. *Journal of Educational Technology Systems*, *53*(5), 004723951774893. https://doi.org/10.1177/0047239517748936

Ozdamli, F., & Cavus, N. (2011). Basic elements and characteristics of mobile learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *28*(December), 937–942. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.11.173

Schilit, B., Adams, N., & Want, R. (2008). Context-Aware Computing Applications, 85–90. https://doi.org/10.1109/wmcsa.1994.16

Tortorella, R., Kinshuk, D., & Chen, N. S. (2018). Framework for designing context-aware learning systems. *Education and Information Technologies*, *23*(1), 143–164. https://doi.org/10.1007/s10639-017-9591-4

Unesco. (2013). *Directrices para las políticas de aprendizaje móvil*. Retrieved from http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219662S.pdf

Wang, T. H., Wang, K. H., Wang, W. L., Huang, S. C., & Chen, S. Y. (2004). Web-based Assessment and Test Analyses (WATA) system: Development and evaluation. *Journal of Computer Assisted Learning*, *20*(1), 59–71. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2004.00066.x

Wirawan, M. A., & Mahendra, G. (2017). New Concept of Learning Outcomes Assessment in Adaptive Mobile Learning, *134*, 263–268. https://doi.org/10.2991/icirad-17.2017.49

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

Recebido/Submission: 11/04/2019
Aceitação/Acceptance: 17/07/2019

Wearable devices, the next generation of mobile devices: Main features and uses

Darwin Suarez[1], Santiago Criollo-C[2], Ángel Jaramillo-Alcázar[3], Sergio Luján-Mora[4]

darwin.suarez@udla.edu.ec, luis.criollo@udla.edu.ec, angel.jaramillo@udla.edu.ec, sergio.lujan@ua.es

[1, 2, 3] Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas-Universidad de Las Américas, Redondel del Ciclista, Antigua Vía a Nayón, EC170124, Quito, Ecuador.

[4] Department of Software and Computing Systems-University of Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690, Alicante, Spain.

Pages: 200–214

Abstract: In a world in which students are exposed to all kinds of digital stimuli, the traditional educational, in which a teacher gives a lesson in front of a class full of students who listen attentively, may not be very motivating. That is why, in addition to offering new pedagogical possibilities, and helping teachers to nurture their students with new skills and competences, technology plays a key role in the classroom when it comes to generating motivation. In that sense, wearable devices can be a powerful ally. For this reason, in this article, we will show a classification of these devices and the analysis of the main parameters of each of them. Several bibliographical sources were used for this work, such as: research documents, technical articles and official websites of the wearable devices investigated. Seven parameters were obtained to analyze by rating scales to optimize the decision of its possible use.

Keywords: Accessories; devices; e-patches; e-textiles; wearables.

1. Introduction

The growth of wearable technology is increasing considerably as the years go by. The main reasons for the use of wearable technology in the current technological market tend to be the problems related to the health and well-being of people. These are wearable devices that are used in wireless body area network (WBAN), which work in applications not only related to health, but also in the areas of research, communication, entertainment, tourism and education. Wearable technology does not focus on the characteristics of smartphones, although it is true that both have similar functions for the user, the difference is that wearable devices have as their main objective to make the user and the device one, with their own characteristics such as their weight, their comfort and that they can work and provide information even when the user is not active with the device (Çiçek, 2015). Wearable technology works through WBANs, that are networks created by mini sensors connected to the human body and that work wirelessly to provide information.

The use of wearable devices used in m-learning can be seen in several works. For example, in the investigation by Santos et al. (2018) an integrated system is proposed in the form of an intelligent glove that takes advantage of the movement of the body to create the persistence of the effect of vision. This allows the visualization of letters and words in literacy activities. Nakasugi and Yamauchi (2002) created a system called "Viewer of the past", which uses devices mounted on the head to increase reality and improve learning by using historical scenes. In the work presented by Yordanova (2008) the author proposes to develop adaptive learning contents based on metadata (obtained by wearable devices) that are composed of information related to the profile of the student. In this context, Jemni and Nasraoui (2009) used web mining techniques and information retrieval to provide customizable adaptive e-learning experiences.

The analysis of the main parameters of the wearables allows optimizing the choice of a device for its possible use or application. The sections of this document are detailed below: section 2, briefly explains what WBAN are and the types of use attributed to this type of body area networks; in section 3, we will present a brief collection of information about portable devices, characteristics, classification and applications; in section 4, we will indicate the method that was used to make tables that show a comparison between wearable devices in relation to the analysis parameters investigated; in section 5, the document shows the comparative analysis of the research; and finally in section 6, we will write the final conclusions of the topic analyzed and how they could improve in the future.

2. Wireless body area network

WBAN are characterized by networks formed by a set of sensors that are linked to the human body, that is, networks through which wearable devices can communicate with applications or external systems capable of controlling and providing information on health issues and well-being such as physical condition, entertainment and communication (Arefin, Ali, & Haque, 2017). Adding one more definition about WBAN, we can say that they are networks of a set of portable devices that control the user's direct environment (Hussain et al., 2017). In this modern world in which we currently live, it is necessary to implement functionalities in remote health operability techniques; however, the size, processing speed and response times in this type of networks composed of small or portable sensors are inaccurate and slow until now.

WBAN offer a short-range communication and are based on standards, technologies and requirements that conform to the specifications of a wireless local area network (WLAN). The most widely used technologies and standards are: Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee and the IEEE 802.15.6 standard (Arefin et al., 2017). Bluetooth is used for its low power consumption, comes from the 802.15.1 standard and provides some security because it can create master-slave nodes, which allows simultaneous communication between devices, and it is suitable for short communication distances. On the other hand, Wi-Fi technology is very desirable in this type of networks, since it has the ability to create multiple nodes and users can connect at the same time using an access point (AP), however, one of the disadvantages of this type of technological standard (802.11 a, b, g, n) is its high-power consumption. With respect to the technology standard 802.15.6,

the requirements that define Kaschel, Alvarado and Torres (2014) must be taken into account. Examples of these are: the latency in medical applications must be less than 125 ms and in other applications less than 250 ms, they must have Quality of services (QoS), the WBAN must be able to support up to 256 nodes in a network, the bit rate must be in the range of 10 Kbps to 10 Mbps, etc. The main objective of the 802.15.6 standard is to provide a network that can use low power, short distances and wireless communication that is reliable enough to be used in the human body (Kaschel et al., 2014; Ravi, Wong, Lo, & Yang, 2017).

3. Wearable devices

Wearable devices are those devices that can be linked in the human body, that is, they can be used literally as garments in the human body. In 1966, when a professor from the Massachusetts Institute of Technology created a pair of smart shoes that cheated in a game (roulette), it was listed as the first wearable device in the world (Jiang et al., 2015). Although many meanings and definitions are attributed to wearable technology, it is important to understand that they are tangible devices that interact with or without smartphones through a WBAN to provide specific information to the user (Çiçek, 2015). The classification of wearable devices mentioned by Kalantari (2017) can be divided into two large groups: product forms and product function. However, there are researchers and scientists who classify portable devices in: accessories, electronic textiles and electronic patches (Seneviratne et al., 2017).

3.1. Accesories

The accessories correspond to the group of wearable devices that can be used as accessories in the human body, such as: those worn on the wrist called wrist-worn, those that are used on the face and head called head-mounted and others jewelry and belts (Seneviratne et al., 2017).

3.2. E-Textiles

Electronic textiles come from the classification of wearable devices that can be used as clothing. Most are used in therapeutic environments, such as physiology in sports and health, and are also used in psychological problems such as stress, because, the clothing is capable of offering therapeutic massage and also its scope extends to military applications (Gonçalves, Ferreira da Silva, Gomes, & Simoes, 2018).

3.3. E-Patches

This classification arises with the appearance of intelligent electronic patches able to adhere adequately to human skin. Its main use is the surveillance of human physiological problems and treatments of the skin for haptic purposes. They are not easy to find in the market, since having such small sensors, their development tends to be very difficult, very few of these patches are sold to the general public (Kilic, Brunner, Audoly, & Carrara, 2017).

4. Method

For the development of this article, it was necessary to focus on the published research articles on the subject and the scientific documents on the web that address the main parameters to be analyzed. According to the research by Seneviratne et al., (2017), the factors that should be taken more into account when choosing a device are: the type of connectivity, the battery life, memory, application of use and price, but also highlight parameters much deeper as the type of battery, processors, frequencies or cycles of clock, brand and CPU. On the other hand, an equally important factor is security, in the studies conducted in (Chuan, 2016; Saa & Lujan-mora, 2017) it can be shown that vulnerabilities at the time of communication made by wearable devices used in WBAN are very common. For example, when making payments using Near Field Communication (NFC) technology, credit card data and access passwords may be exposed. In the investigation (Khakurel, Porras, & Pöysä, 2018) the parameters that influence the acquisition or not of a wearable device are a matter of the size and duration of the battery. Users of these studies filed complaints, but investigations continue to improve these features quickly. This article will not develop parameters such as the ability to add sensors, software and firmware compatibility explained in (Haghi, Thurow, & Stoll, 2017) since it is designed to have a much more general vision from the point of view of the different requirements that users can have. Finally, the parameters to analyze are the following: Type of connectivity, battery life, application, price, security, size and type of device. Below, these parameters are detailed.

4.1. Type of connectivity

This parameter describes the behavior of each wearable device in relation to connectivity. We must take into account the way in which they connect to the network, it should be emphasized that each type of connectivity has different characteristics, advantages and disadvantages, some may be better in the transmission speed, others can be better in energy consumption. The important thing here is to classify them and that the reader feels what is convenient for them. For this reason, the following types of connectivity are contemplated: BLE (Bluetooth Low Energy), BT (4.0, 4.1), Wifi, NFC (Near Field Communication), CDMA (1.9 PCS GHz and 800 MHz).

4.2. Battery Life

The battery life is one of the most important parameters to analyze, since it depends on the use of a device. Users want extensive battery life due to the ubiquity that the portable devices guarantee. For this reason, there are efforts that could solve this problem; they are known as energy replenishment techniques. One of them is the solar energy harvesting (SEH): Collection of solar energy, consists of the capture of solar energy from ultraviolet rays, transforming it into electrical voltage to power the batteries, an example of a device that performs this action is the SEIKO watch. Another example is kinetic energy harvesting (KEH): Collection of kinetic energy. It works by the principle of human movement, the sensors located in specific places in the wearable device and the movements of the body react to this kinetic energy, some smart shoes for athletes use this principle. In the research (Seneviratne et al., 2017) it is shown that 500 mV of root mean square (RMS) voltage can be generated with a frequency of 5 Hz. Finally, the thermoelectric energy harvesting

(TEH): Collection of thermoelectric energy is another technique that bases its principle on the transformation or conversion of the internal temperature of the human body with the external temperature of the environment. Most studies of this nature were done with smart watches (Khakurel et al., 2018; Seneviratne et al., 2017).

The representation of the parameter to measure the battery life is as follows:

Battery life	Short	Medium	Long
Wrist type	1 - 3 days	4 - 9 days	10 - n days
Head-mounted type	2 - 4 hours	5 - 10 hours	11 - n hours
Other types of accessories	4 hours - 1 days	2 - 5 days	6 days - n month
E-Textiles	8 hours - 2 days	3 - 10 days	11 - n days
E-Patches	9 hours - 3 days	4 - 7 days	8 days - n weeks

Table 1 - Representation of the parameter to measure the battery life

4.3. Applications

This parameter that indicates the place or places where a wearable device acts, in this way, it is possible to choose with greater precision the device that best suits the needs. The analysis parameter will be divided into: Health and medicine, industrial, military, tourism and informationt. This is because they are the most common applications in which wearable devices work (Smita Jhajharia, S. K. Pal, & Seema Verma, 2014).

4.4. Price

The price factor is the most common when it comes to analyzing the aspects related to the acquisition of goods or material services, and technology is no exception. The prices in this field are too high, but it is very important to analyze them in order to get closer to the correct device. Obviously, prices will depend on the region in which the buyer is located; this document takes as reference the prices of the US market.

	Cheap	Moderately expensive	Expensive	Very expensive
Smart watches	150 - 230	231 - 300	301 - 350	351 - n
Wristbands	23 - 50	51 - 100	101 - 300	301 - n
Smart eyewear	100 - 250	251 - 450	451 - 700	701 - n
Smart headsets	88 - 100	101 - 200	201 - 300	301 - n
Smart Jewelry	20 - 80	81 - 130	131 - 190	191 - n
Smart belts	75 - 150	151 - 250	251 - 530	531 - n
Smart Garments	70 - 200	201 - 350	351 - 500	501 - n
Shoes / Socks / Smart Gloves	75 - 150	151 - 300	301 - 350	351 - n

Table 2 – Representation of the parameter to measure the price (USD)

Price of e-patches, due to the limited price information about electronic patches, it has been decided to place only the reference of known prices for the devices Valedo Back Therapy and Thync.

4.5. Security

Security is the most important parameter to analyze, because wearable devices connect and transmit information wirelessly. The efforts must be reflected in order to guarantee confidentiality, integrity and availability of the information generated by these devices. Although we only start with the research and development of these devices, there are ways to mitigate current vulnerabilities (Ching & Singh, 2016). According to the level of security found for each of the devices analyzed, one of the following values can be taken: low, medium and high. Low, if it has low security features such as authentication. Medium, if the values are more advanced; and high, if the security of the wearable device in terms of communication flows through the servers within independent companies that guarantee the security service.

4.6. Size

To analyze a wearable device, an important parameter to include and detail is the size of it. Information was collected on the different wearable devices of watches and glasses in their official web pages to take into account the dimensions they provide, in height, width and depth, basically the three axes that govern the 3 dimensions. The size also implies the weight that the devices have, however, in this article we will provide general information about the size in relation to the dimensions. If a wearable device is very small, as is the case with smart jewelry, the user cannot expect very complex functionalities.

Due to this, the size is divided into: small, medium and large. If any user is willing to choose a wearable device whose characteristics and functions are multiple, deep and complex, then it would have to be made of a wearable device with large dimensions. We will consider the size of an electronic band-aid patch as small, the medium size would take into account the physical dimensions of smart watches and wristbands, and the large size would take the physical dimensions of intelligent clothing, helmets and straps.

4.7. Type of wearable device

It is difficult to compare a smart watch with smart glasses, although both use the same functionalities, they are totally different products, the characteristics could be different between both. This parameter will help us simplify the search in decision making during the execution of an election. We will divide the parameter using the classification developed by Seneviratne et al. (2017) what corresponds to wearable devices type accessories of the subgroups that are: Accessories (watches, bracelets, headphones, glasses, belts and jewelry), e-textiles (clothes and shoes/ socks/gloves) and e-patches (sensor patches and tattoos/skin patches).

5. Comparative analysis

The main objective of the comparative analysis of this section is the creation and construction of comparative tables of all wearables, for which the parameters developed

in section 4 of this article will be used. To facilitate the reading of the tables, we have indicates with a letter (X) if the device has the characteristic according to the analysis parameter, otherwise the information about that characteristic could not be found in the research carried out. The most representative devices (the best known and most sold) of each category were chosen for this analysis. These data were taken from the websites of Amazon, Ebay and Wish. The search of the different devices was ordered using the following options:

- Average customer opinion, and
- Featured articles.

Type/subtype		**Accessories / used on wrist (watches)**				
Device		**Apple Watch**	**Motorola Moto 360**	**Samsung Gear S2**	**Huawei Watch**	**Fitbit Surge**
Connectivity	BLE					
	BT	X	X	X	X	X
	Wi-Fi	X	X	X	X	X
	NFC	X	X	X	X	X
Battery duration	Short	X	X	X	X	
	Medium					X
	Long					
Application	Health and medicine	X	X	X	X	X
	Industrial	X				
	Military					
	Tourism		X			
	Information	X	X	X	X	
Price	Cheap					
	Moderately expensive					X
	Expensive	X	X	X	X	
	Very expensive					
Security	Low	X	X	X		X
	Medium				X	
	High					
Size	Small					X
	Medium	X	X	X	X	
	Big					

Table 3 – Smart watches

Type/subtype		**Accessories / Smart wristbands**				
Device		**Sony Smartband 2**	**Mi Band 2**	**LG Gizmopal 2**	**FitBit Flex 2**	**Empatica E4 Wristband**
Connectivity	BLE		X		X	
	BT	X	X			X
	Wifi					
	NFC					
	CDMA			X		
Battery duration	Short					X
	Medium	X		X	X	
	Long		X			
Application	Health and medicine	X	X	X	X	X
	Industrial	X				X
	Military					
	Tourism					
	Information	X	X		X	X
Price	Cheap		X			
	Moderately expensive	X		X		
	Expensive				X	
	Very expensive					X
Security	Low					
	Medium				X	
	High					X
Size	Small		X	X	X	
	Medium	X				X
	Big					

Table 4 – Smart wristbands

Type/subtype		**Accessories / smart glasses**			
Device		**Microsoft HoloLens**	**FUNKI Ambient Glasses**	**Recon Jet**	**Google Glass**
Connectivity	BLE		X		
	BT		X	X	X
	Wifi	X		X	X
	NFC				

Battery duration	Short	X			
	Medium			X	
	Long				
Application	Health and medicine		X		
	Industrial				
	Military				
	Tourism	X			X
	Information	X	X	X	X
Price	Cheap		X		
	Moderately expensive				
	Expensive			X	
	Very expensive	X			X
Security	Low				
	Medium	X	X	X	
	High				X
Size	Small				
	Medium		X	X	X
	Big	X			

Table 5 – Smart glasses

Type/subtype		**Accessories / smart jewelry**					
Device		**NFC Ring**	**Smarty Ring**	**Nod**	**Motiv Ring**	**Bellabeat Leaf**	**CliMate Clip-on**
Connectivity	BLE						
	BT		X	X	X	X	
	Wifi						
	NFC	X					
Battery duration	Short		X	X			
	Medium				X		
	Long					X	X
Application	Health and medicine				X	X	X
	Industrial			X			
	Military						
	Tourism						
	Information	X	X	X			X

Type/subtype		**Accessories / smart jewelry**					
Device		**NFC Ring**	**Smarty Ring**	**Nod**	**Motiv Ring**	**Bellabeat Leaf**	**CliMate Clip-on**
Price	Cheap	X					
	Moderately expensive						
	Expensive						
	Very expensive				X	X	
Security	Low	X	X	X	X	X	
	Medium						
	High						
Size	Small	X	X		X	X	X
	Medium			X			
	Big						

Table 6 – Smart jewelry

Type/subtype		**E-textile / Smart clothes**					
Device		**Hug Shirt**	**T Jacket**	**Solar Shirt**	**Hovding**	**Athos**	**OmSignal**
Connectivity	BLE						
	BT	X	X			X	X
	Wifi						
	NFC						
Battery duration	Short		X		X		X
	Medium						
	Long					X	
Application	Health and medicine	X	X			X	X
	Industrial			X	X		
	Military						
	Tourism						
	Information					X	
Price	Cheap						X
	Moderately expensive				X	X	
	Expensive						
	Very expensive		X				
Security	Low						
	Medium					X	
	High						
Size	Small		X	X			
	Medium					X	
	Big	X			X		X

Table 7 – Smart clothes

Type/subtype		**e-patches / Smart patches**				
Device		**Chrono Therapeutics**	**Proteus Health Patch**	**Health Patch MD**	**Thync**	**Valedo Back Therapy**
Connectivity	BLE				X	
	BT					X
	Wifi			X		
	NFC					
Battery duration	Short			X	X	X
	Medium		X			
	Long	X				
Application	Health and medicine	X	X	X	X	X
	Industrial					
	Military					
	Tourism					
	Information					
Price	Cheap					
	Moderately expensive					
	Expensive					
	Very expensive				X	X
Security	Low					
	Medium					
	High		X			
Size	Small	X				
	Medium		X	X	X	X
	Big					

Table 8 – Smart patches

Type/subtype		**E-textile / smart shoes, gloves and socks**				
Device		**ProGlove**	**GPS Smartsole**	**Sensoria**	**Owlet Smart Sock**	**Samsung IOFIT**
Connectivity	BLE					
	BT			X	X	X
	Wifi	X			X	
	NFC					
	GPS		X			

Type/subtype		**E-textile / smart shoes, gloves and socks**				
Device		**ProGlove**	**GPS Smartsole**	**Sensoria**	**Owlet Smart Sock**	**Samsung IOFIT**
Battery duration	Short	X	X	X		
	Medium					X
	Long				X	
Application	Health and medicine			X	X	X
	Industrial	X				
	Military					
	Tourism					
	Information		X			
Price	Cheap					
	Moderately expensive					X
	Expensive		X		X	
	Very expensive			X		
Security	Low					
	Medium		X			
	High	X				
Size	Small		X	X		
	Medium					X
	Big	X			X	

Tabla 9 – Smart shoes, gloves and socks

6. Analysis of results

The results that the research shows are the following: Table 3 indicates that there is a great similarity in security and prices between Apple Watch, Samsung Gear S2 and Huawei Watch. Table 4 indicates that the Mi Band 2 is the most expensive accessory. Table 5 shows that Google Glass is the security. In table 6 can see that all smart jewelry has a very low level of security. Table 7, 8 and 9 show us that smart clothes and patches are used more frequently in health and medicine. These findings can facilitate the decision to purchase for personal, academic or research use of each wearable device based on its characteristics

7. Conclusions

As time passes wearable devices have been introduced little by little in the commercial, industrial, health and communication markets. The arrival of these devices creates interesting

challenges that must be resolved, such as battery life and communication security, which were analyzed in this document and that are intended to be improved to help create greater confidence in the adoption of a device. The different applications provided by the devices make their adoption more feasible, however, the price factor is one of the most worrying for users. The document covers the topics of WBAN, their main uses and characteristics, as well as portable devices in which they show their definition, classification and types.

The weakest link when talking about wearable devices is the connection to the mobile phone. This is because it is usual for both devices to be paired through a short-range wireless connection known as Bluetooth. Malicious people can introduce malware and use malicious applications to do a variety of things from calling, sending and receiving texts and extracting personal information, etc. They can also know what the location is through GPS and record any health problems that have put in the wearable device. The danger is: once they have access to another person's mobile device, they will have control and a large number of resources at their fingertips. Two tips to implement security are: first, use a personal identification number (PIN), all mobile devices should have a PIN; secondly, set limits on the information to be shared.

We have given an idea and we have clarified the panorama to people, working groups, entities and others so that they can choose the best option of wearable device according to the requirement or the existing need. In this article, easy-to-read and interpretable comparison tables were created for wearable devices that are worn on the wrist as smart watches and used on the head and face as smart glasses, each comparing them by the same type of device, along with the analyzed factors such as connectivity, battery life, price, security, size and application. Finally, we hope that this article optimizes the selection of a wearable device and helps future research on related topics.

Currently, with the rapid growth of the Internet of Things (IoT), wearable technologies have begun to be used in various scenarios such as research, health, etc. In the field of learning, Azzabi, Kouki and Jemni (2018) present a framework for mobile learning using wearable technology. Despite the importance of these technologies to improve learning experiences, they are not well explored yet in educational situations. In this context, the findings of this study can help researchers and professionals to better design educational experiences based on the individual characteristics of each wearable device.

References

Arefin, M. T., Ali, M. H., & Haque, A. K. M. F. (2017). Wireless Body Area Network: An Overview and Various Applications. *Journal of Computer and Communications*, *05*(07), 53–64. https://doi.org/10.4236/jcc.2017.57006

Azzabi, M. S., Kouki, S., & Jemni, M. (2018). Towards using wearable technologies in mobile learning. *2017 6th International Conference on Information and Communication Technology and Accessbility, ICTA*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICTA.2017.8336065

Ching, K. W., & Singh, M. M. (2016). Wearable Technology Devices Security and Privacy Vulnerability Analysis. *International Journal of Network Security & Its Applications*, *8*(3), 19–30. https://doi.org/10.5121/ijnsa.2016.8302

Chuan, C. (2016). Designing SmartSignPlay : An Interactive and Intelligent American Sign Language App for Children who are Deaf or Hard of Hearing and their Families. *International Conference on Intelligent User Interfaces*, 45–48. https://doi.org/10.1145/2876456.2879483

Çiçek, M. (2015). Wearable Technologies and Its Future Applications. *ISER Science Plus International Conference*. Retrieved from https://pdfs.semanticscholar.org/8abe/db7aa445a1ddb3b5759ae9e987c9b755b848.pdf

Gonçalves, C., Ferreira da Silva, A., Gomes, J., & Simoes, R. (2018). Wearable E-Textile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements. *Inventions*, *3*(1), 14. https://doi.org/10.3390/inventions3010014

Haghi, M., Thurow, K., & Stoll, R. (2017). Wearable devices in medical internet of things: Scientific research and commercially available devices. *Healthcare Informatics Research*, *23*(1), 4–15. https://doi.org/10.4258/hir.2017.23.1.4

Hussain, J., Ahmed, S., Ahmed, N., Shah, R., Bhutto, Z., & Ali, R. (2017). Conceptual Model for WWBAN (Wearable Wireless Body Area Network). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *8*(1). https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.080147

Jemni, M., & Nasraoui, O. (2009). Automatic Recommendations for E-Learning Personalization Based on Web. *Educational Technology & Society*, *12*, 30–42.

Jiang, H., Chen, X., Zhang, S., Zhang, X., Kong, W., & Zhang, T. (2015). Software for wearable devices: Challenges and opportunities. *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, 592–597. https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2015.269

Kaschel, H., Alvarado, J., & Torres, V. (2014). Redes de Area Corporal Inalámbricos : Requisitos, Desafíos e Interferencias. C*ongreso Internacional De Telecomunicaciones Senacitel*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/284174458%0D

Khakurel, J., Porras, J., & Pöysä, S. (2018). The Use of Wearable Devices in the Workplace - A Systematic Literature Review, *233*(October). https://doi.org/10.1007/978-3-319-76111-4

Kilic, T., Brunner, V., Audoly, L., & Carrara, S. (2017). Smart e-Patch for drugs monitoring in schizophrenia. *International Conference on Electronics, Circuits and Systems, ICECS*, 57–60. https://doi.org/10.1109/ICECS.2016.7841131

Nakasugi, H., & Yamauchi, Y. (2002). Past viewer: Development of wearable learning system for history education. *Proceedings - International Conference on Computers in Education, ICCE*, 1311–1312. https://doi.org/10.1109/CIE.2002.1186223

Ravi, D., Wong, C., Lo, B., & Yang, G. (2017). reporting : The construction of a culture-specific, *12*(1), 106–137. https://doi.org/10.1109/JBHI.2016.2633287

Saa, P., Mosocoso-Zea, O., & Lujan-mora, S. (2017). Bring Your Own Device (BYOD): Students Perception - Privacy Issues A new trend in education ? In *Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)* doi: 10.1109/ITHET.2017.8067824.

Santos, D. A. A., Szturm, D. R., Castro, L. X., Hannum, J. S. S., & Barbosa, T. A. (2018). Wearable device for literacy activities with people with down syndrome. *2017 Undergraduate Research Technology Conference, URTC* 1–4. https://doi.org/10.1109/URTC.2017.8284204

Seneviratne, S., Hu, Y., Nguyen, T., Lan, G., Khalifa, S., Thilakarathna, K., ... Seneviratne, A. (2017). A Survey of Wearable Devices and Challenges. *Communications Surveys and Tutorials*, *19*(4), 2573–2620. https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2731979

Smita Jhajharia, S. K. Pal, & Seema Verma. (2014). Wearable Computing and its Application. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, *Vol. 5*(4), 1–6. Retrieved from http://ijcsit.com/docs/Volume 5/vol5issue04/ijcsit20140504190.pdf

Yordanova, K. (2008). Mobile learning and integration of advanced technologies in education, 1. https://doi.org/10.1145/1330598.1330695

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

Recebido/Submission: 17/04/2019
Aceitação/Acceptance: 19/07/2019

Algoritmo para la selección de instancias en problemas de clasificación basado en arreglos de cobertura

Jhonattan Solarte-Martinez, Carlos Cobos, Martha Mendoza

josoma@unicauca.edu.co, ccobos@unicauca.edu.co, mmendoza@unicauca.edu.co

Grupo de I+D en Tecnologías de la Información (GTI), Universidad del Cauca, Sector Tulcán Edificio FIET Oficina 422, Popayán, Colombia

Pages: 215–229

Resumen: En minería de datos y big data, contar con datos de buena calidad es muy importante, por esto en la preparación de estos se contempla entre otras, con la actividad de selección de instancias. Este artículo presenta un nuevo método de selección de instancias basado en arreglos de cobertura. El método propuesto se evaluó y comparó frente a dos clasificadores tradicionales del área, C4.5 (J48 de Weka) y KNN sobre 26 datasets completos (sin reducción). Los resultados experimentales son mejores, tanto en la calidad de la clasificación como en el porcentaje de reducción de instancias, ya que, usando el algoritmo propuesto se logró disminuir el error de clasificación de 19,4% a 16,9% con fuerza 2 y a 17,6% con fuerza 3, y reducir el porcentaje de instancias en promedio en un 39.6% (fuerza 2) y un 43.7% (fuerza 3) para C4.5. Resultados que son similares a los obtenidos para KNN.

Palabras-clave: Algoritmos de clasificación; arreglos de cobertura; Selección de instancias; KNN; C4.5.

Algorithm for instance selection in classification problems based on Covering Arrays

Abstract: In data mining and big data, having good quality data is very important, therefore in the preparation of these is contemplated among others, with the activity of instance selection. This paper presents a new method for instance selection based on covering arrays. The proposed method was evaluated and compared against two traditional classifiers, C4.5 (J48 in Weka) and KNN over 26 complete datasets (without reduction). The experimental results are better, both in the quality of the classification and in the percentage of reduction of instances, since the classification error was reduced from 19.4% to 16.9% with strength 2 and to 17.6% with strength 3, and reducing the percentage of instances on average by 39.6% (strength 2) and 43.7% (strength 3) for C4.5. Results that are similar to those obtained for KNN.

Keywords: Classification algorithms; Covering Arrays; Instance selection; KNN; C4.5.

1. Introducción

El descubrimiento de conocimiento en bases de datos (Knowledge Discovery in Databases, KDD) es el área donde se busca extraer conocimiento útil de grandes conjuntos de datos, pero los datos primero deben ser pre procesados o depurados. Uno de los pasos más importantes del preprocesamiento en KDD es la selección de instancias o selección de filas.

El problema de selección de instancias, busca eliminar instancias (filas o registros) ruidosas, repetidas, erróneas o poco útiles, creando un conjunto de datos más pequeño que permite predecir la clase de una instancia nueva con la misma precisión (o más alta) que con el conjunto original completo (Blachnik, 2019). Este proceso de reducción de datos se vuelve cada vez más importante en muchas aplicaciones, debido a la necesidad de eficiencia de procesamiento y de almacenamiento (Huan & Motoda, 2001).

El algoritmo KNN, es uno de los más importantes en el aprendizaje automático. Este algoritmo calcula la distancia entre una instancia a clasificar y cada instancia del conjunto de entrenamiento. A la nueva instancia a clasificar se le asigna la clase predominante de las K instancias más cercanas o vecinas. El algoritmo KNN no es practico para trabajar con dataset grandes, ya que este demanda muchos recursos computacionales en almacenamiento y tiempo de procesamiento (Wu et al., 2008). En el estado del arte se presentan diferentes estrategias o métodos para la selección de instancias, muchos de ellos aplicados a KNN, estos métodos se organizan en dos grupos principales, los basados en muestreo y los basados en selección de prototipos.

Teniendo en cuenta que uno de los enfoques de solución para la selección de instancias es el muestreo, en este trabajo se considera el uso de los arreglos de cobertura como una alternativa factible para proponer un nuevo método. Los arreglos de cobertura denotados como CA (Covering Arrays), son objetos combinatorios derivados de los arreglos ortogonales que pueden ser usados para diversos fines (Timaná-Peña, Cobos, & Torres-Jimenez, 2016), entre ellos, el diseño de experimentos y la automatización de pruebas de hardware y software.

Los CA permiten generar el menor número de casos de prueba para cubrir todos los conjuntos de interacciones entre los parámetros objeto de estudio. Estos arreglos tienen cardinalidad mínima (reducen al mínimo el número de casos de prueba) y cobertura máxima (garantizan cubrir todas las combinaciones entre los parámetros de entrada basado en un parámetro denominado fuerza, que define el nivel de la interacción que se desee cubrir) (Timaná-Peña et al., 2016). Por esto último, es que se les considera una estrategia viable para la selección de instancias.

En este artículo, se propone un método para selección de instancias basado en arreglos de cobertura, teniendo en cuenta diferentes niveles de interacción (fuerza) entre las diferentes instancias del dataset y con la habilidad de trabajar sobre grandes volúmenes de datos, buscando mantener o mejorar la calidad de la clasificación y reducir significativamente el tamaño del dataset. Los resultados experimentales muestran que el método propuesto tiene un buen desempeño en términos de precisión de clasificación y tasa de reducción de instancias.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera. La sección 2 presenta un resumen del estado del arte en selección de instancias. Luego en la sección 3 se presentan formalmente los arreglos de cobertura. Después en la sección 4 se describe el método propuesto para selección de instancias basado en arreglos de cobertura. A continuación, en la sección 5 se muestran los resultados experimentales y se discuten los mismos. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y el trabajo que el grupo de investigación espera desarrollar en el futuro cercano.

2. Trabajos relacionados

A continuación, se presentan los trabajos relacionados (estado del arte) más importantes en la selección de instancias teniendo en cuenta las dos estrategias principales: Muestreo y selección de prototipos (Blachnik, 2019)(Olvera-López, Carrasco-Ochoa, Martínez-Trinidad, & Kittler, 2010).

2.1. Muestreo

El objetivo de las técnicas de muestreo es obtener una muestra representativa, es decir, una muestra en la que las instancias seleccionadas representen con precisión la población, donde la aleatoriedad tiene un papel importante. Por supuesto, obtener una muestra representativa de un gran volumen de datos, es una tarea especialmente desafiante, dada su naturaleza cambiante y su complejidad cada vez mayor en relación con el número de instancias. Sin embargo, los métodos ampliamente aceptados para obtener muestras son múltiples, incluyendo (Webb & Wang, 2016): muestreo aleatorio donde resalta la propuesta Random Mutation Hill Climbing (RMHC), muestreo estratificado, muestreo por agrupamiento, muestreo sistemático, muestreo de múltiples capas, muestreo doble o en dos fases y muestreo progresivo.

2.2. Selección de Prototipos

Los métodos de selección de prototipos reducen el conjunto de entrenamiento a pocas muestras altamente representativas. Esta técnica de selección de instancias busca crear subconjuntos de instancias que tengan mejores porcentajes de clasificación empleando la regla del vecino más cercano (NN) (Ramírez-Gallego, Krawczyk, García, Woźniak, & Herrera, 2017), se dividen en 4 grupos principales: basado en reglas del vecino más cercano, basados en eliminación ordenada, basados en algoritmos evolutivos y basados en longitud de codificación.

Selección basada en reglas del vecino más cercano (NN): Un algoritmo NN (nearest neighbors) busca conseguir un subconjunto del dataset de entrenamiento, que sirva para obtener la tasa de clasificación máxima con el clasificador KNN. Las desventajas más importantes de estos algoritmos incluyen: No obtienen buenos resultados con valores ruidosos ni con atributos irrelevantes; Son computacionalmente costosos, ya que guardan todas las instancias de entrenamiento; y el rendimiento depende de la elección

de la función de similitud para calcular la distancia entre dos instancias. A continuación, se presentan los algoritmos más relevantes basados en NN (Cano, Herrera, & Lozano, 2003):

- **Vecino más cercano condensado (CNN):** CNN o Condensed Nearest Neighbour busca un subconjunto S que logre clasificar correctamente todos los datos restantes en el conjunto de muestra T. Este algoritmo elige aleatoriamente una instancia de cada clase y las agrega a S (que al inicio está vació). Luego, cada instancia en T se clasifica con KNN usando solamente las instancias de S y si se clasifica incorrectamente se adiciona a S. El proceso se repite hasta que no existan instancias en el subconjunto T que se clasifiquen incorrectamente (Hart, 2004). CNN se ha convertido en un punto de referencia con el que se comparan la mayoría de los otros algoritmos.
- **Vecino cercano selectivo (SNN)**: Ritter et al (Ritter, Woodruff, Lowry, & Isenhour, 1975) extendieron el método CNN creando Selective Nearest Neighbor o SNN, de manera que cada miembro de T debe estar más cerca de un miembro de S de la misma clase que de cualquier miembro de T de una clase diferente. El método garantiza un subconjunto mínimo que satisface estas condiciones.
- **Aprendizaje basado en instancias (IBL, IB2, IB3, TIBL, BIBL**): Los algoritmos IBL (Instance Based Learning) no mantienen un conjunto de abstracciones del modelo creado a partir de las instancias, en lugar de eso, analizan cómo se puede reducir significativamente el requisito de almacenamiento, con la menor pérdida en la velocidad de aprendizaje y la precisión. Además, busca que se logre trabajar con instancias ruidosas, ya que muchos conjuntos de datos de la vida real tienen instancias de entrenamiento muy diferentes y KNN no funcionan bien con el ruido (Kibler & Aha, 2014).
- **Filtrado iterativo de casos (ICF):** ICF (Iterative Case Filtering) busca seleccionar las instancias que clasifican más prototipos correctamente. Este algoritmo utiliza la cobertura y otros conceptos accesibles para llevar a cabo la selección (Brighton & Mellish, 2002). ICF elimina las instancias cuyo alcance sea mayor a su cobertura, es decir, una instancia I se elimina cuando otras instancias brindan la misma información que I. ICF filtra las muestras empleando ENN.

Selección basada en eliminación ordenada: Esta técnica busca la reducción de instancias tolerando el ruido, alta precisión de generalización, insensibilidad al orden de presentación de las instancias y significativa reducción de almacenamiento, que a su vez mejora la velocidad de generalización (Wilson & Martinez, 2000)and can cause an oversensitivity to noise. This paper has two main purposes. First, it provides a survey of existing algorithms used to reduce storage requirements in instance-based learning algorithms and other exemplar-based algorithms. Second, it proposes six additional reduction algorithms called DROP1–DROP5 and DEL (three of which were first described inWilson & Martinez, 1997c, as RT1–RT3. Los algoritmos DROP1 a DROP5, se basan en la eliminación ordenada de instancias. Esta colección de heurísticas se utiliza para decidir qué instancias se deben mantener y qué instancias se deben eliminar de un conjunto de entrenamiento. A diferencia de los métodos anteriores, estos algoritmos toman una cuidadosa nota del orden en que se eliminan las instancias (Wilson & Martinez, 2000)

and can cause an oversensitivity to noise. This paper has two main purposes. First, it provides a survey of existing algorithms used to reduce storage requirements in instance-based learning algorithms and other exemplar-based algorithms. Second, it proposes six additional reduction algorithms called DROP1–DROP5 and DEL (three of which were first described inWilson & Martinez, 1997c, as RT1–RT3.

Selección basada en algoritmos evolutivos: Como la reducción de datos se puede ver como un problema de búsqueda, este se puede resolver utilizando algoritmos evolutivos (Cano et al., 2003). La idea básica es mantener una población de cromosomas (individuos), que representan soluciones plausibles al problema que evolucionan con el tiempo a través de un proceso de competencia y variación controlada. Los algoritmos evolutivos han obtenido resultados prometedores en la selección de instancias (Reeves & Bush, 2001). Uno de los algoritmos representativos de este enfoque en selección de instancias es Cross generational elitist selection Heterogeneous recombination Cataclysmic mutation algorithm (CHC).

Selección basada en longitud de codificación (EL): estos algoritmos se inspiraron en el principio de Encoding Length o EL de Cameron-Jones (Cameron-Jones, 1995), el cual determina qué tan bueno es el subconjunto S al describir T. El algoritmo básico comienza con una fase de crecimiento que toma cada instancia i en T y la agrega a S, si eso da lugar a un costo menor que al no agregarla. Al igual que con IB3, la fase de crecimiento puede verse afectada por el orden de presentación de las instancias (Wilson & Martinez, 2000)and can cause an oversensitivity to noise. This paper has two main purposes. First, it provides a survey of existing algorithms used to reduce storage requirements in instance-based learning algorithms and other exemplar-based algorithms. Second, it proposes six additional reduction algorithms called DROP1–DROP5 and DEL (three of which were first described inWilson & Martinez, 1997c, as RT1–RT3. El método Encoding Length Grow (ELGrow) realiza la reducción de instancias, eliminando cada instancia i en S, sólo si al hacerlo se reduce el costo del clasificador. El método Explore comienza con el crecimiento y la reducción de S utilizando el método ElGrow, y luego realiza 1000 mutaciones para tratar de mejorar el clasificador. Cada mutación intenta agregar una instancia a S, eliminando una de S o intercambiando una en S con una en T - S, y mantiene el cambio si no aumenta el costo del clasificador.

3. Arreglos de cobertura

Los Arreglos de cobertura son objetos matemáticos en los que se evalúan varios factores, parámetros o variables de interés, en donde cada factor contiene un cierto número de posibilidades o valores. Sus aplicaciones abarcan el diseño de experimentos, biología, análisis de fallas en ingeniería, entre otras (Timaná-Peña et al., 2016), y más recientemente las pruebas de calidad de software y hardware y el proceso de selección de características en minería de datos (Dorado, Cobos, Torres-Jimenez, Jimenez, & Mendoza, 2018; Villegas, Cobos, Mendoza, & Herrera-Viedma, 2018; Vivas, Cobos, & Mendoza, 2019).

Un CA se denota por CA(N; k, v, t), que corresponde a una matriz de N filas y k columnas, donde N es el número de experimentos o pruebas, k el número de factores o parámetros,

v es el número de símbolos (valores posibles) por cada parámetro, conocido también como alfabeto y t es el grado de interacción entre los parámetros, denominado fuerza. La **Ilustración 1** muestra el CA (5; 2, 4, 2), lo cual indica que es una matriz de 5 filas o casos de prueba (N = 5); cuatro factores (k = 4); alfabeto binario (v = 2), es decir cada celda solo tiene los valores de 0 o de 1; y que tiene fuerza dos (t = 2). La característica especial que tienen los CA es que cualquier conjunto t de columnas que se extraigan del arreglo, contiene todas las combinaciones posibles de v^t tuplas en al menos una de las filas, que para este caso significa que siempre existen las posibles tuplas [(0,0), (0,1), (1,0) y (1,1)] en cualquier combinación de a 2 columnas (fuerza 2).

$$CA(N = 5;\ t = 2, k = 4, v = 2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Ilustración 1 – Ejemplo de un CA binario de fuerza 2.

Respecto a los CAs y la selección de instancias, en esta investigación se establece que usando un CA binario, el valor de 0 representa la ausencia de una instancia y el valor de 1 la presencia de esta en el dataset de muestra, en este sentido, cada fila de un CA binario se utiliza como una referencia que sugiere un subconjunto de instancias candidatas a ser parte de un conjunto de entrada a un Modelo de Aprendizaje Supervisado (MAS), que en este caso puede ser cualquiera, no solamente KNN, de manera que sí se construyen varios modelos dados por dichos subconjuntos y se evalúan con un criterio de calidad apropiado, se cuenta con un nuevo algoritmo de selección de instancias que utiliza como criterio de búsqueda un CA binario. El éxito de encontrar el mejor subconjunto depende en este caso del número de interacciones posibles que el arreglo haya tomado en cuenta, lo cual puede ser controlado con el parámetro fuerza (t).

El CA de la **Ilustración 1** tiene cuatro factores (k=4), lo que indica que sirve para trabajar con datasets de hasta 4 instancias (filas o registros). Por ejemplo, si un dataset tiene las siguientes instancias: {carro; avión; bicicleta; motocicleta}. El CA genera 5 casos de prueba: {}, {avión; bicicleta; motocicleta}, {carro; bicicleta; motocicleta}, {carro; avión}, {carro; avión; bicicleta}. El tercer caso de prueba del CA es {1,0,1,1}, en esta investigación el 1 representa la presencia de la instancia, es por ello, que el caso de prueba resultante es {carro; bicicleta; motocicleta}.

4. Algoritmo propuesto

El algoritmo propuesto toma el dataset T, calcula el número de filas, busca en un repositorio (base de datos), el CA que cuente con la cobertura apropiada para este dataset con base en la fuerza f que el usuario defina. Después recorre una a una, las filas del CA, creando un dataset S basado en la configuración de cada fila del CA (este define qué instancias se incluyen o no en el nuevo dataset). Sobre cada dataset se ejecuta el

algoritmo de clasificación o MAS seleccionado (KNN, C4.5, Random Forest o cualquier otro), guardando el resultado de la ejecución y pasa a la siguiente fila del CA. Al terminar de recorrer todas las filas del CA, ordena los resultados utilizando el frente de Pareto para seleccionar las mejores soluciones y deja al usuario la decisión de escoger cual considera la mejor.

En la experimentación se asume que el usuario escoge aquella solución que tiene el menor porcentaje de instancias incorrectamente clasificadas (pct) y el mejor número de registros (mayor reducción del dataset), teniendo en cuenta el mismo peso para ambos criterios, aunque el usuario en la vida real puede determinar dar mayor peso a uno de estos dos criterios. La **Tabla 1** resume el algoritmo para la selección de instancias basado en arreglos de cobertura.

La función *ObtenerCoveringArray (T, f),* recibe como parámetro el dataset completo y la fuerza del CA. Esta función permite identificar cual CA del repositorio (actualmente se cuenta con CAs binarios de fuerza 2 a 6 hasta con 24310 filas para fuerza 2, hasta 10648 filas para fuerza 3 y así sucesivamente hasta 1373 filas para fuerza 6) se selecciona teniendo en cuenta la fuerza seleccionada y el número de registros del dataset. Si un dataset tiene un tamaño que supera el CA que provee el máximo número de casos de prueba, se debe dividir dicho dataset y buscar el CA ideal para cada partición, lo que implica ejecutar el mismo proceso de selección de instancias por cada partición (a la fecha esto no ha sido evaluado con la experimentación realizada y se establece como trabajo futuro).

La función *crearCasoPrueba (T, fila),* recibe como parámetro el dataset completo y una fila del CA, dicha fila está compuesta por columnas binarias, las cuales indican presencia o ausencia de una instancia. La función lee cada columna de la fila actual del CA, y si el valor es 1, indica que la instancia de la misma posición debe estar presente en el nuevo caso de prueba o dataset.

Otra función importante en el algoritmo se denomina seleccionarResultados (listaResultados). Esta rutina permite identificar cual es la mejor solución obtenida entre todos los casos de prueba, para ello utiliza un frente de Pareto como se muestra en **Ilustración 2**. En donde el eje Y, corresponde al porcentaje de error (instancias incorrectamente clasificadas), y el eje X, muestra el porcentaje del tamaño original del dataset, es decir, si el dataset original tiene 1000 instancias, y se genera un dataset de 350 instancias, este tendrá un 35% del tamaño original. Los puntos representan los casos de prueba (datasets reducidos) que se generaron a partir de las filas del CA. El punto C no está en el Frente de Pareto dado que es dominado por A y B, los cuales a su vez no son dominados por ningún otro punto, por lo tanto, están en el Frente. Para los experimentos, el punto seleccionado como el mejor, será aquel que tenga la menor distancia Euclidiana al origen, en este caso es el punto B.

Entradas:	T	Dataset de entrenamiento con todos los datos
	f	Fuerza requerida para el arreglo de cobertura
	MAS	Algoritmo de clasificación a ejecutar
Salida:	Un dataset S con el dataset de muestra seleccionado y el porcentaje de instancias correctamente clasificadas (pct), y el número de instancias seleccionadas en S.	

```
Inicio
        listaResultados = Vacío
        coveringArray = ObtenerCoveringArray (T, f)
        Para cada fila ∈ coveringArray haga
                S = crearCasoPrueba (T, fila)
                pct = ejecutarAlgoritmoClasificacion (S, MAS)
                Agregar pct, S y |S| a listaResultados
        Fin Para
        mejoresResultados = seleccionarResultados (listaResultados)
Fin
```

Tabla 1 – Algoritmo de reducción de instancias basado en arreglos de cobertura

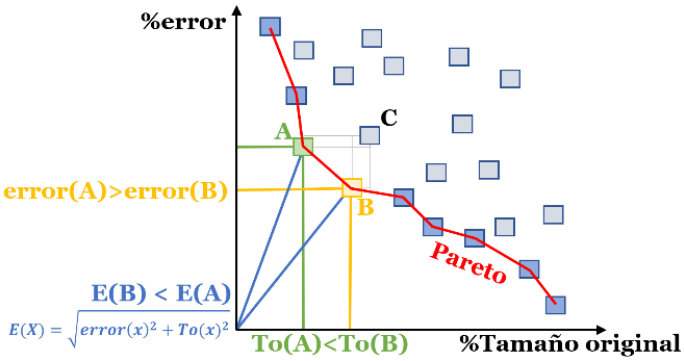


Ilustración 2 – Frente de Pareto.

El algoritmo retorna la lista de las mejores soluciones (frente de Pareto), aunque es una decisión que se le puede dejar al usuario, como se mencionó previamente, para efectos de dar una única respuesta en la experimentación, en este trabajo se selecciona como mejor, la que tenga menor distancia euclidiana al origen (Zille, Kottenhahn, & Mostaghim, 2017) (igual ponderación para los dos criterios).

5. Experimentación

La experimentación se realizó utilizando 26 datasets reconocidos como conjuntos de prueba en varios estudios, a saber: Banknote, Blood, Car, Climate, Contraceptive, Dermatology, Diabetes, Ecoli, Fertility, Glass, Haberman, Ionosphere, Iris, Leaf, Libras, Planning, Qsarbiodegradation, Seeds, Segment, Sonar, Soybean, Spectf, Vowel, Wine, Yeast y Zoo. La descripción detallada de estos se encuentra en el Repositorio de la Universidad de California en Irvine (UCI) (Merz & Murphy, 1998).

Para generar los casos de prueba basados en los CA, se usó una fuerza de 2 y de 3, ya que estas fuerzas han mostrado resultados satisfactorios en términos de efectividad, en experimentos similares en otras áreas, por ejemplo, una investigación del NIST (National Institute of Standards and Technology) desarrollada entre 1999 y 2004 reporta que la mayoría de los errores y fallas del software son causados por uno o dos parámetros, y muchos menos por tres o más. A este hallazgo se le conoce como la regla de la interacción y en concreto en pruebas de software implica que con fuerza 3 se logra una detección de errores y fallos entre el 75% y 98% y con fuerza 6 se logra una virtual detección del 100% (Kuhn, Kacker, & Lei, 2010). Experimentos futuros incluirán la evaluación de mayores niveles de fuerza.

Teniendo en cuenta, que este algoritmo es sensible al orden de los datos, se decide realizar 31 repeticiones del experimento por cada dataset, tomando diferente orden en las filas y así calcular un valor promedio válido de error y reducción de instancias (promedios que cumplan con el teorema del límite central).

En la **Ilustración 3**, se presenta el resumen de los resultados sobre los 26 datasets. El promedio del porcentaje de error y el promedio del tamaño del dataset original usando el algoritmo propuesto con fuerza 2 (f2) y fuerza 3(f3) con los clasificadores C4.5 (J48 de Weka) y 1NN (KNN con k=1 en Weka) y el valor de error obtenido por los clasificadores con el dataset completo. El menor promedio del porcentaje de error para cada dataset se indica con negrita. Los promedios de error logrados con el algoritmo propuesto que son menores al error del dataset completo se resaltan en amarillo, es decir, que la propuesta aquí planteada mejoró la calidad de los resultados, disminuyendo el error, y además el número de instancias. Por ejemplo, los resultados del dataset Blood al aplicar la propuesta aquí planteada con CA de fuerza 2 y 3, y ejecutando el algoritmo C4.5 obtiene los promedios de error 19,2% y 19,1% respectivamente, estos valores son menores que el error obtenido al ejecutar el algoritmo C4.5 sobre el dataset completo (22.7%), además se logra obtener un dataset con sólo el 41,4% (f2) y 45,4% (f3) del tamaño del dataset original.

En la **Ilustración 3** se muestra que el algoritmo aquí propuesto obtuvo para varios datasets un promedio de porcentaje de error igual o menor que el porcentaje de error utilizando el algoritmo de clasificación directamente sobre el dataset completo. Se generaron 104 resultados del promedio de error, para los 26 datasets, con los algoritmos C4.5, y KNN, con CA de fuerza 2 y 3, de los cuales 72 son menores o iguales (resaltados en amarillo) que el error obtenido del dataset completo; 38 corresponden a fuerza 2 (18 de C4.5 y 20 de 1NN) y 34 son de fuerza 3 (16 de C4.5 y 18 de 1KK). También se puede observar que el promedio de los errores obtenidos con los CA de f2 y f3 para el algoritmo C4.5 son 16,9% y 17.6% respectivamente; de igual manera para el algoritmo 1NN son de 17.3% y 18%. Se puede observar que los resultados del promedio de error, con los CA de f2 son ligeramente mejores frente a los CA de f3; Además, los CA de f2 obtienen datasets más pequeños que con f3.

Dataset	Algoritmo										Instancias dataset completo
	C4.5					1NN					
	Promedio %error		Promedio %Instancias		Error dataset completo	Promedio %error		Promedio %Instancias		Error dataset completo	
	f2	f3	f2	f3		f2	f3	f2	f3		
Banknote	**1,6%**	2,4%	46,5%	35,2%	1,4%	**0,0%**	0,2%	39,3%	21,4%	0,1%	1372
Blood	19,2%	**19,1%**	41,4%	45,4%	22,7%	23,4%	**23,2%**	40,8%	45,4%	28,3%	748
Car	11,5%	**10,7%**	43,0%	45,5%	8,4%	11,2%	**11,1%**	43,1%	45,5%	7,6%	1728
Climate	6,0%	**5,8%**	31,9%	41,6%	7,6%	8,7%	**8,1%**	29,5%	42,1%	11,9%	540
Contraceptive	**46,0%**	46,7%	44,1%	28,1%	48,5%	**52,4%**	52,6%	44,3%	24,8%	55,5%	1473
Dermatology	4,6%	**3,5%**	42,6%	45,3%	5,7%	4,0%	**3,5%**	40,9%	45,1%	6,3%	366
Diabetes	23,3%	**23,0%**	41,1%	45,4%	28,8%	25,9%	**25,7%**	41,4%	45,4%	29,7%	768
Ecoli	**15,1%**	**15,1%**	41,9%	45,2%	17,6%	**14,0%**	14,1%	37,6%	44,9%	19,0%	336
Fertility	7,0%	**6,1%**	36,7%	45,6%	16,0%	9,4%	**7,6%**	40,2%	45,4%	18,0%	100
Glass	**0,0%**	24,7%	0,0%	47,6%	34,6%	**0,0%**	24,7%	0,0%	47,8%	30,4%	214
Haberman	23,2%	**22,5%**	31,2%	44,9%	29,7%	26,6%	**26,2%**	33,7%	45,2%	31,7%	306
Ionosphere	8,1%	**8,0%**	42,1%	45,5%	10,3%	11,1%	**11,0%**	41,3%	45,4%	14,0%	351
Iris	**2,9%**	5,0%	35,2%	44,4%	4,0%	1,8%	**1,6%**	30,3%	33,0%	6,0%	150
Leaf	42,6%	**42,3%**	44,7%	45,5%	37,9%	**85,5%**	88,2%	29,2%	45,3%	96,2%	340
Libras	41,5%	**41,0%**	46,4%	45,4%	36,7%	19,1%	**18,9%**	47,7%	45,4%	15,0%	360
Planning	23,4%	**21,8%**	37,5%	46,0%	28,6%	29,9%	**28,4%**	38,6%	46,7%	33,0%	182
Qsarbiodegradation	15,1%	**14,2%**	40,6%	45,5%	15,6%	15,4%	**14,5%**	40,0%	45,4%	15,8%	1055
Seeds	6,6%	**5,3%**	40,0%	46,7%	11,0%	3,6%	**2,6%**	40,0%	47,8%	7,6%	210
Segment	4,4%	**4,2%**	44,7%	45,5%	3,5%	4,0%	**3,6%**	44,1%	45,5%	3,1%	2310
Sonar	22,8%	**20,3%**	40,0%	47,1%	28,8%	12,7%	**11,0%**	40,1%	48,2%	13,0%	208
Soybean	10,8%	**10,6%**	43,0%	45,4%	9,2%	9,0%	**8,8%**	42,0%	45,5%	8,5%	683
Spectf	16,3%	**16,1%**	41,5%	45,5%	13,5%	**19,4%**	19,9%	43,2%	45,6%	17,8%	349
Vowel	30,8%	**30,0%**	46,8%	45,5%	22,6%	11,2%	**10,3%**	45,4%	45,5%	0,8%	990
Wine	**6,6%**	10,3%	39,0%	41,8%	8,4%	**1,9%**	4,1%	36,2%	38,9%	3,9%	178
Yeast	43,0%	**42,9%**	45,3%	31,6%	44,6%	46,6%	**45,7%**	43,9%	29,7%	49,1%	1484
Zoo	6,6%	**5,5%**	43,9%	45,4%	7,9%	2,7%	**2,3%**	43,0%	45,3%	5,9%	101
Promedio	**16,9%**	17,6%	**39,7%**	43,7%	19,4%	**17,3%**	18,0%	**38,3%**	42,5%	20,3%	

Ilustración 3 – Resumen de resultados.

Teniendo en cuenta los resultados de C4.5 en la columna "promedio % error", para el método propuesto con fuerza 2, fuerza 3 y sin aplicar el método (dataset completo), en los 26 datasets se realizó el test estadístico no paramétrico de Friedman y el ranking que se obtuvo ubicó al método propuesto con fuerza 3 en la primera posición, luego el de fuerza 2 y por último el dataset completo, sin embargo, este ranking no fue válido estadísticamente hablando dado que el valor p de la prueba no fue menor que 0,05, en este caso fue de (0,03952). Teniendo en cuenta que las tres opciones son comparables, se toma como mejor opción al método propuesto con fuerza 2, ya que con este se obtiene un menor costo computacional y adicionalmente el número de instancias que genera con respecto al dataset original es menor.

La misma prueba estadística fue usada sobre los resultados de 1NN, en este caso, el ranking en relación con el "promedio % error" fue el mismo (1-método propuesto fuerza 3, 2-método propuesto fuerza 2 y 3-dataset completo), con un valor p de 0,006 que lo hace estadísticamente valido. Después se realizó el post hoc de Holm y como resultado

se obtuvo, que tanto el método en fuerza 3, como en fuerza 2, dominan los resultados obtenidos con el dataset completo, con un 95% de significancia y que entre ellos (fuerza 3 y fuerza 2) no se puede establecer relación de dominancia. Teniendo en cuenta esto último, también se seleccionó el método propuesto con fuerza 2 por las mismas razones expresadas en la prueba estadística de C4.5, ya que usa menos tiempo de ejecución y reduce más filas del dataset original.

Para mejorar la interpretación de los datos, se realizaron unos diagramas de cajas y alambres sobre los resultados obtenidos con los CA de f2. Estos diagramas, buscan resumir visualmente y comparar grupos de datos, utilizando la mediana, los cuartiles, la dispersión y la simetría de la distribución de los datos. Además, permite identificar los valores atípicos. Esta técnica permite identificar visualmente patrones que de otra manera podrían estar ocultos en un conjunto de datos.

La **Ilustración 4**, muestra un diagrama de cajas y alambres, para los 31 resultados de nuestra propuesta sobre el dataset Haberman, utilizando CA de fuerza 2 y el algoritmo de clasificación 1NN. Este diagrama consiste en un rectángulo dividido por una línea vertical indicando la posición de la mediana, a la derecha el tercer cuartil y a la izquierda el primer cuartil, el segundo cuartil coincide con la mediana. El diagrama tiene como extremos el valor mínimo (izquierda) y máximo (derecha) de los resultados. Las líneas que se extienden del rectángulo, se denominan alambres o bigotes, los cuales tienen un límite de prolongación. Cada dato que no se encuentre en ese rango, se dibuja individualmente, como un valor atípico. En esta ilustración, la parte izquierda de la caja es mayor que la ubicada a la derecha, esto implica que es asimétrica a la izquierda y los porcentajes de error tienden a estar más entre 24,9699% y 27,0968%. El alambre de la izquierda muestra el resultado menor esperado 22,2222%, sin embargo, existe un resultado atípico, que se aleja de los valores esperados, 9,2593%, que es mucho menor a la mayoría de los resultados.

La **Ilustración 5** y la **Ilustración 6**, representan el resumen del porcentaje de error, después de las 31 repeticiones de la propuesta planteada, utilizando CA de fuerza 2 y los algoritmos C4,5 y 1NN. En estas ilustraciones se muestra que, la mayoría de los resultados del porcentaje de error tienden a estar entre 0% y 30%. Al compararlas por dataset sin importar el clasificador son bastante similares.

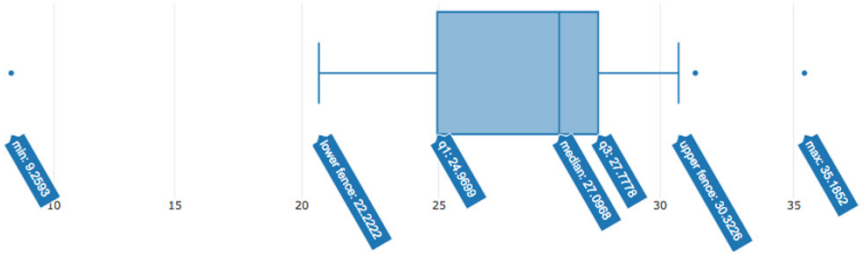


Ilustración 4 – Diagrama de cajas y alambres resultado para el dataset Haberman

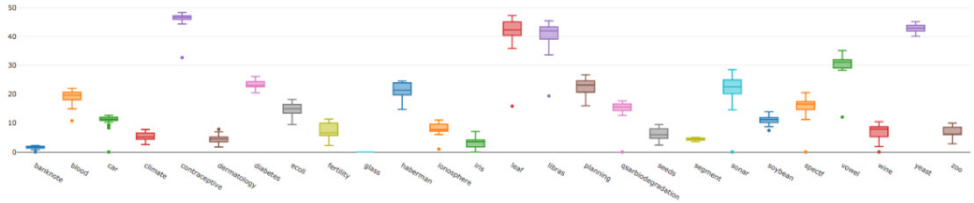


Ilustración 5 – Porcentaje de error con C4.5 usando CAs de fuerza 2

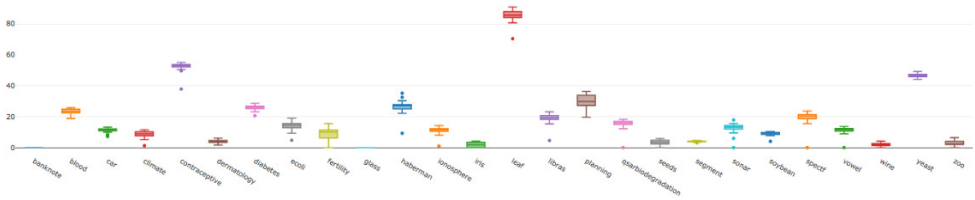


Ilustración 6 – Porcentaje de error con 1NN usando CAs de fuerza 2

En la **Ilustración 7** y la **Ilustración 8**, se muestra el porcentaje de instancias con respecto al dataset original (a qué porcentaje queda reducido el dataset original?) de cada uno de los 26 datasets. En ellas se puede observar que el tamaño de cada dataset resultante tiende al mismo tamaño en todos. Esto se debe, a que en la mayoría de los casos se usaron CAs óptimos, por lo tanto, la cantidad de filas seleccionadas en cada registro del CA en general tiende a ser el mismo valor. Por el ello el "Promedio %Instancias" es muy similar, dando como resultado, datos que tienen medianas muy similares, y pocos diagramas tienen alambres. Los casos con varianza alta son el resultado de usar CAs más grandes de lo requerido en el dataset a los cuales se les quitan algunas columnas y por dicha operación siguen siendo CAs, pero ya no son óptimos. Para evitar esto se puede considerar un paso previo de optimización del CA con un algoritmo voraz. En estas ilustraciones se evidencia que el comportamiento es un tanto diferente de acuerdo con el clasificador que se use.

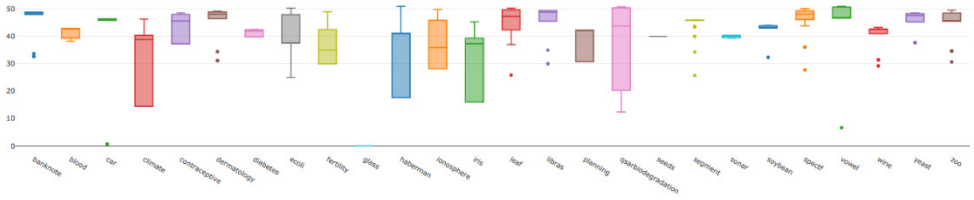


Ilustración 7 – Porcentaje de instancias con C4.5 usando CAs de fuerza 2

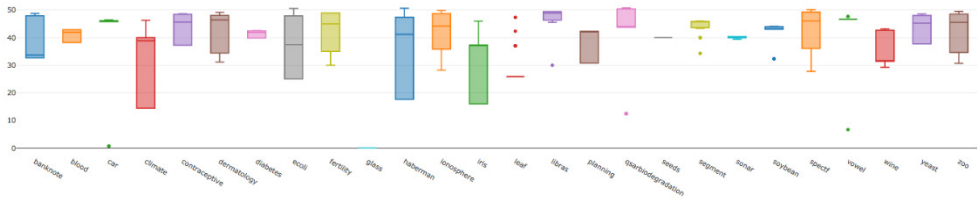


Ilustración 8 – Porcentaje de instancias con 1NN usando CAs de fuerza 2

6. Conclusiones y trabajo futuro

En una era en que aumenta exponencialmente los volúmenes de datos, es vital mejorar las técnicas de reducción de datos o selección de instancias, con el objetivo de hacer más eficiente el preprocesamiento de datos en procesos de KDD. En este artículo, se ha propuesto un algoritmo de selección de instancias enfocado en muestreo basado en arreglos de cobertura. En los experimentos, se pudo observar que el rendimiento del clasificador C4.5, en términos de precisión de clasificación y tasas de reducción de datos, usando el algoritmo propuesto con CAs de fuerza 2 y fuerza 3 lograron disminuir el error de clasificación de 19,4% a 16,9% (f2) y 17,6% (f3) en los 26 dataset, logrando además reducir el porcentaje de instancias en promedio en un 39,6% (f2) y 43,7% (f3). Por otro lado, en el algoritmo 1NN, se logró disminuir el error de clasificación de 20,3% a 17,3% (f2) y 18% (f3), además los datasets se lograron reducir en un 38,3% (f2) y 42,5% (f3). Estos resultados permiten afirmar que el algoritmo propuesto logra en promedio reducir el porcentaje de error y el número de instancias de los datasets al mismo tiempo usando C4.5 y 1NN. Cabe destacar, que esta propuesta es sensible al orden de las instancias en los datasets, si este orden se altera, los resultados cambian, pero como se muestra en los experimentos la variabilidad no es sustancial.

El trabajo futuro incluye: 1) incorporar más dataset de diferentes dominios de aplicación y en especial que tengan grandes volúmenes de datos para aplicar el método particionando el dataset. 2) comparar la propuesta con otros algoritmos de clasificación disponibles en el estado del arte (Random Forest, Naïve Bayes, entre otros) y otros algoritmos de reducción de instancias (RMHC, Explore, LVQ, MC1, DEL o C-Pruner). 3) realizar experimentos usando CAs de fuerza 4 y 5 y analizar los resultados en conjunto con los presentados en este artículo. 4) Evaluar el uso de arreglos de cobertura incrementales (incremental covering arrays) binarios, que en un solo objeto incluyen diferentes niveles de fuerza. Y 5) realizar la reducción de instancias usando iterativamente el algoritmo propuesto, es decir, al resultado del algoritmo, se le aplica nuevamente el mismo algoritmo y si todavía se mantiene la calidad o se mejora, se vuelve a aplicar hasta que una medida de calidad detenga el proceso iterativo, esto permitiría obtener datasets mucho más compactos.

Referencias

Blachnik, M. (2019). Ensembles of instance selection methods: A comparative study. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, *29*(1), 151–168.

Brighton, H., & Mellish, C. (2002). Advances In Instance Selection For Instance-Based. *Data Mining and Knowledge Discovery*, *6*(2), 153–172.

Cameron-Jones, R. . (1995). Instance Selection by Encoding Length Heuristic with Random Mutation Hill Climbing. In *Eighth Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Canberra* (pp. 99-106).

Cano, J. R., Herrera, F., & Lozano, M. (2003). Using evolutionary algorithms as instance selection for data reduction in KDD: An experimental study. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *7*(6), 561–575.

Dorado, H., Cobos, C., Torres-Jimenez, J., Jimenez, D., & Mendoza, M. (2018). A Proposal to Estimate the Variable Importance Measures in Predictive Models Using Results from a Wrapper. *Lecture Notes in Computer Science*, *11308*, 369–383.

Hart, P. (2004). The condensed nearest neighbor rule (Corresp.). *IEEE Transactions on Information Theory*, *14*(3), 515–516.

Huan, L., & Motoda, H. (2001). *Instance Selection and Construction for Data Mining*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3359-4

Kibler, D., & Aha, D. W. (2014). Learning Representative Exemplars of Concepts: An Initial Case Study. In *Proceedings of the Fourth International Workshop on Machine Learning* (pp. 24–30). https://doi.org/10.1016/b978-0-934613-41-5.50006-4

Kuhn, D. R., Kacker, R. N., & Lei, Y. (2010). *SP 800-142. Practical Combinatorial Testing*. Gaithersburg, MD, United States: National Institute of Standards & Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-142

Merz, C. J., & Murphy, P. M. (1998). UCI repository of machine learning databases. Retrieved November 1, 2018, from https://archive.ics.uci.edu/ml/index.php

Olvera-López, J. A., Carrasco-Ochoa, J. A., Martínez-Trinidad, J. F., & Kittler, J. (2010). A review of instance selection methods. *Artificial Intelligence Review*, *34*(2), 133–143.

Ramírez-Gallego, S., Krawczyk, B., García, S., Woźniak, M., & Herrera, F. (2017). A survey on data preprocessing for data stream mining: Current status and future directions. *Neurocomputing*, *239*, 39–57.

Reeves, C. R., & Bush, D. R. (2001). Using Genetic Algorithms for Training Data Selection in RBF Networks. In *Instance Selection and Construction for Data Mining* (pp. 339–356). https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3359-4_19

Ritter, G. L., Woodruff, H. B., Lowry, S. R., & Isenhour, T. L. (1975). An Algorithm for a Selective Nearest Neighbor Decision Rule. *IEEE Transactions on Information Theory*, *21*(6), 665–669.

Timaná-Peña, J., Cobos, C., & Torres-Jimenez, J. (2016). Metaheuristic algorithms for building Covering Arrays: A review. *Revista Facultad de Ingeniería*, *25*(43), 31–45.

Villegas, J., Cobos, C., Mendoza, M., & Herrera-Viedma, E. (2018). Feature Selection Using Sampling with Replacement, Covering Arrays and Rule-Induction Techniques to Aid Polarity Detection in Twitter Sentiment Analysis. *Lecture Notes in Computer Science*, *11238*, 467–480.

Vivas, S., Cobos, C., & Mendoza, M. (2019). Covering Arrays to Support the Process of Feature Selection in the Random Forest Classifier. *Lecture Notes in Computer Science*, *11331*, 64–76.

Webb, L. M., & Wang, Y. (2016). Techniques for Sampling Online Text-Based Data Sets. In *Big Data* (pp. 655-675). https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9840-6.ch030

Wilson, D. R., & Martinez, T. R. (2000). Reduction Techniques for Instance-Based Learning Algorithms. *Machine Learning*, *38*, 257–286.

Wu, X., Kumar, V., Ross Quinlan, J., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., ... Steinberg, D. (2008). Top 10 algorithms in data mining. *Knowledge and Information Systems*, *14*(1), 1–37.

Zille, H., Kottenhahn, A., & Mostaghim, S. (2017). Dynamic Distance Minimization Problems for dynamic multi-objective optimization. In *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2017 - Proceedings* (pp. 952–959). https://doi.org/10.1109/CEC.2017.7969411

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

Recebido/Submission: 29/04/2019
Aceitação/Acceptance: 19/07/2019

Modelo de evaluación del Dominio Control de Acceso de la norma ISO 27002 aplicado al proceso de Gestión de Bases de Datos

Susana Patiño[1], Alexander Caicedo[1], Erika Reina Guaña[2]

susana.patino@pucese.edu.ec, romario20030@gmail.com, ereina2804@gmail.com

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, 080100, Esmeraldas, Ecuador.

Unidad Educativa Fiscomisional Sagrado Corazón, 080101, Esmeraldas, Ecuador.

Pages: 230–241

Resumen: en el presente estudio se realizó el análisis de las vulnerabilidades del proceso de Gestión de bases de datos de dos instituciones basado en el dominio control de acceso de la norma internacional ISO 27002 y el modelo de madurez de la administración de la seguridad de la información (ISM3). Se establecieron 14 preguntas organizadas en 4 categorías: requisitos de negocio para el control de acceso, control de acceso a sistemas y aplicaciones, responsabilidad del usuario y gestión de acceso de usuario. Se aplicó tres técnicas: la entrevista, observación y una prueba técnica que se ejecutó con el fin de evaluar cada una de las categorías. Se evidenció que la empresa A obtuvo el nivel de madurez *controlado*, a diferencia de la empresa B que obtuvo *administrado*. Por último, se presenta los mecanismos de seguridad que son utilizados para mitigar las vulnerabilidades del proceso de gestión de bases de datos.

Palabras-clave: gestor de base de datos; control de acceso; vulnerabilidades en base de datos; ISO 27002; ISO 27001

Abstract: in this study, the analysis of the vulnerabilities of the Database Management process of two institutions was conducted based on the access control domain of the international standard ISO 27002 and the maturity model of the information security administration (ISM3). 14 questions organized in 4 categories were established: business requirements for access control, access control to systems and applications, user responsibility and user access management. Three techniques were applied: the interview, observation and a technical test that was executed in order to evaluate each of the categories. It was evidenced that company A obtained the level of maturity controlled, unlike company B that obtained managed. Finally, the security mechanisms that are used to mitigate the vulnerabilities of the database management process are presented.

Keywords*:* database manager; access control; database vulnerabilities; ISO 27002; ISO 27001.

1. Introducción

Con el surgir de nuevas tecnologías aparecen nuevos ataques que infringen la seguridad de los sistemas informáticos lo que provoca una mayor demanda de controles o salvaguardas para la protección de la información. Sin embargo, algunas organizaciones dejan de lado la seguridad informática, al ser un ámbito de incredulidad por parte de dueños de las empresas y ejecutivos, al estimar que no les ocurrirá y no proveen posibles intromisiones a sus sistemas, por esta razón no cuentan con especialistas o herramientas para detectar el fraude informático (Burgos y Campos, 2008). Por lo tanto, los activos que almacenan la información crítica de la empresa tienen vulnerabilidades que son utilizadas por los atacantes informáticos, y su objetivo principal por lo general es el acceso a las bases de datos de la organización. Saraswat y Tripathi (2014), indican muchas formas en que una base de datos es comprometida, por esta razón es necesario enfocarse en un marco de trabajo que proporcione guías de buenas prácticas, que salvaguarden la gestión de la seguridad de la información de los interesados (Solarte, Enriquez y del Carmen, 2015).

En respuesta, la Organización Internacional de Estandarización (ISO) propone la norma ISO 27000 que permite planificar, ejecutar, verificar y proceder ante fallos e interrupciones en la seguridad de la información de las infraestructuras (Disterer, 2013). Específicamente, la norma ISO 27002, interviene en el proceso de implementación de un sistema de gestión de seguridad de la información, mediante restricciones, excepciones y controles aplicables como medidas de seguridad informática y a la seguridad de la información en forma de políticas y procedimientos (Valencia y Orozco, 2017; Solarte, Enriquez y del Carmen, 2015). La norma se diseñó para ser usada como referencia a la hora de seleccionar controles dentro del proceso de implantación de un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI) o bien como documento guía para organizaciones que implementen controles de seguridad de la información comúnmente aceptados (ISO/IEC 27002, 2013).

En el presente trabajo se define un modelo de evaluación de acceso a las bases de datos de acuerdo con los controles propuestos por la norma ISO 27002. El modelo consiste en un grupo de 4 componentes basados en las categorías del dominio 9 control de acceso, y ayuda a determina el nivel de madurez de la seguridad de la información que tiene la administración de las base de datos verificando el cumplimiento y eficiencia de los controles implementados.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente forma: en la Sección 2 se detalla los trabajos relacionados, Sección 3 el dominio control de acceso basado en la ISO 27002. Sección 4 se enmarca el modelo de evaluación y la Sección 5 la metodología. Por último, la Sección 6 los resultados de la evaluación y en la Sección 7 las conclusiones y trabajos futuros.

2. Trabajos relacionados

Las empresas implementan sistema de base de datos con el fin de administrar sus datos y proveer la información a los sistemas informáticos que son utilizados por los usuarios en la ejecución de sus actividades diarias. Si embargo el control de acceso es la principal

preocupación de las violaciones de seguridad causadas por intrusos. Quisbert (2014), en su investigación para mitigar las vulnerabilidades que existen en las bases de datos. El sistema utilizó agentes inteligentes, almacenados en una base de datos de conocimiento, bajo un patrón de vulnerabilidad, con el fin de avisar a tiempo sobre alguna vulneración. El autor indicó que el 70% de las vulnerabilidades son internas y el 30% externas.

En el estudio con el tema "Solución basada en el Razonamiento Basado en Casos para el apoyo a las auditorías informáticas a bases de datos", de los autores Azán et al. (2014), se realizó un proceso de auditoría a los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD), en el Departamento de Seguridad Informática a través de matrices de diagnóstico o listas de chequeo. Los expertos determinaron los niveles de riesgos de la seguridad de la información en alto, medio y bajo después de un análisis de los SGBD. El estudio tuvo como resultado la construcción de un sistema que permite monitorear los SGBD: PostgreSQL, MySQL, SQL Server y Oracle.

3. Dominio Control de Acceso aplicado a la gestión de Base de Datos

La información es el activo más importante en las empresas debido a su uso para la ejecución normal de las actividades del personal y la fuente para la toma de decisiones críticas de los *stakeholders*. Sin embargo, la información más sensible esta almacenada en los servidores, especialmente en los gestores de base de datos, bajo la responsabilidad del área de Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) y debe ser salvaguardada adecuadamente contra el robo y manipulación de personal no autorizado.

Por otra parte, la ISO propone la familia 27000, con el fin de proporcionar directrices para mantener la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información a través de la implementación de un SGSI. La norma ISO 27001 plantea requisitos tangibles y obligatorios para la implementación de un SGSI y proporciona una herramienta global para la instauración de un sistema de alta calidad, indispensable y útil para cualquier institución (Patiño, Solís, Sang, & Arroyo, 2018). Específicamente la norma ISO 27002 en su versión 2013 consta de un total de 14 capítulos de controles, 35 categorías principales y 114 controles, en el capítulo control de acceso contiene los mecanismos necesarios para salvaguardar el acceso a las aplicaciones, sistemas operativos e información (ISO/IEC 27002, 2013). A continuación, se detallan las 4 categorías del dominio control de acceso aplicadas a la gestión de base de datos.

3.1. Categoría requisitos de negocio para el control de acceso

Se orienta a limitar el acceso a los recursos de tratamiento de información y a la información en sí. Por lo tanto, es importante definir políticas de control de acceso que permita gestionar el derecho de acceso de los usuarios a las bases de datos, así como una clara segregación de funciones para obtener un control adecuado de los gestores de base de datos. Es necesario, separar los ambientes de producción y desarrollo, y definir las funciones para el Administrador de Base de Datos (DBA) y los programadores.

Asimismo, se debe especificar en las reglas de negocio los cambios de los permisos de los usuarios iniciados automáticamente por el sistema y aquellos iniciados por

el administrador de sistema gestor de base de datos. Además, las reglas deben estar especificadas en procedimientos formales, así como las responsabilidades del DBA.

3.2. Categoría gestión de acceso de usuario

Consiste en garantizar el acceso de usuarios autorizados y evitar el acceso no autorizado a los sistemas y servicios. Debe implantarse un procedimiento formal de registro y retirada de usuarios que haga posible la asignación de los derechos de acceso. Asimismo, un procedimiento formal para asignar o revocar los derechos de acceso para todos los tipos de usuarios de todos los sistemas y servicios. La asignación y el uso de privilegios de acceso debe estar restringida y controlada. La asignación de la información secreta de autenticación debe ser controlada a través de un proceso formal de gestión.

Los propietarios de los activos deben revisar los derechos de acceso de usuario a intervalos regulares. Los derechos de acceso de todos los empleados y terceras partes, a la información y a los recursos de tratamiento de la información deben ser retirados a la finalización del empleo, del contrato o del acuerdo, o ajustados en caso de cambio.

El acceso y los servicios de red deben ser manejados solo por usuarios autorizados, principalmente que no existan identificadores redundantes, es decir, no proveer a varios usuarios las mismas credenciales para el acceso a los datos. Por lo tanto, se recomienda realizar un procedimiento formal que controle la asignación y revocación de privilegios de los usuarios luego de la salida y término de sus actividades profesionales en la empresa (ISO/IEC 27002, 2013).

Además, es necesario evitar la elevación de privilegios no autorizados, es decir el DBA podría elevar accesos de un usuario normal a uno tipo administrador del sistema. Por ejemplo, en MySQL se puede usar los comandos *show grants* para verificar qué cuentas tienen acceso a qué. Luego usar *revoke* para eliminar los privilegios que no son necesarios. De igual manera SQL Server utiliza la declaración *revoke* para revocar los privilegios.

Las entidades deben realizar un proceso formal de gestión de información secreta de autenticación de los usuarios, para poder llevar de mejor manera dicha información.

3.3. Categoría responsabilidad del usuario

Se debe requerir a los usuarios que sigan las prácticas de la organización en el uso de la información secreta de autenticación, es decir la forma cómo los usuarios salvaguardan la información de autentificación a los sistemas, así como establecer contraseñas de calidad, las cuales deben ser cambiadas periódicamente. Por lo tanto, el gestor de base de datos debe contar con un método de autenticación seguro que exija el ingreso de una contraseña para acceder al gestor de base de datos de la empresa.

3.4. Categoría control de acceso a sistemas y aplicaciones

Es importante prevenir el acceso no autorizado a los sistemas y aplicaciones de acuerdo con la política de control de acceso previamente definida. Sin embargo, es necesario la definición de un procedimiento seguro de inicio de sesión con adecuados controles de aplicación implementados.

Si existe acceso al gestor de base de datos por medio de la red, debe configurarse la contraseña a través de un mecanismo de encriptación para evitar que sea escuchada por usuarios no autorizados. Además, se debe almacenar las acciones de inserción, modificación, eliminación y lectura de registros de los usuarios por medio de registros de auditoria para ayudar a detectar de una manera eficaz si se está vulnerando el gestor de base de datos.

Por otra parte, el gestor de base de datos no debe permitir ver la contraseña al momento de escribirla, así como configurar un mínimo de tiempo posible de duración de las sesiones que están inactivas durante un determinado tiempo. Además, evitar configuraciones por defectos o situar la contraseña en los códigos fuente de los sitios web de la empresa.

4. Modelo de Evaluación de la Seguridad en la gestión de Base de Datos

En esta sección se aborda el modelo de evaluación a través de las 4 categorías del dominio de control de acceso de la norma ISO 27002 y el modelo de madurez ISM3.

4.1. Elementos del Modelo de Evaluación

Los elementos del modelo son las 4 categorías del dominio 9 control de acceso de la norma ISO 27002. A partir de los controles propuestos en el dominio, se diseñó un cuestionario de 14 preguntas (Tabla 1).

Categorías del Dominio 9 Control de Acceso de la norma ISO 27002	Preguntas	Técnica de Recolección de información	Evidencia
9.1 Requisitos de negocio para el control de acceso	1. ¿Cuenta con una política de control de acceso basada en los requisitos de negocio y de seguridad de la información?	Entrevista Observación	DBA Documento
	2. ¿El acceso a las redes y servicios en red lo realizan solo los usuarios autorizados?	Prueba de penetración	Servicios Web
9.2 Gestión de accesos de usuario	3. ¿Cuenta con un procedimiento de asignación de derechos de acceso en el que contemple el registro y baja de usuarios?	Entrevista Observación	DBA Documento
	4. ¿Cuenta con un procedimiento formal para la asignación y revocación de los derechos de acceso de los sistemas?	Entrevista Observación	DBA Documento
	5. ¿Cuentan con un control en la asignación y uso de privilegios de acceso?	Entrevista Observación	DBA Sistema Informático
	6. ¿Cuentan con un proceso de gestión de la información secreta de autenticación de los usuarios?	Entrevista Observación	DBA Sistema Informático
	7. ¿Realizan revisiones de los derechos de acceso de usuario?	Observación	Gestor de Base de Datos
	8. ¿Realizan reasignación o retirada de los derechos de acceso de usuario cuando un empleado finaliza sus actividades de la empresa?	Observación	Gestor de Base de Datos

9.3 Responsabilidad del usuario	9. ¿Se realiza controles en el uso de la información secreta de autenticación por parte del administrador de base de datos?	Entrevista Observación	DBA Sistema Informático
9.4 Control de acceso a sistemas y aplicaciones	10. ¿Cuentan con alguna restricción en el acceso a la información y a las funciones de las aplicaciones?	Prueba de penetración	Servicios Web
	11. ¿Existe un procedimiento seguro de inicio de sesión?	Entrevista Observación	DBA Gestor de Base de Datos
	12. ¿La empresa cuenta con un sistema para la gestión de contraseña?	Entrevista Observación	DBA Sistema Informático
	13. ¿Existe registros de auditoria donde se evidencie las acciones de los usuarios?	Entrevista Observación	DBA Gestor de Base de Datos
	14. ¿Existe instalación de actualización del gestor de base de datos?	Entrevista Observación	DBA Gestor de Base de Datos

Tabla 1 – Elementos del Modelo de Evaluación

4.2. Descripción del nivel de madurez

Como respuesta, el cuestionario tiene un conjunto de opciones basado en una escala del modelo de madurez. Un modelo de madurez de la seguridad de la información promueve una correcta utilización de las buenas prácticas debido a que orientan sobre el nivel en el que se encuentran y así se conduce a un alto nivel de madurez de la seguridad de la información.

Valor	Nivel de madurez	Descripción
1	No definido	No existe o no se ha considerado.
2	Definido	Las organizaciones documentan y utilizan procesos de seguridad de la información
3	Administrado	Las organizaciones utilizan los resultados de los procesos para mejorar los procesos individuales
4	Controlado	Se establecen metas específicas y puede predecir con precisión la necesidad de recursos
5	Optimizado	Es un entorno controlado

Tabla 2 – Nivel de madurez ISM3. Fuente: (Le & Hoang, 2016)

El modelo de madurez utilizado es el Modelo de Madurez de Gestión de Seguridad de la Información (ISM3-Information Security Management Maturity Model) debido a que maneja métricas de Seguridad de la Información, que ayudan a mantener a la organización

en un nivel de riesgo aceptable, se ajusta tanto a pequeñas como a grandes organizaciones, es muy utilizado y adaptable para necesidades específicas como ciberseguridad. (Rea-Guaman, Sánchez-García, San Feliu Gilabert & Calvo-Manzano Villalón, 2017)

5. Metodología de investigación

El modelo se aplicó en dos entidades ubicadas en Ecuador, las cuales estuvieron de acuerdo en proporcionar información para el presente estudio. Por motivo de confidencialidad por parte de las empresas colaboradoras, los nombres no son revelados en el documento por lo tanto se asignó una letra genérica a cada una:

A = Institución privada de 218 empleados en el año 2018. Único responsable de la administración de las bases de datos. Los gestores de base de datos son SQL Server estándar con licencia y MySQL.

B = Institución pública de aproximadamente 250 empleados en el año 2018. Posee un único responsable. Los gestores de base de datos son SQL Server Express y MySQL.

5.1. Recolección de datos

La evaluación consistió en aplicar tres métodos de recolección de datos: entrevista, observación y prueba técnica. Es decir, se aplicó la entrevista al DBA y se utilizó el cuestionario detallado en la Tabla 1, posteriormente a través de la observación se analizó los controles con el fin de evidenciar las respuestas del encuestado y obtener soporte de lo respondido.

5.1.1. Prueba de Penetración

La tercera técnica de recolección de información fue la ejecución de una prueba de penetración con el objetivo de identificar las vulnerabilidades y evaluar la eficiencia de los controles de seguridad en el acceso a sistemas y aplicaciones de la organización. Primeramente, se identificó y recolectó información del objetivo. En la página oficial de la empresa se identificó los servicios web vulnerables. La herramienta utilizada fue SqlMap que permite ejecutar pruebas de inserción de código abierto, con las que se localiza y aprovecha vulnerabilidades de inyección SQL (Barinas, Alarcón, y Callejas, 2014). Es decir, a través de la herramienta SqlMap se valida cadenas de SQL Injection que proporciona información que permite identificar el gestor de base de datos u otro dato como errores de programación interna.

En el análisis de los servicios web de la institución A se identificó que las páginas tenían protocolos de seguridad https y se verificó que el inicio de sesión contaba con los controles de aplicación impidiendo el acceso a terceros no autorizados (Figura1).

En la institución B se identificó una página vulnerable, la cual no contaba con el certificado de seguridad SSL, y se comprobó que la página de inicio de sesión no tiene controles de aplicación que permita verificar si se está enviando cadenas sql en sus cajas de texto. Además, a través de la url vulnerable se logró obtener el nombre de 15 bases de datos y después se procedió a obtener de una de ellas el listado de las tablas (Figura 2).

```
C:\sqlmap>sqlmap.py -u [redacted]
        ___
       __H__
 ___ ___[(]_____ ___ ___  {1.2.1.5#dev}
|_ -| . [,]     | .'| . |
|___|_  [.]_|_|_|__,|  _|
      |_|V          |_|   http://sqlmap.org

[!] legal disclaimer: Usage of sqlmap for attacking targets without prior mutual consent is illegal. It is the end user'
s responsibility to obey all applicable local, state and federal laws. Developers assume no liability and are not respon
sible for any misuse or damage caused by this program

[*] starting at 16:10:08

[16:10:32] [WARNING] you've provided target URL without any GET parameters (e.g. '[redacted]')
 and without providing any POST parameters through option '--data'
do you want to try URI injections in the target URL itself? [Y/n/q] Y
[16:10:35] [INFO] testing connection to the target URL
[16:10:37] [INFO] checking if the target is protected by some kind of WAF/IPS/IDS
[16:10:37] [CRITICAL] heuristics detected that the target is protected by some kind of WAF/IPS/IDS
do you want sqlmap to try to detect backend WAF/IPS/IDS? [y/N] Y
[16:10:41] [WARNING] dropping timeout to 10 seconds (i.e. '--timeout=10')
[16:10:44] [INFO] using WAF scripts to detect backend WAF/IPS/IDS protection
[16:10:46] [CRITICAL] WAF/IPS/IDS identified as 'ASP.NET RequestValidationMode (Microsoft)'
are you sure that you want to continue with further target testing? [y/N] _Y
[16:10:53] [WARNING] please consider usage of tamper scripts (option '--tamper')
[16:10:53] [WARNING] HTTP error codes detected during run:
404 (Not Found) - 1 times, 500 (Internal Server Error) - 4 times
[16:10:53] [ARMOR] user quit
```

Figura 1 – Ejecución de la prueba en la institución A.

```
[19:09:57] [INFO] testing connection to the target URL
sqlmap got a 302 redirect to '[redacted]
[redacted]?[redacted]=0&[redacted]=1678&txt_cu
cur_alumno_apellidos=Bautista+Mosquera&txt_cur_alumno_nombres=Carlos+Raul&txt_cu
r_alumno_dicapacitado=false&txt_cur_alumno_ult_curso_inscrito=1&txt_cur_cursos_u
lt_insc_string=CURSO+B%C3%81SICO+PRES+EXTERNO+ENERO+2016++8%3A00+A+10%3A00&txt_c
ur_alumno_ultimo_curso_aprobado=1&txt_cur_cursos_ult_apro_string=CURSO+B%C3%81SI
CO+PRES+EXTERNO+ENERO+2016++8%3A00+A+10%3A00&txt_cur_alumno_num_inscripciones=0&
txt_cur_alumno_num_aprobados=0&txt_cur_alumno_num_reprobados=0&txt_cur_alumno_ac
tivo=true&txt_cur_alumno_creado_por=247&txt_usrios_sstma_ing_string=ESTUPI%C3%91
AN+HURTADO+VENUS+JASMINA&txt_cur_alumno_modificador_por=0&txt_usrios_sstma_mod_s
tring=&txt_cur_alumno_sexo=true&txt_cur_alumno_parroquia=11&txt_cur_parroquias_s
tring=Esmeraldas&txt_cur_alumno_direccion=Argentina+y+M%C3%A9xico+Barrio+las+Ame
ricas&txt_cur_alumno_fecha_nacimiento=01-06-1956&txt_cur_alumno_instruccion=3&tx
t_cur_instruccion_string=Superior&txt_cur_alumno_ocupacion=11&txt_cur_ocupacion_
string=Profesor+%2F+Profesoras&txt_cur_alumno_institucion=1&txt_cur_institucion_
string=Colectividad+Esmeralde%C3%B1a&txt_cur_alumno_telefono=&txt_cur_alumno_cel
ular=0997627553&txt_cur_alumno_email=&txt_cur_alumno_observaciones=&txt_cur_alum
no_fi=2016-01-13 09:28:31.0&txt_cur_alumno_um=2016-01-27 10:40:55.0'. Do you wan
t to follow? [Y/n] y
```

Figura 2 – Ejecución de la prueba en la institución B.

6. Resultado

Una vez realizada todas las preguntas, se evidenció que ambas instituciones tenían falencias con respecto a la seguridad de la información, debido a que carecen de una política de control de acceso. Además, los sistemas informáticos son propensos a tener vulnerabilidades porque sus custodios implementan controles mínimos. Por lo tanto, los ataques internos se producen por la falta de controles de aplicaciones, es decir tienen vulnerabilidades que permiten el acceso a las bases de datos, asimismo el descuido del DBA puede revelar la clave de acceso de los gestores de bases de datos.

Elementos	Preguntas	Puntuación	
		Empresa A	Empresa B
Requisitos de negocio para el control de acceso	1. ¿Cuenta con una política de control de acceso basada en los requisitos de negocio y de seguridad de la información?	1 No definido	1 No definido
	2. ¿El acceso a las redes y servicios en red lo realizan solo los usuarios autorizados?	3 Administrado	1 No definido
Promedio		2 Definido	1 No definido
Gestión de accesos de usuario	3. ¿Cuenta con un procedimiento de asignación de derechos de acceso en el que contemple el registro y baja de usuarios?	3 Administrado	3 Administrado
	4. ¿Cuenta con un procedimiento formal para la asignación y revocación de los derechos de acceso de los sistemas?	2 Definido	4 Controlado
	5. ¿Cuentan con un control en la asignación y uso de privilegios de acceso?	5 Optimizado	5 Optimizado
	6. ¿Cuentan con un proceso de gestión de la información secreta de autenticación de los usuarios?	4 Controlado	4 Controlado
	7. ¿Realizan revisiones de los derechos de acceso de usuario?	3 Administrado	3 Administrado
	8. ¿Realizan reasignación o retirada de los derechos de acceso de usuario cuando un empleado finaliza sus actividades de la empresa?	2 Definido	5 Optimizado
Promedio		3.16= 3 Administrado	3.66= 4 Controlado
Responsabilidad del usuario	9. ¿Se realiza controles en el uso de la información secreta de autenticación por parte del administrador de base de datos?	5 Optimizado	5 Optimizado
Promedio		5 Optimizado	5 Optimizado
Control de acceso a sistemas y aplicaciones	10. ¿Cuentan con alguna restricción en el acceso a la información y a las funciones de las aplicaciones?	3 Administrado	1 No definido
	11. ¿Existe un procedimiento seguro de inicio de sesión?	4 Controlado	2 Definido
	12. ¿La empresa cuenta con un sistema para la gestión de contraseña?	4 Controlado	2 Definido
	13. ¿Existe registros de auditoria donde se evidencie las acciones de los usuarios?	2 Definido	2 Definido
	14. ¿Existe instalación de actualización del gestor de base de datos?	5 Optimizado	3 Administrado
Promedio		3.6 =4 Controlado	2 Definido

Tabla 3 – Nivel de Madurez de los elementos evaluados en la empresa A y B.

6.1. Hallazgos Empresa A

Como se muestra en la Tabla 3, la media de todos los factores fue superior 3 a excepción del primer elemento (*requisitos de negocio para el control de acceso)*, lo que indica que no se tiene una política para controlar el acceso de los usuarios a los recursos informáticos.

El elemento *gestión de accesos de usuario* tiene un valor de 3 es decir administrado debido a que el departamento de Recursos Humanos emite un comunicado al área de TIC sobre el cambio de privilegios de acceso de un usuario. Además, el único identificador de usuario (IDs) es creado a partir del primer nombre y primer apellido, y la contraseña es una combinación de letras, número y caracteres especiales.

El elemento con un mayor nivel de madurez (5- optimizado) es *responsabilidad del usuario* debido a que el DBA es el custodio de la cuenta tipo administrador de la base de datos.

Por último, el elemento *control de acceso a sistemas y aplicaciones* obtuvo un nivel controlado (4) debido a que sus servicios web si contaban con controles que prevenían el envío de mensaje de error que informara sobre sus características o configuración. También tiene un sistema automático de gestión de contraseñas y un registro de auditoria en el gestor de base de datos.

6.2. Hallazgos Empresa B

La empresa B en el elemento *requisitos de negocio para el control de acceso* obtuvo un valor de 1 (no definido), es el nivel más bajo en la escala. Es decir, no se tiene creada una política de control de acceso. Por lo tanto, se desconoce las directrices o controles que deben implementarse en las redes y los servicios para evitar a los usuarios no autorizados o atacantes. Otro aspecto relevante fue la prueba de penetración realizada a los servicios web que evidenciaron la falta de mecanismos de seguridad.

El elemento *gestión de accesos de usuario* obtuvo un valor de 3.66 lo que indica que está en un nivel entre administrado y controlado, debido a que su IDs es creado a partir del primer nombre y primer apellido, y la contraseña es una combinación de letras, número y caracteres especiales. Por otra parte, la asignación y habilitación, o la revocación de un IDs es automática debido a que se ingresa la fecha de inicio y salida del empleado en el sistema informático.

El elemento *responsabilidad del usuario* tiene un nivel 5 (optimizado), debido a que solo el administrador de las bases de datos cuenta con las claves de los gestores de bases de datos. Además, no se encontró expuesta en el escritorio de trabajo del DBA.

Por último, el elemento *control de acceso a sistemas y aplicaciones* se ubicó en el nivel 2 (definido), en comparación con la Empresa A el nivel es menor debido a que tiene menores restricciones y ningún control en los mensajes de error.

6.3. Mecanismos de Seguridad para el Proceso de Gestión de Base de Datos

El principal control es la redacción y revisión constante de una política de control de acceso que establezca los lineamientos que deben seguirse por parte del personal de la empresa.

Se debe implementar un procedimiento formal de registro y retirada de usuarios que haga posible la asignación de derechos de acceso. Conocer el sistema de control de acceso, utilizar las instrucciones *grant* y *revoke* para controlar el acceso a la base de datos. Tanto como en SQL Server y MySQL utilizan la declaración *grant* para asignar privilegios en las bases de datos. Usar la declaración *show grants*, para verificar los permisos de las

cuentas. Evitar almacenar contraseñas en texto plano. Se debe contar con sistemas de gestión de contraseñas que sean interactivos y que aseguraren contraseñas robustas.

Los registros de auditorías son datos que se almacenan en archivos de auditoría y describen un único evento. Para implementar los controles de autoría se debe revisar y evaluar el control interno del entorno en que se desarrolla la base de datos. Para monitorear el acceso. Microsoft Sql Server utiliza la herramienta Sql Server Audit, la cual permite realizar auditoría en la base de datos a través de la creación de la descripción de las acciones de los usuarios al realizar modificaciones, esto solo es posible en versiones de SQL Server Enterprise y Develope.

Los DBA deben revisar los derechos de acceso de usuario en determinados tiempos. Restringir y comprobar el acceso a usuarios en la tabla *user* de la base de datos MySQL como *root*. Es importante definir una contraseña a *root* debido a que, por defecto la cuenta viene sin contraseña.

Además, se debe realizar la retira de los derechos de acceso a la información y a las instalaciones del procesamiento de información cuando se ha finalizado el contrato de los empleados y terceras partes como proveedores.

7. Conclusiones

En el presente trabajo se describió un modelo de evaluación que permite conocer el nivel de madurez de los controles de acceso en la gestión de base de datos, el cual proporciona un conjunto de preguntas que pueden ser adaptadas a diferentes contextos. Los resultados determinaron que el modelo de madurez basado en ISM3 logra identificar un correcto nivel de cada uno de los elementos del modelo propuesto. Además, la triangulación de las técnicas entrevista, observación y prueba técnica contribuyen a un resultado más preciso en la evaluación, especialmente la utilización de herramientas como SqlMap. Por último, la aplicación del modelo de evaluación en las dos empresas evidenció que la empresa A obtuvo el nivel de madurez *Controlado*, a diferencia de la empresa B que obtuvo *Administrado*.

Trabajos futuros

Se considera como trabajos futuros el acoplamiento al modelo de evaluación a los demás dominios de la norma con el fin de ser ajustados para brindar mayor facilidad de implementación de controles.

Referencias

Azán, Y., Bravo, L., Rosales, W., Trujillo, D., Garcia, E., & Pimentel, A. (2014). Solución basada en el Razonamiento Basado en Casos para el apoyo a las auditorías informáticas a bases de datos. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 8(2), 52–69. Retrieved from http://rcci.uci.cu

Barinas, A., Alarcón, A., y Callejas, M. (2014). Vulnerabilidad de ambientes virtuales de aprendizaje utilizando SQLMap, RIPS, W3AF y Nessus. *Ventana Informática*. (30). doi: https://doi.org/10.30554/ventanainform.30.276.2014

Burgos, J. y Campos, P. (2008). Modelo para Seguridad de la Información en TIC. *Concepción, Chile: Universidad del Bío-Bío*. Recuperado: http://ceurws.org/Vol-488/paper13.pdf

Caicedo Alcivar, A. R. (2018). Informe Estudio de Caso: Análisis de las Vulnerabilidades en Gestores de Base de Datos utilizando el dominio "Control De Acceso" de ISO 27002. Pontifica Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.

Disterer, G. (2013). ISO/IEC 27000, 27001 and 27002 for information security management. Journal of Information Security, 4(2), 92–100. doi: 10.4236/jis.2013.42011

ISO/IEC 27002. (2013). International Standard Iso/Iec 27002:2013.Tecnología de la Información. Técnicas de seguridad. Código de prácticas para los controles de seguridad de la información.

Le, N. T., & Hoang, D. B. (2016). Can maturity models support cyber security?. 2016 IEEE 35th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC). Recuperado: doi:10.1109/pccc.2016.7820663

Patiño, S., Solís, E., Sang, G. Y., y Arroyo, R. (2018). ICT Risk Management Methodology Proposal for Governmental Entities based on ISO / IEC 27005. 2018 Fifth International Conference on EDemocracy & EGovernment

(ICEDEG), 75–82. Recuperado: https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372361

Quisbert, A. (2014). REVISTA PGI -INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA Modelo de Sistemas Multi-Agentes para Percibir, Evaluar y Alertar Ex-Antes los Accesos no Autorizados a Repositorios de Base de Datos. Recuperado:http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rpgi/n1/n1_a24.pdf

Rea-Guaman, Á. M., Sánchez-García, I. D., San Feliu Gilabert, T., & Calvo-Manzano Villalón, J. A. (2017). Modelos de madurez en ciberseguridad: una revisión sistemática.

Saraswat, D., y Tripathi, P. (2014). International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 4(5), 442–458. Recuperado:

http://ijarcsse.com/Before_August_2017/docs/papers/Volume_3/5_May2013/ V3I5-0309.pdf

Solarte, F., Enriquez, E., y del Carmen, M. (2015). Metodología de análisis y evaluación de riesgos aplicados a la seguridad informática y de información bajo la norma ISO/IEC 27001. Revista Tecnológica-ESPOL, 28(5).

Recuperado: http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/456.

Valencia, F. y Orozco, M. (2017). Metodología para la implementación de un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información basado en la familia de normas ISO/IEC 27000. RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (22), 73–88. doi: http://dx.doi.org/10.17013/risti.22.73-88.

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

Recebido/Submission: 15/04/2019
Aceitação/Acceptance: 09/07/2019

Optimization-based algorithms applied in photovoltaic systems

Yasmany Fernández Fernández[1], Ana Cabrera Tobar[2], Diego H. Peluffo-Ordóñez[1,3], Teresa Sánchez Manosalvas[4], and Ridelio Miranda[5]

yasmanighters@gmail.com,akcabrera@utn.edu.ec, diego.peluffo@sdas-group.com,teresasanchez@uti.edu.ec, rmiranda@ucf.edu.ec

[1]SDAS Group, Urcuqui, Ecuador.

[2]Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador,.

[3]Universidad Yachay Tech, Urcuquí, Ecuador

[4]Universidad Indoamericana, Quito, Ecuador.

[5]Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.

Pages: 242–255

Abstract: Network codes have been developed to facilitate the integration of power plants into the electrical system; a specific case is that concerning the performance of large scale photovoltaic power plants, which represents a drawback for operators of transmission systems due to the way in which solar irradiance varies during the day. The present study is focused on a group of models that are based on dynamic programming with recursive algorithms. Broadly, such algorithms may significantly benefit to the decision making in the field of the optimization of the photovoltaic systems. The main contribution of this work lies on the the compilation of a group of models whose recursive algorithms allow evaluating each stage of a given process and related to a group of parameters that can be controlled within a dynamic model whose nuances vary depending on other submodels associated with some families of classic models of linear and nonlinear programming.

Keywords: algorithms; dynamic programming; photovoltaic energy.

1. Introduction

There are many problems that can be addressed in the field of electrical engineering from the point of view of optimization (Kamaruzzaman, 2015), however, the issue is little known and even in the electrical engineering classrooms the various models of operations research are not socialized that could greatly expedite the use of resources and the optimization of parameters associated with the different branches of the discipline.

1.1. Problems of the Photovoltaic Field

Below are some of the most classic problems in photovoltaics:

Tracking the Maximum Power Point: Solar panels are an arrangement of several cells or cells that transform the radiation caused by the sun into electrical energy. Each photovoltaic cell has a single optimum point of operation, in which the product of the current by the voltage is maximum and is called as point of maximum power. This point changes rapidly depending on factors externalities such as temperature and solar radiation, which makes the tracking of the maximum power point or MPPT (Maximum Power Point Tracking) an essential part in a photovoltaic system. Photovoltaic power plants present some problems such as static and dynamic shading that can considerably reduce their performance. In particular, the effect of dynamic shading due to cloudiness is often forgotten in the optimal design stage (Kamaruzzaman, 2015).

Operation in Micro Grids: Trough the automatic management of photovoltaic panels, it is prioritized the improvement of the energy efficiency of the photovoltaic generation which acts on the investors and depend on the favorable meteorological conditions. In this way we can operate in the working area of the inverters by connecting and disconnecting solar panels depending on the different hours of the day and unfavorable weather conditions (Nagalaxmi & Chary, 2013).

Optimal design of PV systems. Photovoltaic systems connected to a network with solar tracking often have losses due to the Joule effect produced in the connected conductors of the network. The problem of minimizing said losses through the design and sizing of said photovoltaic system is of interest due to the various ways in which the monitoring structures can be dimensioned with their respective typology and distribution in the terrain studied (Mellit, 2007).

1.2. Algorithms with Focus on the Use of Solar Energy

In (Charron & Athienitis, 2006) a special reference is made to the two fundamental ways to convert solar radiation into energy known as active and passive solar design. These energy transformation techniques are used in the use of solar energy efficiency in homes where the most frequent parameters are subject to optimization, that is; the consumption of energy, cost, environment and others (Diakaki et al., 2010; Kilkis, 2004). In (Bosch, López, & Batlles, 2008) an artificial intelligence technique based on artificial neural network is presented to calculate the solar radiation levels in irregular terrains. Other algorithms that include artificial neural network and neuro fuzzy inference systems (Cao & Lin, 2008; Sarimveis, Palyvos, & Markatos, 2008) focus on the prediction of solar irradiation (Mellit, Kalogirou, Shaari, Salhi, & Hadj Arab, 2008). Table 1 summarizes the generic problems referring to the use of solar energy, its main purpose and the models, methods and methodologies that are used to address them.

Objective to solve	Methods to approach the solution
i. Tracking the Maximum Power Point	
	- Perturbe & Observe (Atallah, Abdelaziz, & Jumaah, 2014; Patel, Sahu, & Tirkey, 2013; Sahu, Dixit, & Kumar, 2014).
	- Hill Climbing (Bahari, Tarassodi, Naeini, Khalilabad, & Shirazi, 2016; *Comparative Study of Different Hill Climbing MPPT through Simulation and Experimental Test Bed*, 2014; *Hill climbing techniques for tracking maximum power point in solar photovoltaic systems - A review*, 2013).

Obtain the highest output power of the panel (Glaser, 2012).	- Incremental Conductance (Lokanadham, Student, & Bhaskar, 2012; Putri, Wibowo, & Rifa'i, 2015; Safari & Mekhilef, 2011).
	- Fuzzy Logic Controller (Chekired, Larbes, Rekioua, & Haddad, 2011; Abdullah, Hakim, & Nandiyanto, 2018).
	- Constant Voltage (Lasheen, Rahman, Abdel-Salam, & Ookawara, 2016; Leedy & Aganah, 2012).
	- Short Current (Noguchi, Togashi, & Nakamoto, 2002).
	- Open Voltage (Ahmad, 2010; Das, 2016).
	- Parasitic Capacitance (Hohm & Ropp, 2003; Rekioua & Matagne, 2012).
	- Neural Network (Bouselham, Hajji, Hajji, & Bouali, 2017; Essefi, Souissi, & Abdallah, 2014; Messalti, Harrag, & Loukriz, 2015).
Analysis of the PV-Systems under diverse shading conditions (*Effects of partial shading on Photovoltaic with advanced MPPT scheme*, 2012; Gevorkian, 2016).	- Heuristics (Ghasemi, Mohammadian Foroushani, & Parniani, 2016; Zhao, Zhou, Ma, & Liu, 2017).
	- Layout Optimization (Farhad Azadivar, John(Jian) Wang, 2000; Kiriş, Bingöl, Şenol, & Altintaş, 2016).
	- Kernel Algorithm (Lin et al., 2012; Sher et al., 2015; Wang, Lin, Kim, Chang, & Pedram, 2014).
ii. Operation in Micro Grids.	
Distribute the electrical energy to different areas of consumption (*Generation System - an overview ScienceDirect Topics*, 2019).	- Dynamic Programming (Biswas & Mohan, 2015).
	- Greedy Algorithm (Biswas & Mohan, 2015).
Control in photovoltaic systems (Popescu, Gharbi, Stefanoiu, & Borne, 2017).	- Tri- Positional Control Tracking Strategy (Stamatescu, Făgărăşan, Stamatescu, Arghira, & Iliescu, 2014).
	- Energy Balance (Yang, 2013).
	- Other Methods (Haes & Ghassan, 2019).
Evaluation of the direct impact of the use of renewable energy (Akella, Saini, & Sharma, 2009; Vezmar, Spajić, Topić, Šljivac, & Jozsa, 2014).	- Parametric Analysis (Du et al., 2018; Siraganyan, Perera, Scartezzini, & Mauree, 2019).
iii. Optimal design of PV systems.	
The study of technical limitations potentially occurring during steady state referent to the	- Data Analysis (Denholm & Margolis, 2007; Stewart, MacPherson, Vasilic, Nakafuji, & Aukai, 2013).
	- DIgSILENT Model (Heslop, MacGill, Fletcher, & Lewis, 2014).
high PV penetration (Bank, Mather, Keller, & Coddington, 2013; Karimi, Mokhlis, Naidu, Uddin, & Bakar, 2016). Distribution generation (DG) in distribution networks with improper planning (Ali, Mohd Nor, Ibrahim, & Fakhizan Romlie, 2018).	- Simulation (Meyer, Sommer, Dildey, Haack, & Ringlstetter, 2016).
	- Heuristics (Gómez-Lorente, Triguero, Gil, & Espín Estrella, 2012; Nikhil & Subhakar, 2012).
	- Optimized Automated Layout (Patent N.º WO2013040016A1, 2013).
	- Dish Layout Analysis (Xu et al., 2016).
	- Multi-objective optimization and Life-Cycle Assessment (Rau, 2013).

Table 1 – Mathematical methods to approach the solution of frequent problems of photo- voltaic energy

Photovoltaic energy has abandoned its first stages of development and is entering a deployment phase. The following section proposes a basic structure that contains guidelines for the resolution and implementation of algorithms based on dynamic models using Wolfram Language. This language evolves on clear principles and a classy unified symbolic structure to create what is emerging as the world's most productive programming language and the first true computational communication language.

However, the most important thing lies in the efficiency and location of problems whose mathematical models can reflect a situation as close as possible to reality. In this context, we talk about a data analysis based on the analysis of the states, which is very helpful when making the decisions under certainty.

2. Richard Bellman's Principle of Optimality (RB-PO) as a general basis for the modeling of problems applied to the use of solar energy in photovoltaic systems.

The resolution of an optimal model through dynamic methods is guaranteed as long as the solutions of the problem verify Bellman's optimality principle, which says that an optimal solution has the property that whatever the initial state and the initial decision, the decisions for the later stages they must constitute an optimal policy regarding the state resulting from the first decision (Sniedovich, 1978). The problems studied i) tracking the maximum power point, ii) operation in microgrids and iii) optimum design of the photovoltaic system can be analyzed in a general (decision problems in multiple steps). If each of the problems is considered as a process and these are examined periodically at time $t = 0,1,2,\ldots\ldots,N$. As a result of this examination the value of a variable is obtained (or a vector) that serves to judge the status of the process. To the pair $u = (t, x(t))$ we call it a state. After each observation x, a corrective action must be taken, taken from a set of possible decisions $D(u)$. The choice of a particular decision $d(u)$ generates a transformation T that results in a new state:

$$v = (t + 1, x) = T(u, d) \tag{1}$$

and associated with a cost c (u,d).

A function that indicates for each state or a specific decision to take; is called a policy. We want to find a policy that minimizes the sum of the costs of the transformations engendered by successive decisions. A policy of these characteristics is called optimal policy. If we focus on the case in which the process ends in a time N, the analogy between the general approach of the dynamic problem and the particular case of the problem is immediate and allows us to think that the successive transformations form a path, passing from a state to a another, at a later time.

Following this idea, we have that if we call d the policy used, starting in a state u_0 a path is formed as shown below:

$$u_1 = T(u_0, d(u_o)) \tag{2}$$

...

$$u_2 = T(u_1, d(u_1)) \tag{3}$$

...

$$u_k + 1 = T(u_k, d(u_k))u_k = (k, x(k)) \tag{4}$$

...

$$u_N = T(u_{N_1}, d(u_{N_1})) \tag{5}$$

An optimal policy has the property that whatever the initial state and decision, the following decisions constitute an optimal policy with respect to the state resulting from the first decision. If we call f the cost function corresponding to the optimal policy, the principle of optimality can be expressed as follows:

$$f(ut) = c(ut, d(ut)) + f(T(ut, d(ut))) \tag{6}$$

where Bellman's optimality principle allows us to establish the following functional equation:

$$f(u) = \min_{d \in D(u)} [c(u, d(u)) + f(T(u, d(u)))] \tag{7}$$

2.1. Algorithm used in a simulation of power curtailment in a photovoltaic system (A case study in Ibarra, Ecuador)

Sometimes it is necessary to set a reduction in the output of a generator from what it could otherwise produce given available resources, typically on an involuntary basis. Curtailment is one among many tools to maintain system energy balance, which can also include grid capacity, hydropower and thermal generation, demand response, storage, and institutional changes. Deciding which method to use is primarily a matter of economics and operational practice.

The following algorithm tries to decide what should be the suggested power value in the next N stages of the day, assuming a starting part of the initial state t = 0. The code segment has been processed in Wolfram Mathematica:

```
nextPowerWithOutV[init_, kb_, end_, init2_, end2] :=
 Module[{m, p, a}, a = "{}"; p = Part[K, init];
 For[m = init, m <= end, m++,
p = ((1/m) * Part[K, m] + Max[Part[K, m], Part[K, m + 1]]);
 AppendTo[a, Part[K, m]]]; p = p * kb;
```

For this case we assume that the optimal decision of the power curtailment will be given in the form:

$$\rho_i^* (\delta_i) = \mathrm{MIN}\{(k_b)_i[C(\theta_i) + \rho_i^* (\delta_i, \theta_i)]\} \tag{8}$$

The previous eq. (8) represents a solution algorithm applied in other spaces to obtain a power reduction according to the existing cloudiness, however by its analogy with the aforementioned dynamic models, it is valid to analyze the optimality principle of Bellman with respect to the solution algorithm used, which will be a focus of discussion of the present section. For a better understanding of the relationship between the solution algorithm and the mathematical model, we assume the following:

For this model, the day will be divided in several parts that are the stages (i) of the model. Each stage i represents a constant time in which the system calculates the Maximum Power Point (MPP), if the MPP is calculated every 5 minutes, then $i = 1,2,3 \ldots, n$ is equivalent to $5,10, 15 \ldots nt$ minutes where the system collects MPPT eq. (9).

$$i = n \rightarrow n * t \ minutes \tag{9}$$

The range of active power values that can be signed in the stage i can be given as:

$$\delta_i \in [\theta_i, \theta_{i+1}] \tag{10}$$

where θ_i is the maximum power point in stage i and θ_{i+1} is the maximum power point in stage i+1

Considering the eq. (10), the optimal power function in stage i ρ_i can be defined depending on the range of active power and also on the optimized value of active power for the next stage θ_i^* eq. (11)

$$\rho_i^*(\delta_i) = \rho(\delta_i, \theta_i^*) \tag{11}$$

where, $\rho(\backslash\delta_i, \theta_i)$ is the contribution to the objective function of stages $i, i+1, \ldots, n$. If the system is in the state δ_i in stage i, the immediate decision is θ_i and from now on optimal decisions are taken in the form eq. (12):

$$\rho_i^* (\delta_i) = MAX_{\theta_i > 0}\, \rho(\delta_i, \theta_i) \tag{12}$$

Then, the average accumulated contribution of power θ_i up to stage $i = n$ is expressed as follows eq. (13):

$$C(\theta_i) = \frac{1}{n} \sum_1^n \theta_i \qquad 13$$

The decision of the maximum value possible between the current power δ_i and the power θ_{i+1} can be expressed as eq. (14):

$$\rho_i^* (\delta_i, \theta_i) = MAX\{\delta_i, \theta_{i+1}\} \tag{14}$$

So, the optimal decision for each stage i is written in the form eq. (15):

$$\rho_i^* (\delta_i) = MAX\{(k_b)_i \, [C(\theta_i) + \rho_i^* (\delta_i, \theta_i)]\} \tag{15}$$

The results of a state i are presented in Figure 1 where the decision policy eq. (11) at this stage is optimal compared to the previous initial stage (6:00 a.m. and 8:00 a.m.), and with respect to the average of the maximum power values of the stage for which the curtailment was performed, which satisfies Bellman's optimality principle. The algorithm used is based on the previous behavior of solar radiation during a common day. Its use consists in facilitating continuous decisions in a period of one day of 12 hours with a frequency of change every two hours.

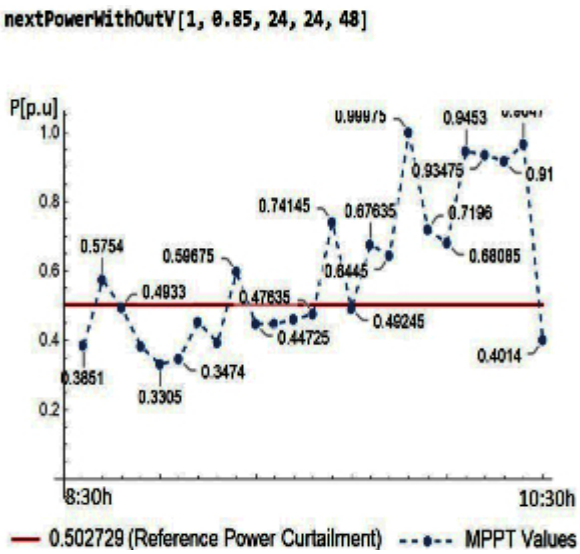


Figure 1 – Suggested power reference between 8:30 a.m. and 10:30 a.m. considering Kb=0.85

Figure 2 shows the operation of the algorithm using dynamic programming. Each point corresponds to the maximum power value which is suggested by a tracking system based on this type of search. The objective of performing curtailment is precisely to set values that correspond to the balance of the system so that solar energy is harnessed.

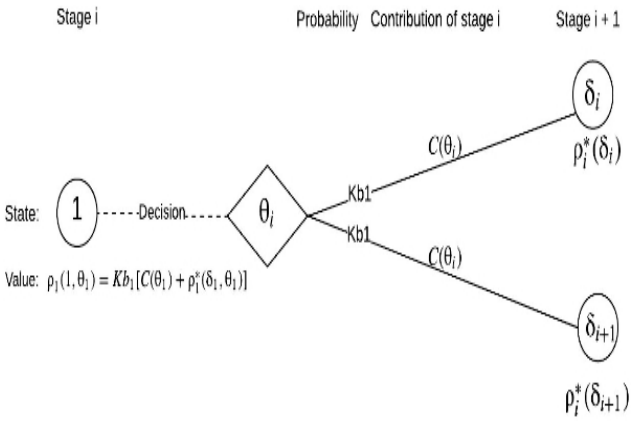


Figure 2 – Dynamic programming structure for the algorithm build

2.2. Extended analysis of the power curtailment algorithm over a period

In figure 3 it is showing a broader scheme of what the dynamic programming model represents, whose purpose is the prediction of the power which a photo- voltaic plant should work to maximize solar energy variations and considering changes in the cloud factor. The values obtained are shown for a given cloudiness parameter (Kb), which is not the object of study in this article, only to refer that its calculation is taken into account as a probability value between 0 and 1. The evolution of the system only considers its initial conditions. This means that from any initial state the subsequent states can be obtained and for them an adequate power value for each stage of the period.

The curtailment process is usually done based on empirical phenomena, which are often limited to setting an average value between the maximum power values of the stage in question.

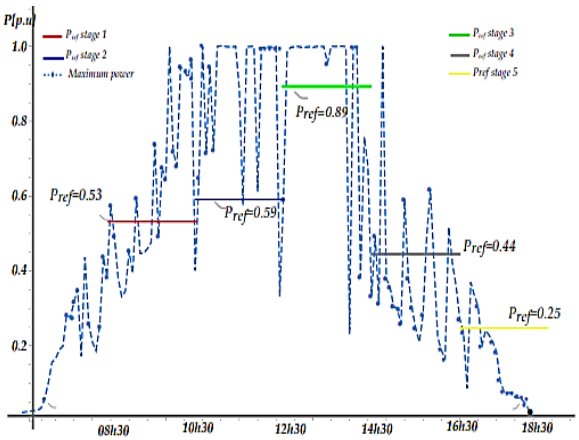


Figure 3 – Curtailment referring to a day

The result of this decision is a recursive function eq. (15) indicates the new active power value that the PV generator must follow for each stage. This model is considering the possible maximum power for each solar irradiance at each stage and the optimal possible power considering different sky conditions.

The proposed model and the data from the PVPP are introduced in the software "Wolfram Mathematica 11.2". To simulate the model, the day (from 6h30 to 18h30) is divided in six parts of two hours each one. As two hours is considered and the data taken is every five minutes, the number of stages is 24. So, the model has to choose the optimal solution considering the maximum power forecasted for every five minutes for the next two hours and the cloudiness. In this case the assumed clarity index is 0.78.

For instance, the maximum power that the PVPP generates from 8:30 to 10:30 is plotted in Figure 3. It can be seen that the active power varies each five minutes that depends on the solar irradiance. Applying, the optimization tool created and considering the cloudiness, the new active power reference for these two hours is 0.5 p.u as it is illustrated in Figure.

3. Conclusions

Regardless of the models used to treat the problems in the use of solar energy in the photovoltaic field, there is a possibility to analyze the problems presented from the point of view of the analysis of dynamic models using recursive algorithms to obtain optimum policies in short time intervals.

If, given a subsequence of decisions, it is always known which is the decision that must be taken next to obtain the optimal sequence, the problem is elementary and is solved trivially taking one decision after another, what is known as voracious strategy.

If we can identify any subsequence of decisions, that have the same final state then it must also be optimal with respect to the corresponding subproblem as affirmed by the principle of optimality of Richard-Bellman.

Finally, the proposed study case is part of a group of experiments carried out in Ibarra, Ecuador, in order to optimize the energy resources of the photovoltaic field.

4. Future work.

Future work aims to solve various problems of the here raised through a dynamic model whose purpose is to reduce costs without losing quality in the use of solar energy.

References

Ahmad, J. (2010). A fractional open circuit voltage based maximum power point tracker for photovoltaic arrays. *2010 2nd International Conference on Software Technology and Engineering*, *1*, V1–247–V1–250. https://doi.org/10.1109/ICSTE.2010.5608868

Akella, A. K., Saini, R. P., & Sharma, M. P. (2009). Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable Energy*, *34*(2), 390–396. https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.002

Ali, A., Mohd Nor, N., Ibrahim, T., & Fakhizan Romlie, M. (2018). Sizing and placement of solar photovoltaic plants by using time-series historical weather data. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *10*(2), 023702. https://doi.org/10.1063/1.4994728

Atallah, A. M., Abdelaziz, A. Y., & Jumaah, R. S. (2014). *IMPLEMENTATION OF PERTURB AND OBSERVE MPPT OF PV SYSTEM WITH DIRECT CONTROL METHOD USING BUCK AND BUCK- BOOST CONVERTERS*. *1*(1), 14.

Bahari, M. I., Tarassodi, P., Naeini, Y. M., Khalilabad, A. K., & Shirazi, P. (2016). Modeling and simulation of hill climbing MPPT algorithm for photovoltaic application. *2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, 1041–1044. https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2016.7525990

Bank, J., Mather, B., Keller, J., & Coddington, M. (2013). *High Penetration Photovoltaic Case Study Report* (N.º NREL/TP-5500-54742, 1062441). https://doi.org/10.2172/1062441

Biswas, M., & Mohan, C. K. (2015). Algorithms for the Implementation of a Dynamic Electrical Energy Pricing Policy. *Procedia Computer Science*, *70*, 668–675. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.10.103

Bosch, J. L., López, G., & Batlles, F. J. (2008). Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks. *Renewable Energy*, *33*(7), 1622–1628. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.09.012

Bouselham, L., Hajji, M., Hajji, B., & Bouali, H. (2017). A New MPPT-based ANN for Photovoltaic System under Partial Shading Conditions. *Energy Procedia*, *111*, 924–933. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.255

Cao, J., & Lin, X. (2008). Application of the diagonal recurrent wavelet neural network to solar irradiation forecast assisted with fuzzy technique. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *21*(8), 1255–1263. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2008.02.003

Charron, R., & Athienitis, A. (2006). Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes. *ASHRAE Transactions*, 12.

Chekired, F., Larbes, C., Rekioua, D., & Haddad, F. (2011). Implementation of a MPPT fuzzy controller for photovoltaic systems on FPGA circuit. *Energy Procedia*, *6*, 541–549. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.062

Comparative Study of Different Hill Climbing MPPT through Simulation and Experimental Test Bed. (2014). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/280245647_Comparative_Study_of_Different_Hill_Climbing_MPPT_through_Simulation_and_Experimental_Test_Bed

Das, P. (2016). Maximum Power Tracking Based Open Circuit Voltage Method for PV System. *Energy Procedia*, *90*, 2–13. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.165

Denholm, P., & Margolis, R. M. (2007). Evaluating the limits of solar photovoltaics (PV) in traditional electric power systems. *Energy Policy*, *35*(5), 2852–2861. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.014

DERSHOWITZ, M., Ilsen, K., & ZAUHAR, R. J. (2013). *Patent N.º WO2013040016A1*. Recuperado de https://patents.google.com/patent/WO2013040016A1/en

Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis, N., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., & Stavrakakis, G. (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, *35*(12), 5483–5496. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.012

Du, E., Zhang, N., Hodge, B.-M., Kang, C., Kroposki, B., & Xia, Q. (2018). Economic justification of concentrating solar power in high renewable energy penetrated power systems. *Applied Energy*, *222*, 649–661. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.161

Effects of partial shading on Photovoltaic with advanced MPPT scheme. (2012). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/261166974_Effects_of_partial_shading_on_Photovoltaic_with_advanced_MPPT_scheme

Essefi, R. M., Souissi, M., & Abdallah, H. H. (2014). Maximum Power Point Tracking Control Using Neural Networks for Stand-Alone Photovoltaic Systems. *International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application*, *03*(03), 53–65. https://doi.org/10.4236/ijmnta.2014.33008

Farhad Azadivar, John(Jian) Wang. (2000). *Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms: International Journal of Production Research: Vol 38, No 17*. Recuperado de https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540050205154?journalCode=tprs20

Generation System - an overview ScienceDirect Topics. (2019). Recuperado de https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/generation-system

Gevorkian, P. (2016). *Solar Power Generation Problems, Solutions and Monitoring*. Cambridge University Press.

Ghasemi, M. A., Mohammadian Foroushani, H., & Parniani, M. (2016). Partial Shading Detection and Smooth Maximum Power Point Tracking of PV Arrays Under PSC. *IEEE Transactions on Power Electronics*, *31*(9), 6281–6292. https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2504515

Glaser, C. (2012). *Easy solar-panel maximum-power-point tracking for pulsed-load applications*. 5.

Gómez-Lorente, D., Triguero, I., Gil, C., & Espín Estrella, A. (2012). Evolutionary algorithms for the design of grid-connected PV-systems. *Expert Systems with Applications*, *39*(9), 8086–8094. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.159

Haes, A., Hassan, & Ghassan, H. (2019). *Handbook of Research on Smart Power System Operation and Control*. IGI Global.

Heslop, S., MacGill, I., Fletcher, J., & Lewis, S. (2014). Method for Determining a PV Generation Limit on Low Voltage Feeders for Evenly Distributed PV and Load. *Energy Procedia*, *57*, 207–216. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.025

Hill climbing techniques for tracking maximum power point in solar photovoltaic systems - A review. (2013). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/288128372_Hill_climbing_techniques_for_tracking_maximum_power_point_in_solar_photovoltaic_systems_-_A_review

Hohm, D. P., & Ropp, M. E. (2003). Comparative study of maximum power point tracking algorithms. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *11*(1), 47–62. https://doi.org/10.1002/pip.459

Kamaruzzaman, Z. (2015). Effect of grid-connected photovoltaic systems on static and dynamic voltage stability with analysis techniques - a review. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, *1*(6), 136–140. https://doi.org/10.15199/48.2015.06.27

Karimi, M., Mokhlis, H., Naidu, K., Uddin, S., & Bakar, A. H. A. (2016). Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *53*, 594–605. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.042

Kilkis, B. I. (2004). An Exergy Aware Optimization and Control Algorithm for Sustainable Buildings. *International Journal of Green Energy*, *1*(1), 65–77. https://doi.org/10.1081/GE-120027884

Kiriş, B., Bingöl, O., Şenol, R., & Altintaş, A. (2016). Solar Array System Layout Optimization for Reducing Partial Shading Effect. *Acta Physica Polonica A*, *130*(1), 55–59. https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.55

Lasheen, M., Rahman, A. K. A., Abdel-Salam, M., & Ookawara, S. (2016). Performance Enhancement of Constant Voltage Based MPPT for Photovoltaic Applications Using Genetic Algorithm. *Energy Procedia*, *100*, 217–222. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.168

Leedy, A. W., & Aganah, and K. A. (2012). A constant voltage MPPT method for a solar powered boost converter with DC motor load. *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon*, 1–6. https://doi.org/10.1109/SECon.2012.6196885

Lin, X., Wang, Y., Yue, S., Shin, D., Chang, N., & Pedram, M. (2012). Near-optimal, dynamic module reconfiguration in a photovoltaic system to combat partial shading effects. *Proceedings of the 49th Annual Design Automation Conference on - DAC '12*, 516. https://doi.org/10.1145/2228360.2228452

Lokanadham, M., Student, P., & Bhaskar, K. V. (2012). Incremental Conductance Based Maximum Power Point Tracking (MPPT) for Photovoltaic System. *International Journal of Engineering Research And*, *2*(2), 5.

Mellit, A. (2007). *Sizing of photovoltaic systems: a review*. 10.

Mellit, A., Kalogirou, S. A., Shaari, S., Salhi, H., & Hadj Arab, A. (2008). Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy*, *33*(7), 1570–1590. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.08.006

Messalti, S., Harrag, A. G., & Loukriz, A. E. (2015). A new neural networks MPPT controller for PV systems. *IREC2015 The Sixth International Renewable Energy Congress*, 1–6. https://doi.org/10.1109/IREC.2015.7110907

Meyer, R., Sommer, L., Dildey, F., Haack, L., & Ringlstetter, S. N. (2016). Techno-Economic Optimization of Photovoltaic Plant Layout by Using Design of Experiments Techniques. *32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 2432–2435. https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20162016-6DO.5.3

Nagalaxmi, P., & Chary, M. V. (2013). *Efficient Energy Management System with Solar Energy*. *3*(5), 4.

Nikhil, P. G., & Subhakar, D. (2012). An improved algorithm for photovoltaic system sizing. *Energy Procedia*, *14*, 1134–1142. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1066

Noguchi, T., Togashi, S., & Nakamoto, R. (2002). Short-current pulse-based maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic-and-converter module system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *49*(1), 217–223. https://doi.org/10.1109/41.982265

Patel, U., Sahu, D., & Tirkey, D. (2013). *Maximum Power Point Tracking Using Perturb & Observe Algorithm and Compare With another Algorithm*. *2*(2), 8.

Popescu, D., Gharbi, A., Stefanoiu, D., & Borne, P. (2017). *Process Control Design for Industrial Applications*. John Wiley & Sons.

Putri, R. I., Wibowo, S., & Rifa'i, M. (2015). Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Using Incremental Conductance Method. *Energy Procedia*, *68*, 22–30. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.228

Rau, J. (2013). *Ecodesign of large-scale photovoltaic (PV) systems with multi-objective optimization and Life-Cycle Assessment (LCA)*. 136.

Rekioua, D., & Matagne, E. (2012). *Optimization of Photovoltaic Power Systems: Modelization, Simulation and Control*. Springer Science & Business Media.

Safari, A., & Mekhilef, S. (2011). Incremental conductance MPPT method for PV systems. *2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering(CCECE)*, 000345–000347. https://doi.org/10.1109/CCECE.2011.6030470

Sahu, T. P., Dixit, T. V., & Kumar, R. (2014). *Simulation and Analysis of Perturb and Observe MPPT Algorithm for PV Array Using ĊUK Converter*. 12.

Siraganyan, K., Perera, A. T. D., Scartezzini, J.-L., & Mauree, D. (2019). Eco-Sim: A Parametric Tool to Evaluate the Environmental and Economic Feasibility of Decentralized Energy Systems. *Energies*, *12*(5), 776. https://doi.org/10.3390/en12050776

Sniedovich, M. (1978). Dynamic programming and principles of optimality. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, *65*(3), 586–606. https://doi.org/10.1016/0022-247X(78)90166-X

Stamatescu, I., Făgărăşan, I., Stamatescu, G., Arghira, N., & Iliescu, S. S. (2014). Design and Implementation of a Solar-tracking Algorithm. *Procedia Engineering*, *69*, 500–507. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.018

Stewart, E., MacPherson, J., Vasilic, S., Nakafuji, D., & Aukai, T. (2013). *Analysis of High-Penetration Levels of Photovoltaics into the Distribution Grid on Oahu, Hawaii: Detailed Analysis of HECO Feeder WF1* (N.º NREL/SR-5500-54494, 1083363). https://doi.org/10.2172/1083363

Vezmar, S., Spajić, A., Topić, D., Šljivac, D., & Jozsa, L. (2014). Positive and Negative Impacts of Renewable Energy Sources. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems (IJECES)*, *5*(2), 47–55.

Wang, Y., Lin, X., Kim, Y., Chang, N., & Pedram, M. (2014). Architecture and Control Algorithms for Combating Partial Shading in Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, *33*(6), 917–930. https://doi.org/10.1109/TCAD.2014.2302383

Xu, J., Gan, S., Li, S., Ruan, Z., Chen, S., Wang, Y., ... Wan, B. (2016). Dish layouts analysis method for concentrative solar power plant. *Springerplus*, *5*(1). https://doi.org/10.1186/s40064-016-3540-3

Yan, S., Yuan, J., & Xu, L. (2012). Fuzzy logic control of MPPT for photovoltaic power system. *2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 448–451. https://doi.org/10.1109/FSKD.2012.6234208

Yang, S. (2013). *Solar Energy Control System Design*. 72.

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

Recebido/Submission: 05/04/2019
Aceitação/Acceptance: 09/07/2019

Análisis de la eficiencia de desempeño en aplicaciones de Realidad Aumentada utilizando la normativa ISO/IEC/25010

Fausto A. Salazar Fierro[1], Carpio A. Pineda Manosalvas[1], Nancy N. Cervantes Rodríguez[1], Pablo Landeta[1]

fasalazar@utn.edu.ec, capineda@utn.edu.ec, nncervantes@utn.edu.ec, palandeta@utn.edu.ec

[1] Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de julio, 1001051, Ibarra, Ecuador.

Pages: 256–267

Resumen: El creciente desarrollo de tecnologías de realidad aumentada, ha influido en el aparecimiento de aplicaciones y herramientas de desarrollo RA con características que se adaptan a las nuevas necesidades de los usuarios finales, por lo que elegir una herramienta entre el amplio bagaje de posibilidades representa un inconveniente que conlleva tiempo de experimentación y selección de prueba y error. El objetivo de esta investigación fue realizar el análisis de la eficiencia de desempeño de dos apps RA desarrolladas en: Vuforia y Wikitude con la normativa ISO/IEC/25010. Se usó la experimentación como método de investigación en un ambiente controlado y se identificó como resultado que la herramienta Vuforia con relación a la eficiencia de desempeño obtuvo un valor de 9,66/10 respecto a Wikitude que fue valorada con 7.86, llegando a la conclusión de que Vuforia es la herramienta a elegir cuando la velocidad y rendimiento de la app sean factores determinantes.

Palabras-clave: Realidad Aumentada, Normativa ISO/IEC/25010, Calidad de software, Eficiencia de desempeño.

Performance efficiency analysis in Augmented Reality applications using the ISO / IEC / 25010 standard

Abstract: The growing development of augmented reality technologies has influenced the creation of applications and RA development tools with features that adapt to the new needs of end users. Choosing a tool among the wide range of possibilities represents a problem that involves experimentation time resources. The objective of this research was to perform the performance efficiency analysis of two RA apps developed with Vuforia and Wikitude using ISO / IEC / 25010 standard and experimentation as research method in a controlled environment. The results show that considering performance efficiency, Vuforia tool obtained a value of 9.66 / 10 compared to Wikitude that was valued at 7.86, concluding that Vuforia is the best tool when the speed and performance of the app is a determining factor.

Keywords*:* Augmented Reality, Normative ISO/IEC/25010, Software quality, Performance efficiency.

1. Introducción

La realidad aumentada (AR) es una tecnología emergente que a través de la superposición de contenido virtual asociado a la vista de la cámara de un dispositivo (Zhang, Han, & Hui, 2018) permite visualizar imágenes en dos o tres dimensiones con las cuales pueden interactuar los usuarios (Jamali, Shiratuddin, Wong, & Oskam, 2015); sus inicios se evocan a la década de los años 60 (Bond et al., 2019). Actualmente se están desarrollando proyectos de AR en diferentes áreas; así en medicina se ha construido un demo en un cartel de forma humana en la que se pueden ver datos relacionados con la salud (Colley, 2015); en arquitectura se identifican problemas y mejoras con juegos de AR basados en la ubicación mediante la investigación de Kkongalmon (Youm, Seo, & Kim, 2019); en el ámbito educativo se han construido varias aplicaciones para áreas distintas, tal es el caso de una app que facilita el aprendizaje en la botánica (Nobnop, Wongwatktit, Wongta, & Soponronnarit, 2018) o en el área de informática una metodología para el desarrollo del aprendizaje en programación (Daniela & Velasco, 2019); en mecánica se ha realizado un motor de gasolina que simula la combustión (Abdullah, Mulyanti, & Rohendi, 2018); éstas entre otras que evidencian el uso versátil de esta tecnología; sin embargo la elección de la herramienta RA para construir los productos representa una difícil decisión.

Frente a la variedad y creciente desarrollo de apps RA, esta investigación se enfoca en la calidad de software, tema de gran importancia en el ciclo de vida de un producto (Yang, 2012); en este sentido se han desarrollado estudios con el estándar International Organization for Standardization (ISO) específicamente con la norma ISO/IEC 25000 conocida como SQuaRE (Software Product Quality Requirements and Evaluation) la cual constituye una evolución de la norma ISO/IEC 9126 (Calabrese et al., 2018) con el objetivo de evaluar la calidad del producto de software, aplicando la verificación y validación de algunas características seleccionadas (Mendoza, Kalinowski, Souza, & Felderer, 2019). La familia de normas ISO / IEC 25010 ha sido adoptada en distintos proyectos, (Karnouskos, Sinha, Leitao, Ribeiro, & Strasser, 2018) lo aplican en su investigación como paso inicial para la automatización industrial.

El objetivo de la investigación se centró en la utilización de la norma ISO/IEC 25010 sobre dos aplicaciones creadas en herramientas RA distintas: Vuforia y Wikitude y desarrolladas con el motor de programación Unity, para identificar la eficiencia en el desempeño a través de sus subcaracterísticas: Comportamiento en el tiempo y utilización de recursos, con el afán de identificar la herramienta RA que tiene mejor rendimiento en la ejecución de aplicaciones RA, proporcionando información que debería considerarse a la hora de elegir una herramienta para la creación de productos.

2.1. Materiales y Métodos

Para la experimentación en esta investigación se seleccionaron dos herramientas RA: Vuforia y Wikitude, las que a través de análisis previos realizados por los autores en función de la presencia y ausencia de las características de software requeridas en las aplicaciones RA (Salazar, Pineda, Arciniega, & Cervantes, 2019) y con una posterior competitive benchmarking considerando aspectos claves como: Plataforma, acceso

a GPS, reconocimiento de imágenes 2D, 3D y video, documentación disponible y frameworks (Salazar et al., 2019), ofrecen las mejores prestaciones para el desarrollo de productos de realidad aumentada. Adicionalmente se utilizó Unity como el motor de desarrollo.

Considerado como tema de las aplicaciones RA la difusión de sitios turísticos se crearon sendas aplicaciones en las dos herramientas seleccionadas y descritas anteriormente. Las aplicaciones creadas son exactamente iguales: i) inician con un menú de dos opciones a través de botones de acceso; ii) el botón uno permite la visualización de un objeto 3D; iii) el botón dos reproduce un video que incluye sonido; en los dos casos se aplica el reconocimiento de marcas y muestran la laguna de Yahuarcocha, Ibarra – Ecuador. Las apk fueron instaladas en un smartphone Xperia considerando que las características del dispositivo tendrán influencia en el proceso de evaluación.

Pantalla 1080p de 5.2 pulgadas, procesador Snapdragon 810 octa-core, 3GB de RAM, 32 Gb de almacenamiento interno y cámara principal de 23 megapixels.

2.1. Modelos de calidad: estándar ISO/IEC/25010

La calidad de software para dispositivos móviles ha sido un tema de interés tratado en varios trabajos (Idri, A; Bachiri, M; Fernandez & Toval) en los que se ha aplicado tanto el standard ISO/IEC9126 o su evolución la ISO/IEC/25000. La ISO/IEC/25010 que es la que se aplica en este trabajo es un conjunto de estándares de calidad para evaluar productos de software (Karnouskos et al., 2018) por medio de la evaluación de varias características: adecuación funcional, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad, portabilidad y eficiencia en el desempeño, siendo justamente esta última la característica central de la investigación, especificando que el proyecto se realizó bajo la premisa de que el principal interés de los usuarios finales constituyen la rapidez en los tiempos de respuesta y el uso de memoria RAM en la ejecución de sus aplicaciones.

2.2. Métricas de la ISO/IEC/25010

La característica eficiencia de desempeño está relacionada con el rendimiento de un dispositivo en función de su comportamiento temporal, el uso de recursos y la capacidad o límites máximos de funcionamiento.

Comportamiento en el tiempo

Esta subcaracterística está constituida por los tiempos de respuesta y procesamiento de una aplicación en ejecución en condiciones determinadas, su valoración se obtiene a través de tres métricas: i) tiempo de respuesta, ii) tiempo de espera, iii) rendimiento en una unidad de tiempo. Para la toma de datos de todas estas métricas se utilizó un cronómetro digital que permite capturar varios tiempos parciales de forma más precisa.

Las ecuaciones que se utilizaron en este proyecto fueron obtenidas del estándar ISO/EC/25010. (ISO, 2019)

Métrica: Tiempo de respuesta

Propósito: Obtener el tiempo estimado para completar una tarea

Método de aplicación: Tomar el tiempo desde que se envía la petición hasta obtener la respuesta.

Entradas: A = Tiempo de envío de petición, B = Tiempo en recibir la primera respuesta

Ecuación: $X = B - A$ (1)

En el caso de la app constituye el tiempo que transcurre desde que se activa la cámara (pantalla negra) hasta que se visualiza el objeto 3D.

Métrica: Tiempo de espera

Propósito: Obtener el tiempo desde que se envía una instrucción para que inicie un trabajo, hasta que lo completa

Método de aplicación: Tomar el tiempo desde que se inicia un trabajo hasta completarlo.

Entradas: A= Tiempo cuando se inicia un trabajo, B = Tiempo en completar el trabajo

Ecuación: $X = B - A$ (2)

En el experimento representa el tiempo que transcurre desde que se presiona sobre el botón "Objeto 3D" hasta que se visualiza el objeto.

Métrica: Rendimiento

Propósito: Contar el número de tareas procesadas en una unidad de tiempo

Método de aplicación: Contar el número de tareas realizadas en un intervalo de tiempo.

Entradas: A= Número de tareas completadas, T = Intervalo de tiempo

Ecuación: $X = A/T$ (3)

En el proceso de experimentación con las apps se consideró 30 segundos como unidad de tiempo, durante los cuales se accionó el botón "Objeto 3D", se visualizó el objeto y se regresó a la ventana de inicio, varias veces durante el lapso fijado.

Utilización de recursos

Esta subcaracterística se refiere al uso de éstos durante la ejecución de una tarea en condiciones preestablecidas. Se mide a través de cuatro métricas: i) líneas de código (N/A), ii) uso de CPU, iii) uso de memoria y iv) utilización de dispositivos E/S.

Para obtener datos sobre el uso del CPU se ensayó con ocho herramientas: Antutu, CPU Gauge, CPU Meter, CPU-Indicator, CPU-X, CPU-Z, Game Booster e Información del

Hardware. Adicionalmente se verificó el uso de CPU con una prueba de Robo con la herramienta integrada en Firebase Test Lab para Android; sin embargo, ninguna de las apps señaladas permitió obtener el valor especificado en el estándar para la aplicación RA, ya que no permiten separar las operaciones internas del dispositivo de las aplicaciones adicionales en ejecución, generando valores variados e inestables.

Para la obtención de datos del uso de memoria se experimentó con siete herramientas gratuitas descargadas de Google Play para el sistema operativo Android: All-In-One Toolbox, Antutu, Memory info, CPU Indicator, Cpu Meter, CPU-Z, Información del Hardware, de las cuales se seleccionó ***CPU Indicator*** ya que ésta muestra el consumo de memoria en la misma pantalla que utilizan las aplicaciones de RA.

Métrica: Uso de la memoria

Propósito: Verificar la cantidad de memoria usada para realizar una tarea.

Método de aplicación: Medir la cantidad total de memoria y la cantidad de espacios de memoria que realmente es usado para realizar una tarea.

Valores de entrada: A = Cantidad de espacios de memoria que realmente es usado para realizar una tarea, B = Cantidad total de espacios de memoria

Ecuación: $X = B - A$ (4)

Para la obtención de este valor se utilizó la app CPU Indicator, la cual permite identificar el porcentaje de memoria usada al activar la app RA. Dado que la métrica exige un valor, se utiliza una regla de tres simple para obtener el valor requerido. Se registra el uso de memoria antes de abrir la app y el uso de memoria una vez que se visualiza el objeto 3D.

Capacidad o límites máximos de funcionamiento

Esta característica se refiere a la capacidad de respuesta del software cuando funciona en línea. Se mide a través de tres métricas: i) número de peticiones en línea, ii) número de accesos simultáneos y iii) el ancho de banda. Cabe indicar que esta característica no es parte de este estudio ya que las aplicaciones no se ejecutan en línea, sino que debe ser instalado en el dispositivo móvil.

2.3. Asignación de pesos

Una vez definidos los valores a ser obtenidos se crearon las matrices en las cuales se registraron los datos resultantes de la experimentación. Se realizaron treinta y una tomas de datos para satisfacer las métricas de las características de cada una de las herramientas de RA con el smartphone Sony Xperia Z5 y se asignó pesos porcentuales iguales a las cuatro subcaracterísticas factibles de análisis, tal y como aparece en la Tabla 1.

Característica	Importancia	Métrica	%	Total
Comportamiento del tiempo	Alta	Tiempo de espera	25%	100%
		Tiempo de respuesta	25%	
		Rendimiento	25%	
Utilización de recursos	Baja	Uso de CPU	0%	
		Uso de memoria	25%	
		Utilización de los dispositivos de E/S	0%	
Capacidad	No Aplica		0%	

Tabla 1 – Asignación de pesos de la característica eficiencia en el desempeño

2.4. Pruebas estadísticas

Una vez obtenidos los valores experimentales se utilizó la herramienta R Studio, dentro de la cual se realizó el análisis de normalidad con la prueba de Shapiro Wilk, obteniéndose los datos que aparecen en la Tabla 2.

Unidad de Medida	P- Value Vuforia	P-Value Wikitude
Tiempo de respuesta	0.06484	0.001016
Tiempo de espera	0.1244	0.1652
Rendimiento	0.0004911	0.00002172
Utilización de la memoria	0.0002844	0.00006404

Tabla 2 – Análisis de datos con el test de normalidad Shapiro Wilk

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que únicamente la variable *tiempo de espera* en las dos herramientas RA y *tiempo de respuesta* en Vuforia alcanzan un valor mayor o igual a 0,05, por lo que para la presentación de resultados se aplica la estadística descriptiva de la media y mediana. El gráfico 1 corrobora los resultados obtenidos con la prueba de Shapiro Wilk.

3. Resultados

Para obtener los resultados respecto a la eficiencia de desempeño aplicando la normativa ISO/IEC/25010 se definieron los valores de algunos parámetros de acuerdo a los datos obtenidos en la fase experimental para cada una de las subccaracterísticas, adecuándolos a la funcionalidad de las aplicaciones desarrolladas. A continuación, se detallan los campos requeridos en la normativa para generar la valoración de calidad.

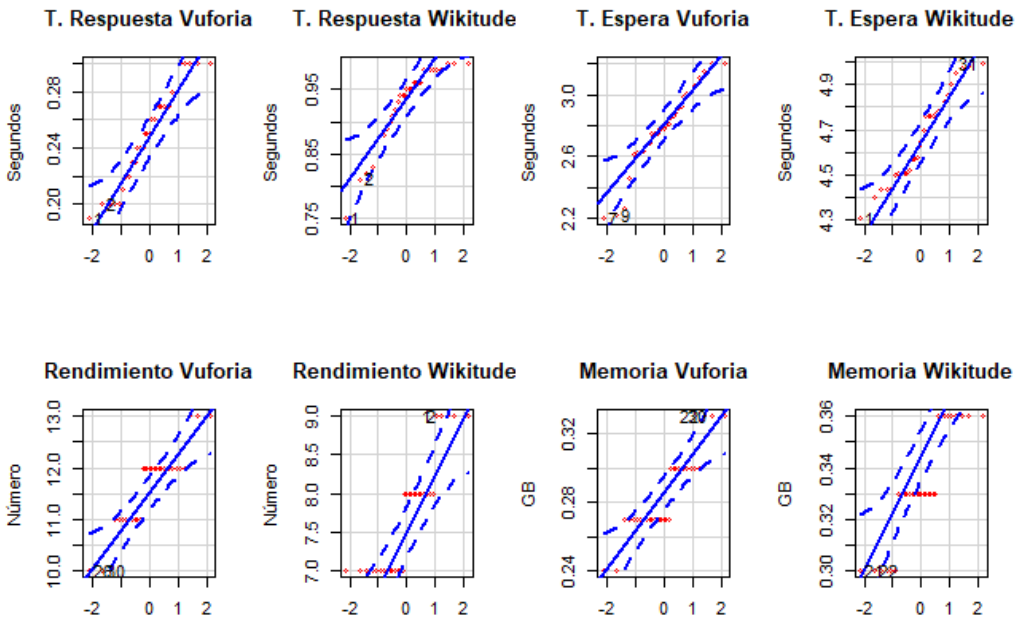


Figura 1 – Resultado de test de Shapiro Wilk

Peor caso: el cual se identifica de acuerdo a los valores obtenidos en el experimento o determinando la peor situación que podría producirse para la subcaracterística evaluada.

Valor deseado: que representa el valor que se consideraría como aceptable para la aplicación. También se obtiene en función de los eventos producidos durante la experimentación

Variables y Valor obtenido: constituye la media aritmética de los valores de entrada obtenidos para las variables A, B y T (entradas) y la media de los resultados obtenidos para X (salida), detallados en el acápite 2.

Valor Métrica: es la relación sobre diez considerando el valor obtenido X respecto al valor deseado.

Final subcaracterística: es el total parcial obtenido por la subcaracterística teniendo en cuenta el peso asignado a cada métrica.

La tabla 3 muestra los resultados de la normativa aplicada sobre la app desarrollada en Vuforia, que obtiene un resultado de 9,66 puntos sobre 10, por lo que de acuerdo a la normativa cumple con los requisitos y alcanza un grado de satisfacción Muy Aceptable.

Sub Caracte-rística	***Métrica***	**Peor caso**	**Valor Esperado**	**Aplica**	**Entradas**			**Salida**	**Métrica /10**	**Sub total**	**Total**
					A	**B**	**T**	**X**			
Comportamiento del tiempo	*Tiempo de respuesta*	>10 seg	0.20 seg	Si	2,53	2,79		0,26	9,74	7,23	9,66
	Tiempo de espera	>10 seg	4 seg	Si	0,00	2,79		2,79	10,00		
	Rendimi-ento	0	=30 Seg	Si	11,00		30	0,37	9,17		
Utilización de recursos	*Utilización de CPU*			No						2,43	
	Utilización memoria	> 0.5 GB	0.25 GB	Si	1,71	2,00		0,29	9,71		
	Utilización dispositi-vos de E/S			No							

Tabla 3 – Valores de las métricas de la herramienta Vuforia.

De igual forma la tabla 4 muestra los resultados de la normativa aplicada sobre la app desarrollada en Wikitude, que obtiene un resultado de 7,86 puntos sobre 10, alcanzando un nivel de calificación Aceptable y un grado de satisfacción Satisfactorio.

Sub Caracte-rística	***Métrica***	**Peor caso**	**Valor Esperado**	**Aplica**	**Entradas**			**Salida**	**Métrica /10**	**Sub total**	**Total**
					A	**B**	**T**	**X**			
Comportamiento del tiempo	Tiempo de respuesta	>1 seg	0.5 seg	Si	2,22	3,15		0,93	9,07	5,44	7,86
	Tiempo de espera	>10 seg	4 seg	Si	0,00	3,15		3,15	6,85		
	Rendimi-ento	0	=30 Seg	Si	7,00		30	0,23	5,83		
Utilización de recursos	*Utilización de CPU*			No						2,42	
	Utilización memoria	> 0.5 GB	0.25 GB	Si	1,91	2,24		0,33	9,67		
	Utilización dispositi-vos de E/S			No							

Tabla 4 – Valores de las métricas de la herramienta Wikitude.

Los resultados obtenidos a través de la norma pueden también ser observados en la gráfica de bigotes representada en la Figura 2, en la que se representan las medianas, para las cuatro métricas valoradas. Así, para el *tiempo de respuesta* la mediana alcanzada por la app de Vuforia es 0,25s, valor bajo respecto a los 0,95s obtenidos por la app de Wikitude. Sucede lo mismo respecto al *tiempo de espera*, cuya mediana en Vuforia es 2,78s frente a los 4,65s de Wikitude.

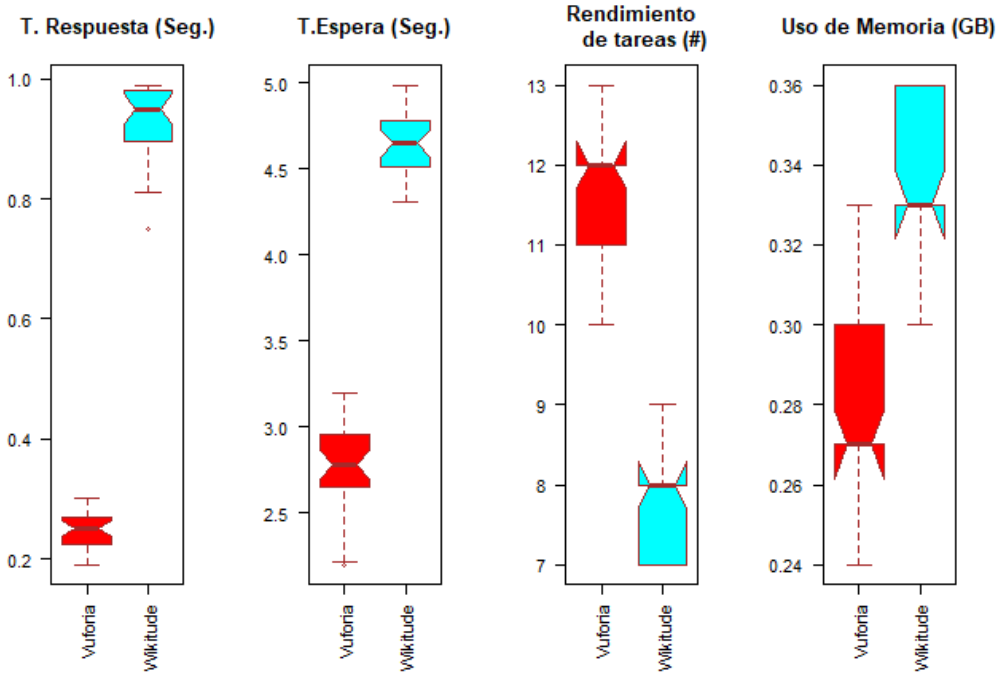


Figura 2 – Gráfica de Bigotes de las Medianas de las métricas

Los tiempos más bajos obtenidos en Vuforia influyen sobre el rendimiento, en una relación inversamente proporcional, ya que mientras en Vuforia se pueden ejecutar una mediana de 12 tareas en 30s, en Wikitude alcanza únicamente 8. En el caso de la memoria también Vuforia usa menos espacios memoria 0,27GB respecto a los 0,33Gb de Wikitude.

En la Figura 3 se puede visualizar como las medias de las variables medidas en Vuforia son menores a las obtenidas con Wikitude.

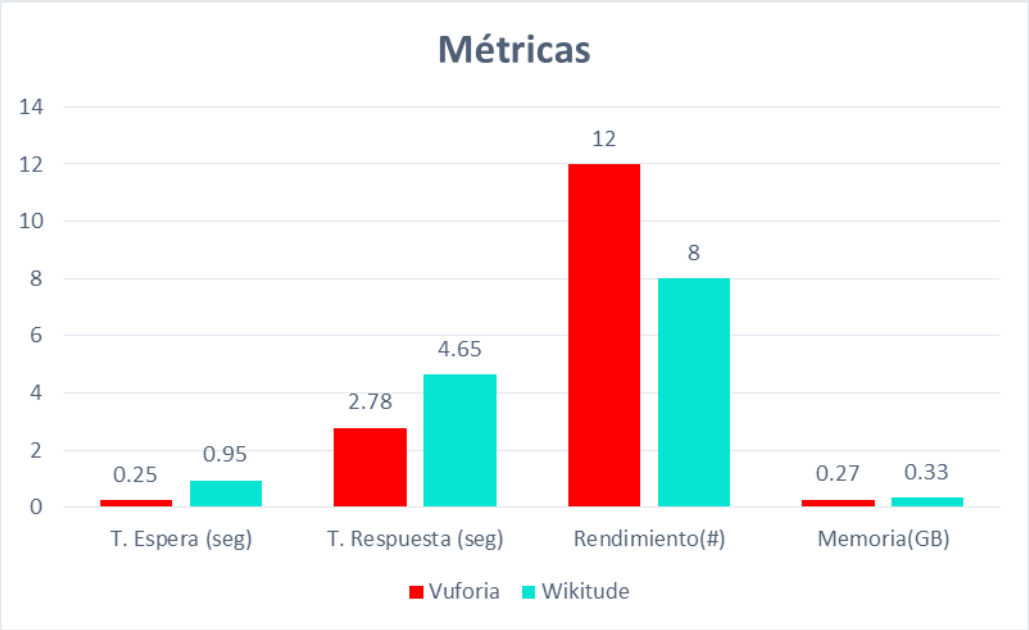


Figura 3 – Medias de las métricas

En bibliografía especializada se encontraron recientes estudios similares al que se presenta en este trabajo, aunque en áreas diferentes a la turística y no se encontró ninguno sobre aplicaciones de realidad aumentada.

El trabajo realizado por (Idri, A; Bachiri, M; Fernandez & Toval) se enfoca al igual que la presente investigación en la calidad externa de 14 apps gratuitas ya existentes relacionadas con el monitoreo del embarazo entre las que se incluye la características eficiencia del desempeño y se evalúa por medio de la asignación de pesos según el criterio de dos evaluadores. El presente trabajo se diferencia porque se centra únicamente en la característica de eficiencia y obtiene datos para la evaluación de la calidad a partir de la experimentación en un medio controlado sin que interfiera el criterio de los investigadores; además de la temática, para este trabajo se crearon las aplicaciones RA con elementos requeridos en una app de realidad aumentada tales como: imagen 3D, video 3D y georreferenciación en la app de Vuforia, no así en Wikitude, ya que al momento de la creación, el SDK de este software para Unity no soporta la geo localización mediante GPS, por lo que las pruebas se realizan únicamente con imagen 3D y video, para mantener las condiciones de igualdad entre las dos aplicaciones.

4. Conclusiones

Al ser la eficiencia de desempeño un factor importante que forma parte de la calidad de software se observa que Vuforia, genera tiempos de respuesta y de espera que cumplen

con los valores deseados y que influyen en un mejor rendimiento, utilizando menos espacios memoria, recurso importante en los dispositivos móviles.

Es importante señalar que, pese a que en el proyecto se especifica el uso de un único smartphone, se realizaron pruebas con dos dispositivos adicionales, uno de mejores características y otro de especificaciones menores, pero con resultados similares.

Referencias

Abdullah, A. G., Mulyanti, B., & Rohendi, D. (2018). *Virtual gasoline engine based on augment reality for mechanical engineering education*. *16002*, 1–6.

Bond, A., Neville, K., Mercado, J., Massey, L., Wearne, A., & Ogreten, S. (2019). *Evaluating Training Ef fi cacy and Return on Investment for Augmented Reality : A Theoretical Framework* (Vol. 1). https://doi.org/10.1007/978-3-319-93882-0

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. *Communications in Computer and Information Science*, *790*, 164–175. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75214-3_16

Colley, A. (2015). *Exploring AR Poster as an Interface to Personal Health Data*. (Mum), 422–425.

Daniela, G., & Velasco, M. P. (2019). *Augmented Reality as a Methodology to Development of Learning in Programming*. *1*, 327–340. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05532-5

ISO, I. O. for. (2019). ISO 25010. Retrieved June 28, 2019, from https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010

Jamali, S. S., Shiratuddin, M. F., Wong, K. W., & Oskam, C. L. (2015). Utilising Mobile-Augmented Reality for Learning Human Anatomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *197*(February), 659–668. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.054

Karnouskos, S., Sinha, R., Leitao, P., Ribeiro, L., & Strasser, T. I. (2018). Assessing the Integration of Software Agents and Industrial Automation Systems with ISO/IEC 25010. *Proceedings - IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2018*, 61–66. https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471951

Mendoza, I., Kalinowski, M., Souza, U., & Felderer, M. (2019). *Relating Verification and Validation Methods to Software Product Quality Characteristics: Results of an Expert Survey*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05767-1_3

Nobnop, R., Wongwatktit, C., Wongta, J., & Soponronnarit, K. (2018). A Development of 3D Augmented Reality Mobile Application to Facilitating Ecotourism-based Herbal Learning in MFU Botanical Garden. *The 26th International Conference on Computers in Education*, 563902.

Salazar, F., Pineda, C., Arciniega, S., & Cervantes, N. (2019). Comparativa Técnica De Herramientas Para Realidad Aumentada: Wikitude, Vuforia Y Artoolkit. *Axioma*, *2*(19), 86–96. https://doi.org/10.26621/xv19.2018.12.a08.pucesi.2550.6684

Yang, H. (2012). Measuring software product quality with ISO standards base on fuzzy logic technique. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, *137 AISC*, 59–67. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27866-2_8

Youm, D., Seo, S., & Kim, J.-Y. (2019). Design and development methodologies of Kkongalmon, a location-based augmented reality game using mobile geographic information. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, *2019*(1), 1. https://doi.org/10.1186/s13640-018-0395-2

Zhang, W., Han, B., & Hui, P. (2018). *Demo: Low Latency Mobile Augmented Reality with Flexible*. 829–831. https://doi.org/10.1145/3240508.3240561

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

Recebido/Submission: 16/04/2019
Aceitação/Acceptance: 02/07/2019

Análisis comparativo de algoritmos de aprendizaje supervisado para la detección de caídas

Santiago Solórzano[1], David Pozo[1], Luis Morales[2], Claudia Villalonga[3]

{santiago.solorzano, david.pozo}@udla.edu.ec, luis.moralesec@epn.edu.ec, claudia.villalonga@unir.net

[1] Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de las Américas, 170122, Quito, Ecuador.

[2] Departamento de Automatización y Control, Escuela Politécnica Nacional, 170525, Quito, Ecuador.

[3] Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad Internacional de La Rioja, 26006, Logroño, España.

Pages: 269–281

Resumen: La naturaleza y las condiciones propias del adulto mayor hacen que éste sea propenso a enfermedades y situaciones en donde su integridad física puede verse afectada; donde, las caídas son uno de los factores de mayor riesgo. En este artículo como principal aporte, se realiza un análisis sobre el efecto de la reducción del espacio de características usadas para el proceso de clasificación mediante la aplicación de la Matriz de Pearson. Para tal efecto, se presenta un análisis comparativo mediante métricas de 3 algoritmos: naive bayes, máquinas de soporte vectorial y redes neuronales en la detección de caídas. Las señales utilizadas son aceleraciones en tres ejes obtenidas de la base de datos del Institute of Communications and Navigations correspondiente a muestras de 16 sujetos masculinos y femeninos de entre 23 y 50 años. Los resultados muestran que naive bayes presenta el mejor desempeño considerando una reducción en las características.

Palabras-clave: ANN, SVM, Naive Bayes, Matriz de Pearson, Acelerómetros.

Comparative analysis of supervised learning algorithms for the detection of falls

Abstract: The nature and conditions of the elderly make it prone to diseases and situations where their physical integrity may be affected; where falls are one of the highest risk factors. In this article as a main contribution, an analysis is carried out on the effect of the reduction of the space of characteristics in the classification process through the application of the Pearson Matrix. For this purpose, a comparative analysis based on metrics of 3 algorithms is presented: naive bayes, vector support machines and neural networks in the detection of falls. The signals used are accelerations in three axes obtained from the database of the Institute of Communications and Navigations corresponding to samples of 16 male and female subjects between 23 and 50 years old. The results show that naive bayes has the best performance considering the reduction in the characteristics.

Keywords: ANN, SVM, Naive Bayes, Pearson Matrix, Accelerometer.

1. Introducción

Las caídas se consideran uno de los incidentes más peligrosos que afectan a las personas mayores, causando problemas fisiológicos y psicológicos. Es así que, el 47% de las personas que han sufrido caídas y que no sufren lesiones, no pueden levantarse sin ayuda (Yu et al., 2013) y se considera que las caídas también son la segunda causa de muerte no intencional con un estimado de 424.000 muertes en todo el mundo (Chaccour et al., 2017). La pronta detección de una caída y la asistencia por parte de personal de emergencia o familiares puede reducir el riesgo de mortalidad y aumentar las posibilidades de sobrevivir al incidente (Solórzano, Rojas-Ortiz, López-Molina, Clairand, & Pozo-Espín, 2018), (Santiago, Cotto, Jaimes, & Vergara-Laurens, 2017).

Existen varios métodos para la detección de caídas, entre los cuales se pueden mencionar: los basados en sensores inerciales como acelerómetros y giróscopos, collares, pulseras o botones que deben ser activados por el paciente y dispositivos que integran cámaras para detección por medio de visión artificial, entre otros (Garripoli et al., 2015). Por otra parte en (OMS, 2018) (Harrou, Zerrouki, Sun, & Houacine, 2017), el estudio de tecnologías no invasivas “no wearable”, ha tomado gran fuerza, debido a la poca o nula influencia que estos presentan sobre el adulto mayor.

La detección de caídas y la tecnología asociada a sensores inerciales es prometedora, sin embargo, aún existen retos y problemas relacionados a los procedimientos generados para la detección de caídas en base al uso de la información proveniente de sensores y la aplicación de algoritmos de clasificación, especialmente debido al poco conocimiento del modelo de la dinámica que esto involucra. Algunos investigadores han intentado definir la acción de la caída humana basándose en umbrales con la detección de picos de la señal de los sensores inerciales (Xu, Zhou, & Zhu, 2018). Sin embargo, gracias a la evolución de la inteligencia artificial (IA) y algoritmos de aprendizaje automático es posible mejorar estos sistemas, permitiendo identificar Actividades de la Vida Diaria (ADL) de manera más robusta. En el caso de caídas, se pueden disminuir las falsas alarmas y realizar una pronta detección para reducir el tiempo de respuesta del personal sanitario (Guerrero, 2016).

En (Xu et al., 2018) se realiza una comparativa entre los algoritmos y dispositivos más utilizados para la detección de caídas, ésta información es recopilada de trabajos de investigación y fueron divididos en tres principales categorías: basadas en visión (Kinect, cámaras, etc.), uso de acelerómetro (incorporados en teléfonos, IMU, etc.) y sensores de radio frecuencia (Wi-Fi y Radar). Antes del 2014 el uso del acelerómetro representó el 55% en detección de caídas, mientras que el uso de cámaras fue solo de 36%. Después del 2014 aparecen tecnologías como Kinect con 30% de aplicaciones para detención de caídas, cámaras 5%, Wifi 15%, una fusión entre Kinect y acelerómetros 15%. Los acelerómetros por sí solos representan un 35% de las aplicaciones, evidenciando su importancia debido al bajo consumo de energía, fiabilidad, tamaño y portabilidad.

Debido a los resultados presentados en (Shahzad & Kim, 2018), (Xu et al., 2018) y (Saleh, 2018), en este trabajo se plantea la implementación y análisis de desempeño de

los algoritmos clasificadores: Naive Bayes (NB), Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) y Redes Neuronales (ANN) aplicados en la tarea de identificación de caídas. El análisis realizado en Python abarca la preparación de datos, extracción de sus características y evaluación del rendimiento de los clasificadores. Las métricas de desempeño evaluadas son: precisión, exactitud, sensibilidad (recall) y F1-score. Además, se realiza un análisis del efecto de la reducción de características a ser utilizadas en los distintos algoritmos con el fin de determinar el nivel de influencia que tienen y como afecta al desempeño en el proceso de clasificación. Para tal objetivo, se utiliza la base de datos de aceleraciones disponible del Institute of Communications and Navigations correspondiente a muestras de 16 sujetos masculinos y femeninos de entre 23 y 50 años (Institute of Communications and Navigation, 2018).

2. Literatura relacionada

En la actualidad han surgido varios proyectos de investigación, así como también empresas dedicadas al cuidado y mejora de la calidad de vida de los adultos mayores. Es así que, la compañía sense4care especializada en el diseño de dispositivos médicos, ha creado el ANGEL4 (sense4care, 2018), un detector de caídas muy sensible basado en un acelerómetro triaxial y un algoritmo especifico desarrollado y aprobado por el Centro de Estudios Tecnológicos para la Dependencia y la Vida Autónoma (CETpD) de la Universidad Politécnica de Catalunya. ANGEL4 es un pequeño sensor que se coloca en la cintura mediante la sujeción con un cinturón y se conecta al móvil mediante bluetooth. Al momento que se registra una caída, el sistema realiza una llamada de emergencia y envía varios SMS indicando la situación y ubicación GPS de la persona. La compañía Vigilio Telemedical dispone de VIGI FALL (Vigilio Telemedical, 2018), un parche que el adulto mayor puede colocarse en el pecho, el sistema incorpora sensores de detección de movimiento que trabajan con el parche para evitar errores de caídas falsas, está complementado con un programa experto que tiene conexión vía telefónica para alertar en caso de una caída.

En (De Falco, De Pietro, & Sannino, 2019) se realiza una comparativa con 22 clasificadores entre ellos (SVM, Naive Bayes, Dynamic Time Warping (DTM), Modelos de Markov (HMMS)) donde se trabaja con 17 clases de Actividades de la Vida Diaria (ADLs) y la base de datos (UniMiB SHAR) de 30 personas, siendo el mecanismo para la recolección de datos un móvil Samsung Galaxy Nexus equipado con un sensor triaxial. En (Saleh, 2018) se ha planteado trabajar con los registros de aceleración triaxial (x, y, z) para un tipo de caída o ADL; de estas aceleraciones se calcula el módulo o magnitud. Al utilizar la información proveniente solamente de uno de los ejes o con umbrales, estos datos no resultan fiables, ya que conducen a una sensibilidad y especificidad baja; como resultado el rendimiento de los algoritmos basados en umbrales es débil. Este proyecto propuso la clasificación de caídas basada en tres métodos de aprendizaje supervisado KNN (K-nearest neighbors), ANN (Artificial Neural Network) y SVM (Support Vector Machine) y para evaluar su rendimiento se usaron tres criterios precisión, sensibilidad y especificidad, esta investigación ha reportado una precisión en la detección de caídas superior al 99%. En (Rosero-Montalvo et al., 2017) se plantea la implementación de un sistema embebido portable con el uso de señales de aceleración

junto con la técnica de KNN, el cual tiene una exactitud del 95% y un reconocimiento de caídas positivas de un 92%.

Existen contribuciones en el tema de detección de caídas, como CMDFALL (Tran, Le, Pham, & Hoang, 2018), cuyos datos fueron obtenidos capturando las actividades de 50 personas que realizaron 20 actividades cada una, incluyendo 8 caídas de diferentes estilos y 12 actividades diarias. En este proyecto se utilizó el sensor Kinect y acelerómetros. Los algoritmos utilizados para la detección fueron C3C (3D Convolutional Neural Network form RGB), DMM-KDES (Deph MotionMap and Kernel Descriptor for Depth modality), entre otros. FallDroid (Shahzad & Kim, 2018), está diseñado como un sistema autónomo e independiente del usuario para la detección de caídas cuya propuesta está basada en la unión de algoritmos de clasificación MKL-SVM (multiple kernel learning and support vector machine). Además, los algoritmos de SVM, ANN, k-NN, Naive Bayes de igual forma fueron evaluados con tres criterios precisión, sensibilidad y especificidad.

En (Pierleoni et al., 2016) se desarrolló un dispositivo no invasivo basado en sensores inerciales que propone el uso de SVM para la detección de caídas. Las métricas para la evaluación del rendimiento del algoritmo fueron precisión, sensibilidad y especificidad y su diferencia con las anteriores investigaciones es que ésta propuesta constituyó el desarrollo del producto de forma embebida. Por otra parte, una extracción adecuada de las características más representativas del sistema a modelar permitirá un mejor desempeño del algoritmo clasificador. Entre las características más utilizadas se pueden mencionar: Valor medio absoluto (MAV), Cuadrado medio raíz (RMS), Número de cruce por cero (NZC), Desviación (VAR), Desviación Estándar (STD), Potencia Entropía

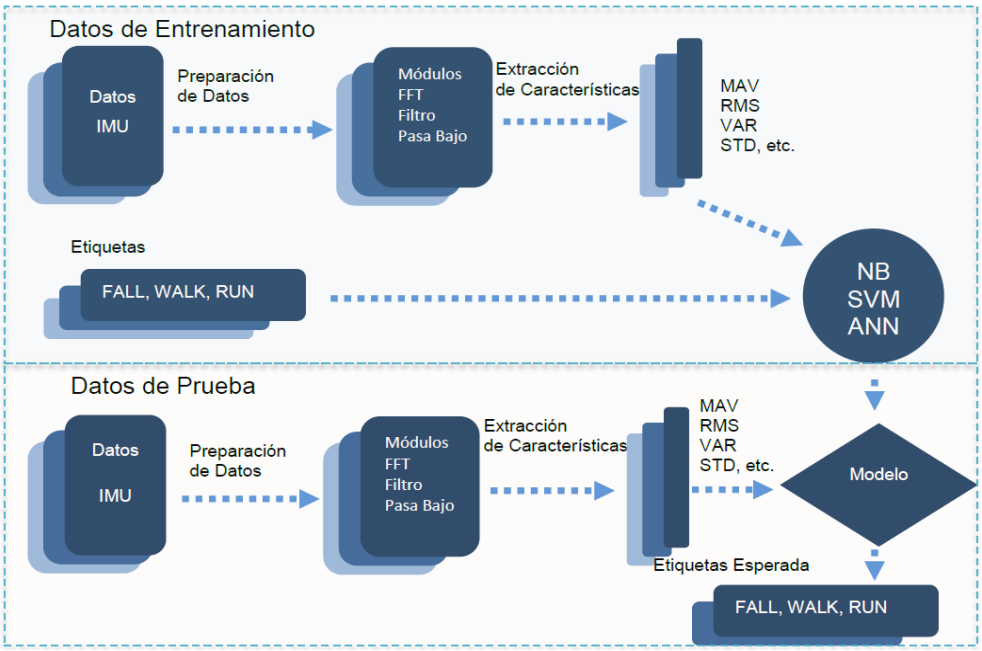


Figura 1 – Esquema del proceso de extracción de características y entrenamiento del sistema

Espectral (PSD), Funciones Ortogonales Empíricas (EOF), Willson Amplitude (WA) entre otros (Morales & Pozo, 2018).

3. Metodología

En el esquema general (Figura 1) se aprecian dos etapas para la detección de caídas: entrenamiento y evaluación. En cada una de estas, se realiza un proceso de adquisición de datos, procesamiento y extracción de características previo a su aplicación en los clasificadores de NB, SVM y ANN.

3.1. Adquisición y procesamiento de datos.

Los datos de aceleración en coordenadas x,y,z son obtenidos de la base de datos "ARS_DLR_DataSet del Institute of Communications and Navigation DLR". Con el fin de que los datos de aceleración utilizados sean independientes de la orientación del sensor, en este trabajo se utiliza la magnitud de los valores de las aceleraciones mediante la ecuación (1). Esta técnica es usada comúnmente en la detección de caídas en base al uso de acelerómetros (Saleh, 2018).

$$|\vec{A}_i| = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \tag{1}$$

Donde $i = \{1,2,3, \ldots . n\}$ y n es el número total de muestras de todos los eventos registrados en la base de datos para cada actividad.

Además, con el fin de realizar una validación multiclase de los clasificadores se ha escogido 3 actividades comúnmente presentes en la vida diaria: RUN, FALL y WALK. En la Tabla 1 se presentan el número de datos y eventos con los cuales se realizará el proceso de entrenamiento y validación para la detección de caídas, siendo 99 el total de eventos utilizados para el estudio.

Fichero	Datos	Eventos	Actividades
Data	n =6037	32	FALL
RUN	n =63476	25	RUN
WALK	n =180016	42	WALK

Tabla 1 – Ficheros para las clases RUN, WALK y FALL

En la Figura 2 se presenta un evento aislado de caída (pico de la curva) en base a las magnitudes de cada muestra.

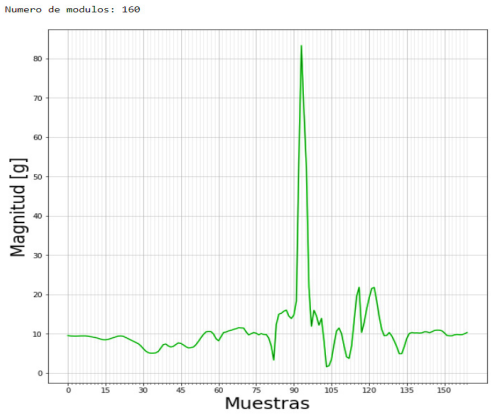


Figura 2 – Muestras correspondientes a un evento de caída basado en magnitudes.

Una vez que una actividad puede ser representada como una serie discreta en función de las magnitudes del vector aceleración, se procede a realizar la transformada Discreta de Fourier (DFT). El análisis frecuencial permite establecer las frecuencias que mayor peso tienen en la señal discreta como se muestra en la Figura 3.

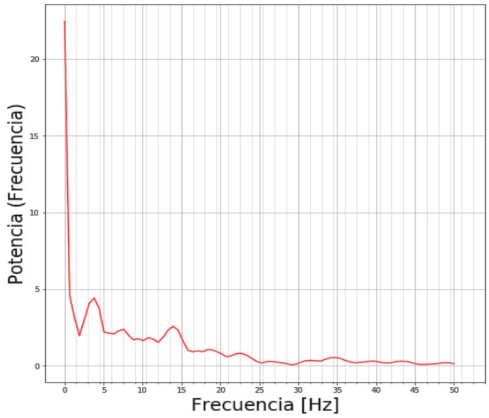


Figura 3 – Análisis frecuencial de un evento de caída.

En la Figura 3 se puede observar que el rango de frecuencias que identifican una caída se encuentra principalmente entre los 0.5Hz hasta los 25Hz, en base a lo cual se plantea la aplicación de un filtro pasa banda. El rango inferior del filtro tiene por objeto eliminar la componente de DC de la magnitud de la aceleración, que en este caso corresponde a la componente gravitacional. Por otra parte, el rango superior del filtro está asociado directamente a la eliminación de ruido en la señal.

Finalmente, se ha empleado un filtro digital butterworth de orden 5 en Python con frecuencia de corte inferior: 0.5 Hz, frecuencia de corte superior: 25 Hz y se considera

que la señal tiene un tiempo de muestreo de 10ms o una frecuencia de 100 Hz. El resultado de la señal filtrada se presenta en la Figura 4.

Una vez obtenidos los datos filtrados, se ha considerado que éstos corresponden a diferentes personas con características físicas distintas, lo que puede ocasionar que las amplitudes en las caídas de distintos usuarios reflejen valores máximos o mínimos variables. Con el fin de que los datos de las distintas caídas sean uniformes en cuanto a valores máximos, se realiza un proceso de normalización en el rango de [-1;1] de los datos de la magnitud (ver Figura 5).

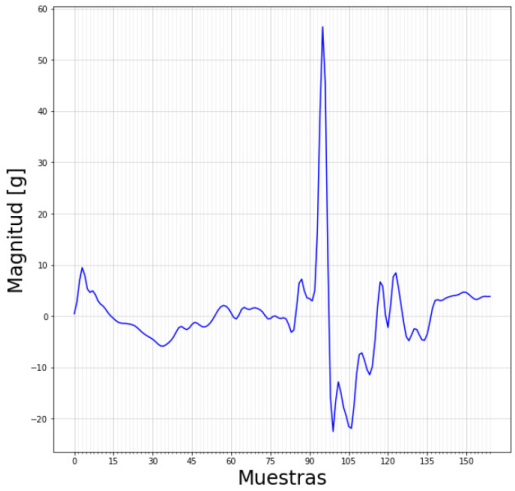


Figura 4 – Señal de un evento caída con filtro pasa banda 0.5Hz -25Hz.

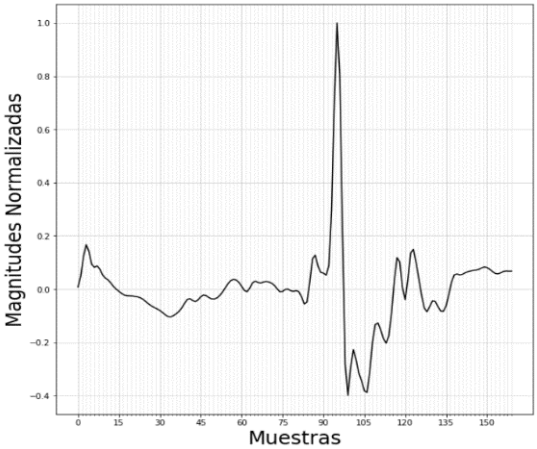


Figura 5 – Valores normalizados de las magnitudes de un evento caída.

3.2. Extracción de características y aplicación de algoritmos de clasificación

Con el uso de la estadística descriptiva se ordena, describe y sintetiza la información recogida referente a los valores normalizados de las tres clases RUN, FALL y WALK. Después de realizar el proceso de ingeniería de descriptores se ha determinado el cálculo de los siguientes: media, mediana, percentil 25, percentil 75, varianza, desviación estándar, asimetría, curtosis y rango. Para la aplicación de los algoritmos de clasificación se parte del Data Set "ARS_DLR_DataSet del Institute of Communications and Navigation DLR". Los datos para utilizarse en el proceso de entrenamiento y evaluación se encuentran resumidos en la Tabla 1.

Para el entrenamiento se ha considerado el 80% del total de datos, mientras que para evaluación el restante 20%; siendo escogidos de forma aleatoria mediante la técnica Stratified K-fold de validación cruzada para un K=5. La ventaja de este método es que todos los datos son eventualmente usados para entrenamiento y evaluación, permitiendo un análisis de resultados más robusto y no sesgado. $M_i M_i$ representa una métrica en particular, obteniendo la media M de cada métrica al final de la validación. (ver Figura 6).

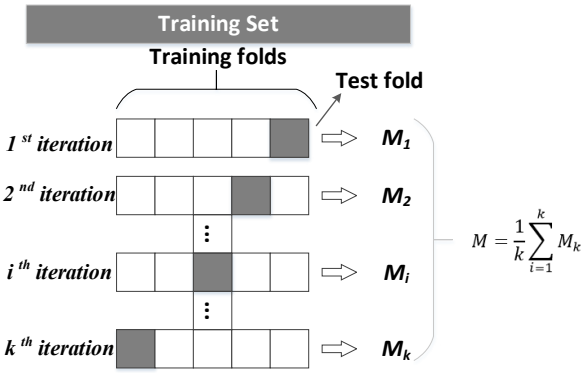


Figura 6 – Esquema de K-fold de validación cruzada para evaluación de desempeño de algoritmos

Para NB se utiliza una distribución gaussiana, en SVM se utiliza diferentes Kernel (lineal, polinomial y radial), mientras que en ANN se utiliza una función de activación RELU con 3 capas en total: 2 capas de 5 nodos y la final de 15 nodos.

4. Pruebas y resultados

Una vez que se procesan los datos y se realiza la extracción de los 9 descriptores (características), se genera la Matriz de Pearson de la Figura 7. Mediante un análisis heurístico en base a las correlaciones entre características observadas se establece la eliminación de 4 de ellas, con lo cual se reduce el espacio de características y se genera la matriz de Pearson de la Figuran 8.

Finalmente, se realiza una evaluación del comportamiento de los clasificadores frente a los dos grupos de características propuestos en función de la precisión, exactitud (accuracy), sensibilidad (recall) y f1-Score.

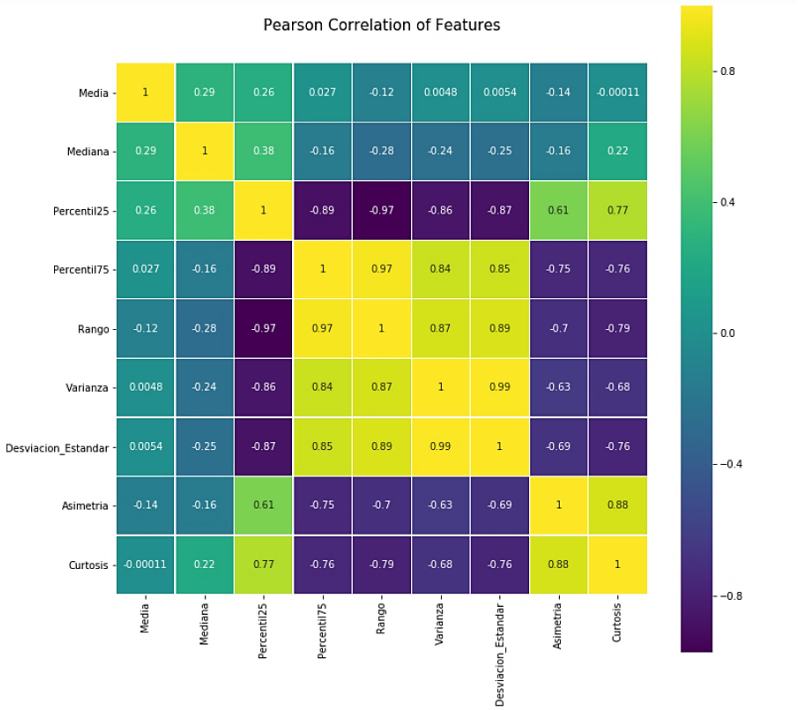


Figura 7 – Matriz de Pearson para 9 características.

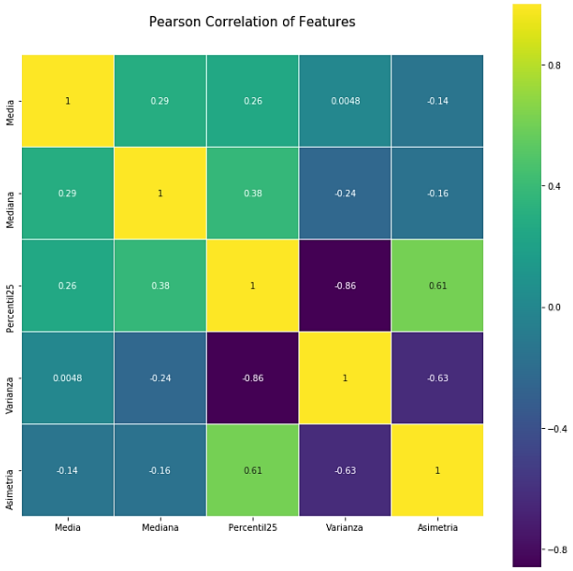


Figura 8 – Matriz de Pearson para 9 características.

4.1. Evaluación con 9 características

En la Tabla 2 y Tabla 3 se presentan los resultados del desempeño de los clasificadores utilizados para los grupos de entrenamiento y evaluación, considerando el uso de 9 características. Se puede apreciar que los clasificadores con el mejor rendimiento son Naive Bayes y Redes Neuronales ANN, mientras que el peor desempeño lo obtuvo SVM con un Kernel Polinomial. Es importante mencionar que el uso de un Kernel diferente como radial o lineal provoca cambios son significativos en las métricas de evaluación.

	Precisión (%)	**Exactitud (%)**	**Sensibilidad (%)**	**F1-score (%)**
NB	93	92	92	92
SVM -Lineal	91	89	87	88
SVM-Polinomial	51	66	57	52
SVM-Radial	*88*	85	82	83
ANN	*86*	96	95	96

Tabla 2 – Evaluación con 9 características para los grupos de entrenamiento

	Precisión(%)	**Exactitud (%)**	**Sensibilidad (%)**	**F1-score (%)**
NB	92	90	88	89
SVM -Lineal	92	88	86	86
SVM-Polinomial	51	66	58	51
SVM-Radial	*89*	83	80	81
ANN	*80*	91	89	86

Tabla 3 – Evaluación con 9 características para los grupos de prueba

4.1. Evaluación con 5 características

En la Tabla 4 y Tabla 5 se observan los resultados de la evaluación de los clasificadores con el espacio de características reducido mediante la aplicación de la Matriz de Pearson. El clasificador con mejor rendimiento es Naive Bayes con una precisión en los datos de prueba del 94%, exactitud del 94%, sensibilidad del 93% y F1-Score del 93%; valores superiores a los de ANN y NB con 9 características presentados en la Tabla 3.

	Precisión (%)	**Exactitud (%)**	**Sensibilidad (%)**	**F1-score (%)**
NB	94	93	93	93
SVM -Lineal	66	72	67	64
SVM-Polinomial	49	54	45	39
SVM-Radial	*78*	72	69	68
ANN	*69*	92	86	91

Tabla 4 – Evaluación con 5 características para los grupos de entrenamiento

	Precisión (%)	Exactitud (%)	Sensibilidad (%)	F1-score (%)
NB	94	94	93	93
SVM -Lineal	66	71	66	61
SVM-Polinomial	49	54	45	38
SVM-Radial	*78*	72	68	67
ANN	*66*	86	80	84

Tabla 5 – Evaluación con 5 características para los grupos de prueba

5. Conclusiones

El procesamiento de información a partir del Data Set de ADL ha permitido obtener la información necesaria (características) para el entrenamiento de algoritmos de aprendizaje supervisado multiclase. Además, en base a la información recopilada y procesada se establece un procedimiento para el análisis del desempeño de 3 clasificadores: Naive Bayes, Maquinas de Soporte Vectorial y Redes de Neuronas Artificiales en base a métricas establecidas como: precisión, exactitud, sensibilidad, y F1 Score.

El análisis realizado muestra como principales resultados que SVM con Kernel Polinomial fue el que peor resultados obtuvo, sin embargo, los Kernel tipo radial y lineal ofrecen buenas prestaciones en cuanto a precisión en el grupo de prueba con 9 características. ANN presentó buenos resultados en todas las métricas realizadas y sobre todo un desempeño bastante favorable con la reducción del espacio de características.

La selección de características mediante el análisis de la matriz de Pearson aportó información significativa sobre el comportamiento de los clasificadores ante una reducción en el espacio de características. Se pudo apreciar que el clasificador con base estadística NB presentó resultados bastante significativos en comparación con el resto de los clasificadores, los cuales tuvieron una disminución de desempeño en todas las métricas realizadas.

En este contexto, la disminución de características utilizadas, así como una elección adecuada de clasificadores, representa una oportunidad para su futura implementación en sistemas embebidos, donde reducir la carga computacional es un factor primordial. Además, para futuros trabajos se podría utilizar técnicas como Análisis de componentes principales PCA para reducir la dimensionalidad del espacio de características sin afectar considerablemente el desempeño del sistema.

Referencias

Chaccour, K., Member, G. S., Darazi, R., Member, S., Hajjam, A., Hassani, E., & Andrès, E. (2017). From Fall Detection to Fall Prevention : A Generic Classification of Fall-Related Systems, *17*(3), 812–822.

De Falco, I., De Pietro, G., & Sannino, G. (2019). Evaluation of artificial intelligence techniques for the classification of different activities of daily living and falls. *Neural Computing and Applications*, *1*. https://doi.org/10.1007/s00521-018-03973-1

Garripoli, C., Mercuri, M., Member, S., Karsmakers, P., Jack, P., Member, S., ... Schreurs, D. (2015). Embedded DSP-Based Telehealth Radar System for Remote In-Door Fall Detection, *19*(1), 92–101.

Guerrero, M. F. T. (2016). *Desarrollo de una Herramienta para Detección de Movimientos de la Vida Cotidiana de Personas Mayores*.

Harrou, F., Zerrouki, N., Sun, Y., & Houacine, A. (2017). Vision-Based Fall Detection System for Improving Safety of Elderly People, (December), 49–55.

Institute of Communications and Navigation. (2018). Data Set. Retrieved from https://www.dlr.de/kn/en/desktopdefault.aspx/tabid-12705/22182_read-50785/

Morales, L., & Pozo, D. (2018). An experimental comparative analysis among different classifiers applied to identify hand movements based on sEMG. *2017 IEEE 2nd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2017*, *2017–Janua*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247504

OMS. (2018). Caídas. Retrieved February 9, 2019, from https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls

Pierleoni, P., Belli, A., Maurizi, L., Palma, L., Pernini, L., Paniccia, M., & Valenti, S. (2016). A Wearable Fall Detector for Elderly People Based on AHRS and Barometric Sensor, *16*(17), 6733–6744.

Rosero-Montalvo, P. D., Peluffo-Ordóñez, D. H., Godoy, P., Ponce, K., Rosero, E. A., Vásquez, C. A., ... Mera, Z. A. (2017). Elderly fall detection using data classification on a portable embedded system. In *2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)* (pp. 1–4). https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247529

Saleh, M. (2018). An Efficient Machine Learning-Based Fall Detection Algorithm using Local Binary Features. *2018 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 672–676.

Santiago, J., Cotto, E., Jaimes, L. G., & Vergara-Laurens, I. (2017). Fall detection system for the elderly. In *2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 1–4). https://doi.org/10.1109/CCWC.2017.7868363

sense4care. (2018). Detección de Caídas. Retrieved from https://www.sense4care.com/es/

Shahzad, A., & Kim, K. (2018). FallDroid: An Automated Smart Phone based Fall Detection System using Multiple Kernel Learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *XX*(XX), 1–11. https://doi.org/10.1109/TII.2018.2839749

Solórzano, S., Rojas-Ortiz, M., López-Molina, R., Clairand, J., & Pozo-Espín, D. (2018). Home Tele-assistance System for Elderly or Disabled People in Rural Areas. In *2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)* (pp. 380–385). https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372306

Tran, T., Le, T., Pham, D., & Hoang, V. (2018). A multi-modal multi-view dataset for human fall analysis and preliminary investigation on modality. *2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 1947–1952.

Vigilio Telemedical. (2018). Detector de Caída a Distancia. Retrieved from http://www.medicalexpo.es/prod/vigilio-telemedical/product-75024-462746.html

Xu, T., Zhou, Y., & Zhu, J. (2018). New Advances and Challenges of Fall Detection Systems: A Survey. *Applied Sciences*, *8*(3), 418. https://doi.org/10.3390/app8030418

Yu, M., Yu, Y., Rhuma, A., Mohsen, S., Naqvi, R., Wang, L., ... Chambers, J. A. (2013). An Online One Class Support Vector Machine-Based Person-Specific Fall Detection System for Monitoring an Elderly Individual in a Room Environment, *17*(6), 1002–1014.

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

Recebido/Submission: 09/04/2019
Aceitação/Acceptance: 28/07/2019

Multi-Target Tracking for sperm motility measurement using the Kalman Filter and JPDAF: Preliminary Results

Dagoberto Mayorca-Torres[1,2], Herman H. Guerrero-Chapal[1], Julio E. Mejía-Manzano[3], Diana J. López-Mesa[3], Diego H. Peluffo-Ordóñez[4,5], José A. Salazar-Castro[5]

dmayorca@umariana.edu.co, hhguerrero@umariana.edu.co, jmejia@unicomfacauca.edu.co, dlopez@unicomfacauca.edu.co, diego.peluffo@sdas-group.com, jose.salazar@aunar.edu.co

[1] Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, 520001, Nariño, Colombia.

[2] Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, 170001, Caldas, Colombia

[3] Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacauca,190001, Cauca, Colombia

[4] Escuela de Ciencias Matemáticas y Computacionales Yachay Tech, 100650, San Miguel de Urcuquí, Ecuador

[5] Ingeniería Informática, Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, 520001, Nariño, Colombia.

Pages: 282–294

Abstract: The determination of sperm motility characteristics is of great importance for the specification of fertility in men. The semengram is the main diagnostic test to confirm semen quality. Currently, many fertility laboratories use visual assistance techniques to evaluate by using the Makler counting chamber, where motility and sperm count analysis can be performed. This research project proposes a method that allows the quantification of motility through the use of the probabilistic filter (JPDAF) based on the Kalman filter. This research requires the stages of segmentation, feature extraction and development of tracking algorithms for the association of sperm trajectories when there are multiple objectives. A total of 200 individual sperm were selected and the effectiveness for sperm classification was determined according to the mobility categories established by the WHO, obtaining an average value of 93.5% for the categories (A, B, C and D).

Keywords: Kalman Filter, JPDAF, morphology, motility, spermatozoa.

1. Introduction

The spermogram is the most important and simple diagnostic test to start the study of male fertility in which physical aspects of semen are evaluated, such as volume, pH, viscosity, color and other aspects that require more specialized techniques such as concentration, motility and morphology (Avendaño, Mata, Sanchez Sarmiento, & Doncel, 2012; Blomberg Jensen et al., 2011). The development of methods that allow to determine the degree of fertility in man, is one of the fields that has been widely studied worldwide, even though the manual procedure is still one of the most used, it is carried out by experts in specialized clinical laboratories (Asociación Espanola

de Urología. & SPARC (Organization), 2010; Wang, Fan, Behr, & Quake, 2012). This is where computer-aided systems (CASA) must respond to market needs in terms of accessibility and price (Mortimer, van der Horst, & Mortimer, 2015; Sharma, Harlev, Agarwal, & Esteves, 2016). These systems arose due to the need to perform a quantitative evaluation of the characteristics of the sperm samples based on the criteria established by the WHO (World Health Organization), which establishes the minimum amount of sperm and visual fields to be evaluated (Kobori, Pfanner, Prins, & Niederberger, 2016; Verón et al., 2018). This research work aims to develop an alternative method of human sperm analysis using image processing techniques and predictive algorithms based on probability filters, and thus overcome some limitations of current methods in relation to the monitoring of multiple sperm (Arasteh, Vosoughi Vahdat, & Salman Yazdi, 2018). This article describes the design, implementation and experimental validation of an artificial vision system for the kinematic determination and monitoring of multiple individual sperm using a Kalman predictor. Given the difficulties of label association when there are multiple candidates, the technique used is based in JPDAF (The joint probabilistic data-association filter), a probabilistic filter that makes it possible to optimally obtain the most likely candidate given a combination of potential candidates (Urbano, Masson, VerMilyea, & Kam, 2017). The contributions of this work are:

- Adjustment specifications on tracking algorithm in order to improve robustness and reduce processing time.
- Implementation of the Kalman Filter and JPDAF for label association and error reduction in trajectory prediction.
- Performance of algorithms for tracking and calculation of parameters in real time through efficiency study.

2. Materials and methods

2.1. Sample Preparation

To carry out this study, a total of 5 sperm samples were collected through a clinical laboratory, from which the age range was between [20-35] years. For the collection it is necessary to follow the WHO standard procedure (Bungum, Bungum, & Giwercman, 2011; Lu, Huang, & Lü, 2010; Pant et al., 2011):

- The patient is given a clearly written instruction sheet on how to collect the semen and transport it.
- The sample must be collected after 48 hours and no more than seven days of sexual abstinence.
- To make the initial evaluation, two samples of semen should be studied. These should not be older than 7 days.
- The sample must be obtained through masturbation and ejaculate in a wide-mouth plastic container at a temperature between 20°- 40°C.

The samples were processed by the Microscopy Unit of the University of Cauca and each sample was liquefied at an ambient temperature of 20 ° C and separated from the seminal plasma in three cycles of centrifugation. The evaluation technique was optical microscopy and it was necessary to increase the contrast of the samples by means of the

simple staining method, whose preparation consists in adding a mixture of eosin at 5% and two drops of nigrosin on 3mL of semen sample (Esteves, 2014). To guarantee the reliability of the analysis, two samples must be prepared given the previous procedure and once they are evaluated the results are compared with tables that allow establishing the degree of reliability, which must be higher than 95%. If it is less than this value, the procedure for sample preparation must be repeated (Esteves, 2014; Imani, Teyfouri, Ahmadzadeh, & Golabbakhsh, 2014; Sharma et al., 2016).

2.2. Image acquisition

Because it requires counting, morphological analysis and mobility, it is necessary to capture 20-second video sequences in two different fields in order to guarantee the reliability of the process. For this, the Nikon-Eclipse reference optical microscope with 10x and 40x lenses was used, by controlling the temperature of the sample at 37 ° C. The videos were stored and sent to the computer in MJPG format, at a rate of 30 FPS (frames per second), with a resolution of 1920 x 1080 pixels. The process of calibration and adjustment of the distances used the standardized 100mm grids used in the Makler counting chamber (Kobori et al., 2016).

2.3. Calculation of mobility parameters

The World Health Organization (WHO) has defined male fertility based on concentration, percentage of normality and sperm motility. In the evaluation of the reproductive capacity, mobility is a determining criterion for its evaluation, it is necessary to analyze a total of 200 spermatozoa in 2 different samples in order to make the examination reliable (Verón et al., 2018). WHO classifies mobility into four categories, which are described by the values referenced in the table 1. The kinematic parameters calculated by a CASA system are the description of a series of geometrical measurements that depend on time and show information about the speed of movement of the sperm, as well as the beat frequency [Hz], changes of direction and amplitude of the trajectory described by the sperm head.

Type	Description	Speed
A	Progressive	greater than 20 μm/s
B	Circular movements	5 μm /s - 20 μm /s
C	Slow and no progress	1 μm /s – 5 μm /s
D	Static or motionless	Less than 1 μm /s

Table 1 – Motility Classification WHO 2010 (WHO values).

Because the frequency of oscillation of the flagellum is around 80 Hz it is necessary to capture the images at least twice the frequency (160 Hz) to obtain its kinematics. The head is taken as geometrical center The parameters to calculate are shown below (Urbano et al., 2017):

- Curvilinear velocity (VCL): Velocity, in µm /s, of the sperm in its curvilinear trajectory, this being the two-dimensional projection of the real three-dimensional trajectory of the same defined as the ratio between travel and time.
- Linear velocity (VSL): Speed, in µm /s, of the sperm in its rectilinear trajectory, this being the result of joining the first and last point of the curvilinear trajectory during the observation period.
- Average speed (VAP): Speed, in µm /s, of the sperm in its average trajectory during the observation period; the average trajectory being indicative of the average direction of displacement of the sperm cell, its points are obtained from the average value of the coordinates of the points of the adjacent circular path.
- Linearity Index (LIN): The percentage relationship between the VSL and the VCL given by the relationship LIN= (VSL/VCL) *100 indicates how close the circular path of the sperm is to a straight line. The circular paths have a low LIN, since the circular path will be much greater than the net space gained.

The mobility parameters are estimated from a set of points and time measures associated with each of the positions. Algorithms are implemented to act under changes of sperm direction, as well as oscillation around trajectory.

2.4. Image Processing

For implementation and description of the proposed model, the OpenCV library was used in the C ++ programming language. The stages of system development are shown below:

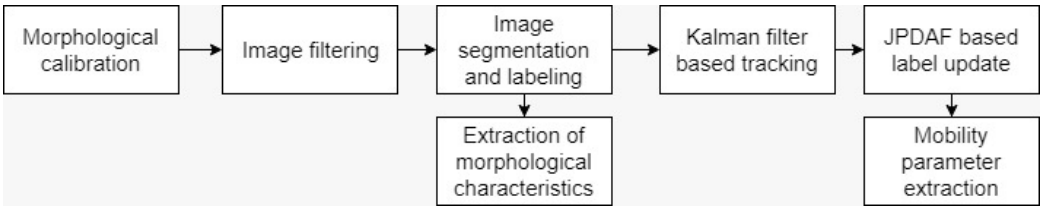


Figure 1 – Block diagram of the processing performed on the sequence of images.

Morphometric calibration: For this stage we proceeded to make the measurement of the reference rules in order to determine the pixel-distance relationship and its disposition was on the horizontal and vertical axis of the microscope because the resolution can differ by a small amount (Arasteh et al., 2018).

Image filtering: One of the main stages in the systems of artificial vision is the improvement of the characteristics to be determined, because this can simplify the processing techniques to be applied. One of the characteristics observed on the images is the high contrast. This factor may be convenient, but in excess it incorporates artifacts for further processing. For this type of noise, it is essential to apply a smoothing filter, but given the high contrast, linear smoothing filters tend to "blur the axes" because the high frequencies of an image are attenuated (Guerrero González, Cardona Maya, & Morantes Guzmán, 2007). When the objective is to have greater noise reduction

without affecting the edges of the image, non-linear filters are used, which represents an alternative. In this case, the filter used is called Kuwahara, which consists of the use of a window divided into 4 sectors to which the value of mean and variance is calculated. Finally, the measure of least variance is used as the representative value of that window (Sarabia & Munuce, 2011).

***Segmentation of the images**:* Once the improvement of the characteristics has been made, the segmentation process is carried out, which consists of separating the sperm from the bottom. Given the changes of illumination in the images, it is decided to use the Mixtures of Gaussians method, a process that consists in accessing the intensity level values of each pixel in each channel (Giaretta et al., 2017; Ravanfar et al., 2014). Given a value of random X, it is possible to determine the probability that a pixel belongs to the object of interest (different from the background) and is it given by the following distribution:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{k} P_i(\mu_i - \sigma_i{}^2) \tag{1}$$

where from the equation (1) it is established that k is the number of regions to use, and $P_i > 0$ and where the sum of all the probabilities will be determined by $f(x) = \sum_{i=1}^{k} P_i = 1$.

$$N(\mu_i, \sigma_i{}^2) = \frac{1}{\sigma_i\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-\mu_i)^2}{\sigma_i{}^2}}, \tag{2}$$

Equation 2 shows the probability distribution function, where μi y σi correspond to mean and standard deviation respectively. For an image $I(x, y)$ the data is determined on the basis of the model, the number of regions to divide the image in relation to the value of the histogram.

Extraction of morphological parameters: After the segmentation process, each object found is then labeled for subsequent monitoring. The next process is to determine those candidates that have the characteristics of the object of interest. For this, color and texture characteristics are extracted to allow the differentiation of live sperm from dead sperm. After the analysis of the color planes, the conversion to the HLS plane (Hue, Luminance, Saturation) is established, since the staining allows to reliably determine the tonality changes of the live and dead sperm. The texture characteristics such as (entropy and similarity) allow the separation of sperm from the other objects present in the sample.

Tracking and label association based on Kalman and JPDAF: This section shows the development of mathematical modeling and notations developed by JPDAF that denote the position of an individual sperm in a frame k given by the prediction of the state, prediction of the covariance and prediction of the measurement, determined by the following equations (3), (4), (5) and (6) :

$$Z^k = Z_i^k \tag{3}$$

$$\hat{X}_{tj}(k-1) = F\hat{X}_{tj}(k-1) \tag{4}$$

$$P_{tj}(k-1) = FP_{tj}(k-1)F^T + Q_t(k) \tag{5}$$

$$Z_{tj}(k-1) = F\hat{X}_{tj}(k-1) \tag{6}$$

The index *tj* denotes the objective t that associates a measure *j*. For the realization of the speed measurement validation, the noise measure of the covariance given by the equations (7) and (8) is used:

$$Q_t(k) = C_1 Q_t(k-1) - C_2 v_t v_t^T + C_3 Q(0) \tag{7}$$

$$v_t(k) = \hat{X}_t(k-1) - \hat{X}_t(k-1) \tag{8}$$

where C1, C2 and C3 are the memory decay coefficients. Finally, a comparison was made between the manual measurement and the algorithm implemented in order to find from the confusion matrix the accuracy of the counting classifier. The statistical analysis was carried out using software Gnu PSPP 0.10.12. Normality tests were applied applying Ryan-Joiner's statistical test for the analysis variables. The following calculations were made:

- Mean and standard deviation for the parameters VCL, VSL, VAP, LIN, STR y WOB.
- Dispersion charts (VSL vs VCL), (LIN vs ALH), (VSL vs WOB) y (MAD vs LIN).
- Confusion analysis for comparison between classification data calculated by the mobility algorithm (A, B, C and D) regarding those classified by expert.

To establish the differences of the trajectory points obtained by algorithm tracking and association of labels (Kalman and JPDAF) regarding those extracted by expert using a manual tool, a Wilcoxon statistical test was used for related samples and a value of $p<0.05$ was considered as a value of statistical significance.

3. Results and Analysis

In this section, we present the results obtained in the process of segmentation and development of the individual sperm tracking algorithm, where predictive and probability techniques were used to associate trajectories. Once obtained, the motility parameters established by the WHO are extracted. One of the main achievements was to improve the effectiveness of the tracking algorithm, which allows the association of multi-objective tags, that is, it allows solving the cases of intersection of trajectories described by sperm.

3.1. Reliability of the tracking algorithm

In this section we present the monitoring results obtained by applying the algorithm of JPDAF and Kalman for multiple objective scenarios. From the analysis of 200 spermatozoa from samples A and B, a total of 10 intersections of 2 spermatozoa and 6 intersections of 3 spermatozoa were identified. Figure 2 shows some trajectories taken from the videos captured. For these scenarios the efficiency of the algorithm is estimated.

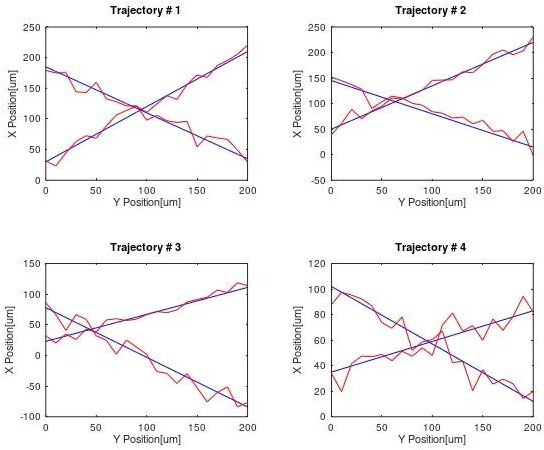


Figure 2 – Correct tracking of trajectories of 2 sperm.

The results show a small improvement to solve individual sperm crosses. In some cases where the trajectories present a very large variability, the JPDAF algorithm does not solve the crosses. Table 2 shows the percentage of reliability for each of the methods used for the identification of intersections.

Number	Scenario	Kalman Filter	Kalman Filter+JPDAF
10	Intersection of 2 sperm trajectories	60%	80.0%
6	Intersection of 3 sperm trajectories	50%	83.3%

Table 2 – Reliability of the algorithms for the monitoring of sperm

3.2. Motility Analysis of Sperm Samples

The kinematic parameters analyzed are part of 2 samples collected from 200 sperm for a 100x lens, the measurement was validated by inspection of the samples duplicated by the expert in order to guarantee reliability of the test. In addition, it was necessary to perform a normality test on the data to determine the values of mean and standard deviation. The statistical test used was that of Ryan-Joiner where the correlation value of ($p<0.05$,ES=0.825) is close to 1 is approved for the parameters VCL, VSL, LIN, ALH

and WOB were calculated and correlated in scatter plots, these are indicated in Fig. 3 and Figure 4 for two samples A and B respectively.

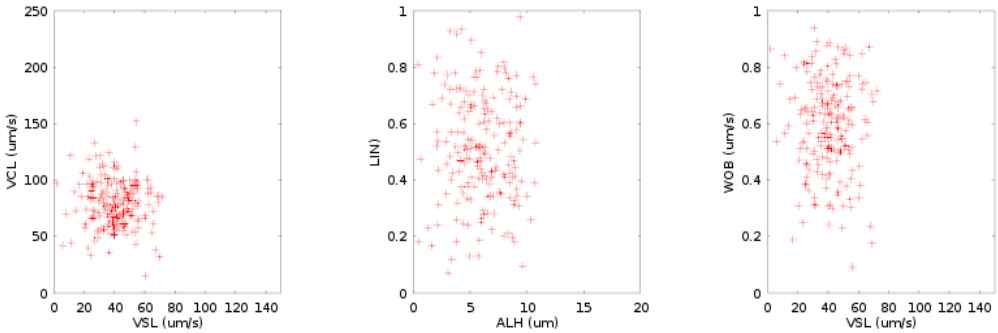


Figure 3 – Motility parameters for sample A.

As it is possible to observe in Figure 3, there is a high consistency between the VSL values vs. VCL, unlike VSL vs. data. WOB where data is more dispersed. Figure 4 shows a greater consistency in the VSL vs. data. VC and VSL vs. WOB These graphs give us indications about the behavior of these variables over time.

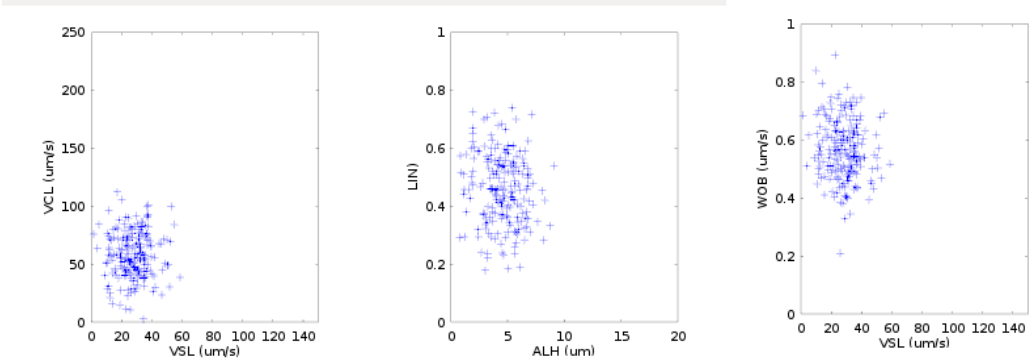


Figure 4 – Motility parameters for sample B.

The mobility parameters for sample A, such as VCL, VSL, LIN, ALH y WOB and were calculated and plotted. The expert using the Makler counter obtained average concentration values of 30.6x10-6 sperm / ml. A total of 200 sperm were counted in two samples (A and B) and identification and monitoring software was used. Table 3 shows the average values and the standard deviation of the speed of sample A. While the data measured for sample B is 20.6x10-6 sperm / ml, the average values and the standard deviation of velocity can be seen in Table 4.

Type	Number of Spermatozoa	Average Speed (µm / s)	Standard Deviation Speed (µm / s)
A	41	45	10
B	20	13	3
C	43	7	2
D	87	0	0
Total	191		

Table 3 – Sample speed values A

The data obtained for sample A are larger than for sample B, after the sperm identification process, the follow-up algorithm based on minimum distance criteria is applied.

Type	Number of Spermatozoa	Average Speed (µm / s)	Standard Deviation Speed (µm / s)
A	41	38	11
B	23	8	4
C	38	5	3
D	88	0	0
Total	190		

Table 4 – Sample speed values B

It was applied for a sequence of 10 seconds and the extraction of the kinematic parameters was performed, resulting in a curve that describes the trajectory of the sperm around a line that determines the degree of deviation. This behavior can be observed in figure 5.

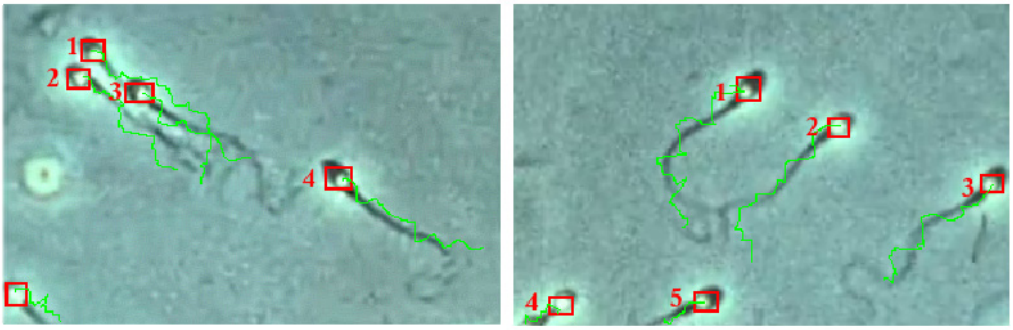


Figure 5 – Identification and tracking of individual sperm for an image of the sample.

Once the kinematic parameters are obtained, this information is correlated with the data obtained in the manual assessment by the expert in the confusion matrix in Table 5 and Table 6, for samples A and B respectively.

Type	Expert	Software	Reliability %
A	45	41	91.1
B	22	20	90,9
C	45	43	95.4
D	88	87	98.7
Total	200	191	

Table 5 – Reliability of sperm motility classification of sample A.

Type	Software	Expert	Reliability %
A	40	41	97.5
B	22	23	95,5
C	46	38	82.6
D	92	88	95.7
Total	200	190	

Table 6 – Reliability of sperm motility classification of sample B.

The data obtained allow finding reliability percentages above the values referenced by the WHO, and it is also possible to observe from the confusion matrix that errors are established for underlying categories. Category A is confused with B for some classifications and this may be due to a hysteresis problem since most of the errors are those that are at a speed that oscillates around the defined threshold within the uncertainty of the measurement value. Regarding the comparison of the manual method with respect to that achieved with the tracking algorithm using the Wicolson coefficient, it was possible to find a correlation of ($p < 0.05$, ES = 92), values that allowed to establish the degree of reliability in the tag assignment and demonstrate the reliability in determining trajectories when there are bifurcations, given the overlap of spermatozoa in the seminal fluid.

4. Conclusions

The system allowed tracking up to 200 individual sperms in real time by means of the JPDAF algorithm, and measuring the average speed, displacement, distance traveled and frequency with a resolution level of 10 microns. The preliminary results of the system allowed the identification and classification of the categories defined by the WHO based on an expert system, obtaining an accuracy in the results for the identification of sperm of 95.5%, and 95.7% for the dead sperm count (data that can be deduced from D motility category). Finally, for motility, the percentage of reliability was established above 90.9% for categories A and B. It was possible to demonstrate the efficiency for at least 200 individual trajectories, by non-parametric Wicolxon correlation coefficient in a value greater than 86%. At least for the 12 trajectories of a total of 16 that presented

the crossing of two and three spermatozoids, separation was achieved in an adequate manner. It was possible to find correlations between the trajectory descriptive data allowing to understand the behavior of the variables when the fertility index is higher, a criterion that allows to give clues about the behavior of the sperm given the conditions of normality. The software showed a good performance in relation to the data obtained by the expert. However, for a more efficient validation it is necessary to take a larger number of samples for study in specialized centers. The main objective, which is the implementation of a low-cost and user-friendly support tool is achieved.

Acknowledgements

This research work is supported by the Mechatronic Engineering research Group of the Mariana University. Also, the authors are very grateful for the valuable support given by SDAS Research Group (www.sdas-group.com).

References

Amann, R. P., & Waberski, D. (2014). Computer-assisted sperm analysis (CASA): Capabilities and potential developments. *Theriogenology*, *81*(1), 5-17.e3. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.004

Arasteh, A., Vosoughi Vahdat, B., & Salman Yazdi, R. (2018). Multi-Target Tracking of Human Spermatozoa in Phase-Contrast Microscopy Image Sequences using a Hybrid Dynamic Bayesian Network. *Scientific Reports*, *8*(1), 5068. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23435-x

Asociación Espanola de Urología., W., & SPARC (Organization). (2010).˜ Actas Urológicas Españolas (Vol. 34). Retrieved from: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0210-48062010000700001

Avendaño, C., Mata, A., Sanchez Sarmiento, C. A., & Doncel, G. F. (2012). Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertility and Sterility*, *97*(1), 39-45.e2. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2011.10.012

Beresford-Smith, B., & Van Helden, D. F. (1994). Applications of radar tracking algorithms to motion analysis in biomedical images. In *Proceedings of 1st International Conference on Image Processing* (Vol. 1, pp. 411–415). IEEE Comput. Soc. Press. https://doi.org/10.1109/ICIP.1994.413346

Blomberg Jensen, M., Bjerrum, P. J., Jessen, T. E., Nielsen, J. E., Joensen, U. N., Olesen, I. A., Jorgensen, N. (2011). Vitamin D is positively associated with sperm motility and increases intracellular calcium in human spermatozoa. *Human Reproduction*, *26*(6), 1307–1317.

Bungum, M., Bungum, L., & Giwercman, A. (2011). Sperm chromatin structure assay (SCSA): a tool in diagnosis and treatment of infertility. *Asian Journal of Andrology*, *13*(1), 69–75. https://doi.org/10.1038/aja.2010.73

Esteves, S. C. (2014). Clinical relevance of routine semen analysis and controversies surrounding the 2010 World Health Organization criteria for semen examination. International braz j urol, 40(4), 433-453. https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2014.04.02

García-Fernández, Á. F., Svensson, L., & Morelande, M. R. (2016). Multiple target tracking based on sets of trajectories. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1605.08163

Giaretta, E., Munerato, M., Yeste, M., Galeati, G., Spinaci, M., Tamanini, C., … Bucci, D. (2017). Implementing an open-access CASA software for the assessment of stallion sperm motility: Relationship with other sperm quality parameters. *Animal Reproduction Science*, *176*, 11–19. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.11.003

Guerrero, E. R., Mancera, F. C., González, N. G., Maya, W. C., & Guzmán, L. M. (2013). Evaluación asistida por computador de la viabilidad espermática en humanos. Revista Ingeniería Biomédica, 6(12), 17-28.

Imani, Y., Teyfouri, N., Ahmadzadeh, M. R., & Golabbakhsh, M. (2014). A new method for multiple sperm cells tracking. *Journal of Medical Signals and Sensors*, *4*(1), 35–42. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24696807

Kobori, Y., Pfanner, P., Prins, G. S., & Niederberger, C. (2016). Novel device for male infertility screening with single-ball lens microscope and smartphone. *Fertility and Sterility*, *106*(3), 574–578. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2016.05.027

Lu, J.-C., Huang, Y.-F., & Lü, N.-Q. (2010). [WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen]. *Zhonghua Nan Ke Xue = National Journal of Andrology*, *16*(10), 867–871. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21243747

Mortimer, S. T., van der Horst, G., & Mortimer, D. (2015). The future of computeraided sperm analysis. *Asian Journal of Andrology*, *17*(4), 545–553. https://doi.org/10.4103/1008-682X.154312

Pant, N., Pant, A., Shukla, M., Mathur, N., Gupta, Y., & Saxena, D. (2011). Environmental and experimental exposure of phthalate esters: The toxicological consequence on human sperm. *Human & Experimental Toxicology*, *30*(6), 507–514. https://doi.org/10.1177/0960327110374205

Ravanfar, M., Azinfar, L., Moradi, M. H., Fazel-Rezai, R., Ravanfar, M., Azinfar, L., Fazel-Rezai, R. (2014). Occlusion Robust Low-Contrast Sperm Tracking Using Switchable Weight Particle Filtering. *Advances in Sexual Medicine*, *04*(03), 42–54. https://doi.org/10.4236/asm.2014.43008

Rivera-Acosta, M., Ortega-Cisneros, S., Gongora, M. C., Biswas, R., Rios, Y. Y., Sanchez, E. N., & Garcia, F. J. (2017). Identification of the morphological defects present in the pattern of spermatozoa using a reconfigurable device. In *2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)* (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/ROPEC.2017.8261599

Sarabia, L., & Munuce, M. J. (2011). Nuevos valores para el espermiograma OMS 2010. *Revista Médica de Chile*, *139*(4), 548–549. https://doi.org/10.4067/S0034-98872011000400020

Shaker, F., Monadjemi, S. A., & Naghsh-Nilchi, A. R. (2016). Automatic detection and segmentation of sperm head, acrosome and nucleus in microscopic images of human semen smears. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *132*, 11–20. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.04.026

Sharma, R., Harlev, A., Agarwal, A., & Esteves, S. C. (2016). Cigarette Smoking and Semen Quality: A New Meta-analysis Examining the Effect of the 2010 World Health Organization Laboratory Methods for the Examination of Human Semen. *European Urology*, *70*(4), 635–645. https://doi.org/10.1016/j.eururo.2016.04.010

Sikka, S. C., & Hellstrom, W. J. (2016). Current updates on laboratory techniques for the diagnosis of male reproductive failure. *Asian Journal of Andrology*, *18*(3), 392. https://doi.org/10.4103/1008-682X.179161

Urbano, L. F. (2014). Robust Automatic Multi-Sperm Tracking in Time-Lapse Images. *Drexel University*, (May).

Urbano, L. F., Masson, P., VerMilyea, M., & Kam, M. (2017). Automatic Tracking and Motility Analysis of Human Sperm in Time-Lapse Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, *36*(3), 792–801. https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2630720

Verón, G. L., Tissera, A. D., Bello, R., Beltramone, F., Estofan, G., Molina, R. I., & Vazquez-Levin, M. H. (2018). Impact of age, clinical conditions, and lifestyle on routine semen parameters and sperm kinematics. *Fertility and Sterility*, *110*(1), 68-75.e4. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.03.016

Wang, J., Fan, H. C., Behr, B., & Quake, S. R. (2012). Genome-wide Single-Cell Analysis of Recombination Activity and De Novo Mutation Rates in Human Sperm. *Cell*, *150*(2), 402–412. https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.06.030

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

Recebido/Submission: 07/04/2019
Aceitação/Acceptance: 20/07/2019

Publicando datos abiertos considerando criterios de calidad

Susana Cadena-Vela[1], Andrés Fuster-Guilló[2], Jose-Norberto Mazón[2]

scadena@uce.edu.ec, fuster@ua.es, jnmazon@ua.es

[1] Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

[2] universidad de Alicante, Alicante, España.

Pages: 295–308

Resumen: Los datos abiertos son considerados un mecanismo de democratización en el acceso a la información generada por organizaciones del sector público y para el desarrollo de servicios digitales generados por el sector infomediario. Sin embargo, esta tendencia ha presentado algunas barreras que van desde la calidad insuficiente de los datos publicados hasta la falta de mantenimiento de los portales donde se publican. Esta investigación realiza un análisis del estado de la cuestión en el ámbito de los datos abiertos, así como de los estándares internacionales y buenas prácticas de calidad de datos con el fin de proponer un marco de referencia que posibilite la publicación de datos abiertos con un nivel de calidad adecuado. El marco de referencia fue validado utilizando un caso de estudio mediante la metodología de investigación en acción.

Palabras-clave: Datos abiertos, calidad de datos, reutilización información pública.

Publishing open data considering quality criteria.

Abstract: Open data is considered a mechanism of democratization in the access to information generated by public sector organizations and for the development of digital services generated by the infomediary sector. However, this trend has presented some barriers ranging from the insufficient quality of the data published to the lack of maintenance of the portals where they are published. This research carries out an analysis of the state of the issue in the field of open data, as well as of international standards and best practices in data quality in order to propose a frame of reference that enables the publication of open data with an adequate level of quality. The framework of reference was validated using a case study using action research methodology.

Keywords: Open data, data quality, reuse of public information

1. Introducción

Durante los últimos años, la cantidad y variedad de datos abiertos publicados por las administraciones públicas en todo el mundo ha sido creciente. Esta tendencia responde

a la constante evolución de la tecnología marcada fuertemente por la expansión de Internet (Ramos Simón et al., 2012). De hecho el uso de datos abiertos es considerado una oportunidad para el desarrollo económico, ya que su reutilización ha permitido el desarrollo de soluciones tecnológicas en áreas como biología, salud, geografía, turismo, entre otras (Pirozzi & Scarano, 2016).

El concepto de datos abiertos representa una oportunidad para que la sociedad pueda reutilizar e incluso, idealmente innovar, impulsando a que los gobiernos continúen proponiendo proyectos de apertura de datos con el fin de garantizar el acceso a información pública por parte de la ciudadanía (Garriga-Portolà, 2011), (Benson, 2008).

Esta tendencia ha presentado barreras como la insuficiente calidad de los datos que afecta negativamente al proceso de reutilización, ocasionando que la ciudadanía invierta tiempo en comprobar y aumentar la calidad de forma descentralizada y descoordinada (Vetrò et al., 2016), lo que conlleva que se abandonen los proyectos de portales de datos abiertos, tan pronto como son implantados para la publicación de datos.

La calidad de datos en formatos abiertos tiene varias dimensiones : (1) exactitud, es decir, datos que representan correctamente la entidad o evento del mundo real, (2) puntualidad, datos que representan la situación real y la agilidad en la publicación (3) consistencia, no contienen contradicciones, (4) exhaustividad, incluyen todos los elementos de datos que representan a la entidad o evento, (5) disponibilidad, accesibles ahora y con el tiempo, (6) conformidad, siguen las normas aceptadas, (7) credibilidad, son de fuentes confiables, (8) accesibilidad, son legibles por máquina, (9) relevancia, cantidad adecuada de datos (Quality, 2016).

Las cuatro primeras dimensiones (1-4) de calidad citadas, dependen totalmente de los sistemas de información de origen. Las últimas dimensiones (5-9) dependen de la gestión implementada en los portales de datos. El esfuerzo que hacen las organizaciones y administraciones públicas para publicar datos, se ve afectado cuando no existe una gestión adecuada y ocasiona que se desechen proyectos de datos abiertos al poco tiempo de ponerse en marcha (Benitez, Comber, & Huerta, n.d.). Desafortunadamente, las investigaciones actuales se han centrado exclusivamente en analizar la calidad de los datos ya publicados (Coleman, Hughes, & Perry, 2009), es decir los elementos de calidad del (5-9). De la literatura revisada no se evidencia aportes que profundicen la vinculación de las dimensiones (1-4) entre los sistemas de origen y el proceso de apertura de datos.

La presente investigación trata de cubrir este vacío mediante el diseño de un marco de referencia que considera la calidad de datos en procesos de publicación en abierto, posibilitando que se publiquen los datos con un nivel de calidad adecuado. Concretamente, este marco de investigación posee las siguientes características:

1. Se define un archivo maestro de apertura como mecanismo de vinculación de los datos abiertos con los datos en origen.
2. Se realiza una propuesta de indicadores para la validación de la calidad del conjunto de datos como un mecanismo de mejora continua previa a la publicación de datos abiertos.
3. Se aplica el marco de referencia a un caso de estudio.

El artículo se estructura de la siguiente manera: se describe la metodología de investigación llevada a cabo, se presentan un análisis de los trabajos relacionados y se representa el marco de referencia propuesto. Los resultados de la aplicación de nuestro marco de referencia se presentan en la sección 5 y, finalmente, la discusión de resultados y las conclusiones se detallan en las secciones 6 y 7, respectivamente.

2. Metodología de Investigación

La metodología de investigación llevada a cabo se basa en el proceso "investigación en acción" (Baskerville, 2018) y en la estructuración de conocimiento. Se utilizó un caso de estudio, para diagnosticar la problemática de los datos publicados, planteándose una hipótesis de trabajo en concordancia con la aplicación del marco de referencia y realizando varias iteraciones (según la metodología de investigación en acción descrita en la Figura 1) para mejorarlo. Se concluye con la presentación de los resultados. Las actividades que se llevan a cabo son las siguientes:

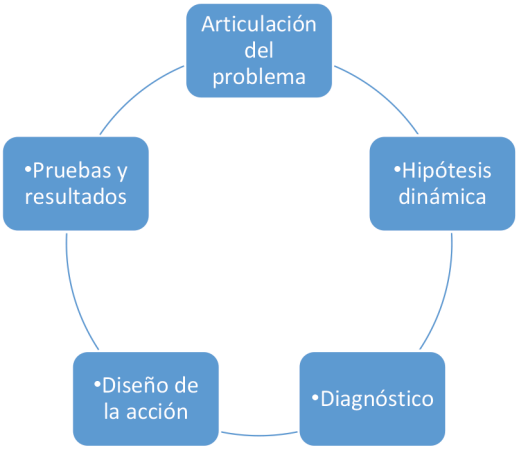


Figura 1 – Etapas de la investigación en acción

Articulación del problema. Se estableció la problemática de la calidad de los datos abiertos publicados.

Hipótesis dinámica. Se planteó lo siguiente: ¿la creación de un archivo maestro de apertura mejora la calidad de los datos publicados en formatos abiertos?

Diagnóstico. Se evaluó la calidad de los datos publicados en el portal de datos abiertos.

Diseño de la acción. Se realizó una planificación del nuevo proceso de apertura considerando el marco de referencia diseñado, se evaluó en cada una de las etapas con entrevistas al grupo interviniente en el proceso.

Pruebas y resultados. Se analizaron los resultados de cada etapa para realizar las mejoras respectivas.

2.1. Diagnóstico de la calidad de datos publicados en el portal

Se realizó un diagnóstico a través de entrevistas con los actores del proceso de publicación de los conjuntos de datos y una evaluación de los conjuntos de datos publicados. De estas actividades se obtuvieron los siguientes resultados:

- La evaluación de la calidad de los datos, se realiza sobre el conjunto de datos de docentes descargado del portal, que tiene un total de 2.321 docentes. De los indicadores aplicados se obtiene los resultados descritos en la Tabla 1.

Campos	Válidos	Blancos/nulos	% válidos
Apellidos	2.072	249	89,27%
Nombres	2.069	252	89,14%
Correo_institucional	1.180	1.141	50,84%
Correo_personal	1.031	1.290	44,42%
Categoría	2.057	264	88,63%
Dedicación	2.058	263	88,67%
Relación_trabajo	2.017	304	86,90%
Horas de docencia	1.480	841	63,77%

Tabla 1 – Resultados del diagnóstico sobre el conjunto de datos publicados

- Los registros duplicados fueron 263 que equivale a 12%.
- Se identifican datos incompletos, docentes sin carrera o facultad.

De las entrevistas a los responsables de la publicación se identifican las siguientes problemáticas:

- No se tiene estandarización en la relación laboral.
- La persona encargada de la publicación fue temporal.
- Los responsables de publicación realizaron un proceso de validación manual en el archivo entregado, lo que ocasionó alguna mejora, pero no en los datos de origen.
- No existía una normativa institucional actualizada.

2.2. Diseño de la acción

Una vez realizado el diagnóstico se estableció la hipótesis de trabajo como ¿la creación de un archivo maestro de apertura mejora la calidad de los datos publicados en formatos abiertos? y se planificaron las siguientes actividades:

- Capacitación del marco de referencia diseñado.
- Aplicación del marco de referencia.
- Evaluación de cada etapa con cada uno de los participantes.
- Análisis de resultados de calidad de datos obtenido.
- Acciones de mejora del marco de referencia.

Cada una de las actividades se convirtió en iteraciones que fueron evaluadas. Se realizó un total de tres iteraciones hasta lograr llegar a un porcentaje de calidad de datos aceptado por el grupo interviniente en el proceso.

2.3. Aplicación del marco de referencia

Para la aplicación del marco de referencia propuesto se realizaron las siguientes actividades:

- Organización y definición de requisitos. Se identificó dentro de la institución al responsable del portal de datos abiertos con un perfil de gestión que le permita coordinar las diferentes actividades para la publicación, como: Reuniones con los posibles reutilizadores para evaluar la estructura del conjunto de datos, los potenciales reutilizadores estaban conformados por docentes, estudiantes y administrativos. Organizar reuniones de levantamiento de requisitos. Definir al responsable de la generación del dato en este caso el administrador de la base de datos institucional.
- Archivo Maestro. Se definió el origen de los datos para el conjunto de datos a publicar.
- Preparación del dato. Una vez generado el conjunto de datos se preparó los siguientes archivos: conjunto de datos en cvs y pdf, diccionario de datos y metadatos.

3. Trabajos relacionados

Publicar datos en abierto presenta algunas barreras, una es la falta de calidad de los datos publicados, específicamente con problemas en la completitud, especificación de metadatos (descripción correcta del registro de datos), datos obsoletos, exactitud e interoperabilidad entre otros (Janssen, Charalabidis, & Zuiderwijk, 2012). Además, otros problemas relacionados con la apertura de datos se describen a continuación:

- Poca o ninguna estandarización de columnas o atributos, ni de unidades de medida, entre otros (Attard, Orlandi, Scerri, & Auer, 2015) .
- Conjuntos de datos incompletos, datos faltantes, falta de atributos relevantes o datos incorrectos (Sadiq & Indulska, 2017).
- Poca variedad de datos publicados (Luna-Reyes, Bertot, & Mellouli, 2014).
- Falta de especificación del propósito de los datos, así como de las fuentes de datos y del responsable de los datos (Reis, Viterbo, & Bernardini, 2018).

En (Kubler, Robert, Le Traon, Umbrich, & Neumaier, 2016), se realiza un estudio de 44 portales de diferentes países, concluyéndose que el movimiento de apertura de datos propone oportunidades amplias que merecen ser exploradas. Sin embargo, existe un problema de calidad en los datos abiertos, que tiene un impacto en las iniciativas de gobierno abierto. Además, en este estudio, se considera que la falta de información completa sobre los datos publicados afecta directamente a su reutilización, ya que disminuye su impacto y afecta la sostenibilidad de un proyecto de datos abiertos.

Uno de los elementos que afecta la calidad es la diversidad de las fuentes de datos en los sistemas de origen (Heinrich, Klier, Schiller, & Wagner, 2018), por cuanto la

implementación de portales abiertos involucra la integración de datos provenientes de diversas fuentes siendo estas formarles o informales, lo que dificulta su publicación en abierto (Oviedo, Mazon, & Zubcoff, 2015).

La integración de datos provenientes de diferentes fuentes, según (Carretero, Gualo, Caballero, & Piattini, 2017), se aborda con el estructura de dato maestro que permite incluir definiciones para la recopilación de datos de diferentes orígenes (Benitez-Paez, Comber, Trilles, & Huerta, 2018).

De estas investigaciones citadas en la Tabla 2, se puede observar un resumen de la problemática encontrada y las características incluidas en la propuesta:

Problemática	Aspectos incluidos en el marco de referencia
No se tiene en cuenta la calidad de datos abiertos desde las fuentes de datos, sino que se intenta resolver los problemas de calidad de datos una vez publicados, lo que resulta costoso y complejo.	Se incluye la utilización de un archivo maestro que identifica la necesidad de información por parte del reutilizador, con un proceso de combinación e identificación del origen de los datos dentro de la organización. Para ello se propone un archivo maestro de apertura como una adaptación del estándar (ISO, 2009).
No existe en los datos publicados, una afirmación de nivel de precisión y completitud de los datos y mecanismo de reclamo por el incumplimiento de los niveles de calidad.	Se incluyen indicadores para evaluación de precisión y completitud y una propuesta en el archivo de metadatos para incluir los datos del responsable de la información (ISO, 2013).
Los datos se publican en abierto sin considerar de manera formal a los potenciales reutilizadores (usuarios).	Se incluye un análisis de los requisitos de calidad de los datos, que a menudo incluye encuestas a usuarios y administradores de datos en este caso a los reutilizadores e infomediarios.

Tabla 2 – Problemas encontrados en la apertura de datos

En la siguiente sección, se presenta el marco de referencia aplicado y los resultados alcanzados.

4. Descripción del marco de referencia para la apertura de datos

El marco de referencia se organiza en cinco etapas, diseñadas en correspondencia con el análisis de la bibliografía científica, así como con los estándares y buenas prácticas existentes en el ámbito de la apertura de datos, dando énfasis a los criterios de calidad en las características de completitud y coherencia para evaluar los resultados.

Organización y definición de requisitos. - Para iniciar un proyecto de datos abiertos, dando énfasis a la calidad, el primer paso es considerar a la calidad de los datos como un proceso. Por tanto, la institución que pretende abrir sus datos debe establecer una estructura organizacional que permita sostener este proceso. La estructura propuesta incluye a los usuarios potenciales, estos participarán en la etapa de levantamiento de requisitos y la evaluación una vez publicados los datos, junto con el responsable del portal y el responsable del dato. En los siguientes apartados se explica las funciones de cada uno de ellos.

Responsable del portal.- Será el encargado de explotar el valor crítico que los datos pueden proporcionar (Lee, 2014) y la relación con los potenciales reutilizadores, para establecer acciones de mejora. El responsable del portal deberá tener conocimientos de datos abiertos y con capacidades de negociación con los potenciales reutilizadores. Entre las principales actividades están identificar el grupo de reutilizadores e infomediarios, organizar las acciones para el levantamiento de los requisitos, definir el responsable del dato, diseñar un plan de apertura de datos, definir los formatos de publicación y diseñar planes de mejora de la calidad del dato publicado.

Responsable de la generación del dato. -Es el responsable del proceso que tiene en cuenta la definición de requisitos de datos, desde el momento en que se genera el dato internamente en la organización hasta que se publica. Debe tener conocimientos técnicos de bases de datos. Las actividades sugeridas son: recibir el levantamiento de requisitos por parte del responsable del portal, definir el origen del dato y el estado del dato en la organización (automatizado, manual), definir políticas, establecer la codificación de los datos, así como consideraciones de anonimización y normativa de privacidad interna.

Definir el archivo maestro de apertura.-Dentro de una organización, los datos maestros permiten relacionar todos los datos que tiene valor crítico en un solo archivo (Smith & McKeen, 2018), a este concepto se propone añadir criterios de apertura de acuerdo a las siguientes actividades:

- Indagación: identificar las aplicaciones y sistemas de origen, para los conjuntos de datos requeridos por los potenciales reutilizadores y definidos por la organización. En esta etapa se considerará las bases de datos y fuentes de datos externas (Vetrò et al., 2016). Esta actividad permite crear un archivo único que deberá contener la identificación del origen de los datos dentro de la organización, evaluar la calidad de los datos en origen, identificar la información susceptible de publicación considerando normativas de protección de datos e identificar la existencia o no de metadatos y diccionarios de datos de origen.
- Anonimización: definir la técnica de anonimización para el conjunto de datos creado (Smith & McKeen, 2018). Para este proceso es necesario contrastar los datos susceptibles de publicación con las normativas de protección de datos vigente, para definir dentro de la institución la técnica de anonimización correspondiente.
- Licencia: se puede identificar varios tipos de licencia, como por ejemplo, con reconocimiento que permite la explotación de los datos incluyendo una finalidad comercial; con reconocimiento pero sin uso comercial de los datos, es decir no se puede publicar con finalidades comerciales, es decir, no se permite un uso comercial de los conjunto de datos de las posibles actividades comerciales (Attard et al., 2015).
- Formato de publicación: establecer los formatos de publicación considerando requisitos como disponibilidad como datos estructurados legibles por máquina; disponibilidad en formato no propietario; estándares abiertos de W3C (RDF y SPARQL) o URI (Ferrer-Sapena, Peset, & Aleixandre-Benavent, 2011).

Estructurar el archivo de metadatos y diccionario de datos. - La definición de metadatos significa, crear un archivo que contenga la información de los conjuntos

de datos publicados, incluyendo información de origen, semántica del conjunto de datos publicado, información del porcentaje de calidad publicado. De la misma manera el diccionario de los datos publicados debe tener una descripción de cada uno de los campos incluidos en el conjunto de datos (Rafique, Lew, Abbasi, & Li, 2012). Para ello, se presenta una propuesta basada en ISO 8000, a la que se adicionan los criterios de apertura, los cuales son: estándar de anonimización, licencia de publicación y codificaciones estandarizadas. Adicionalmente se proponen indicadores de evaluación para validar los datos abiertos relacionados con completitud y precisión.

Para establecer el porcentaje de calidad en completitud y precisión se estableció, a manera de ejemplo, los indicadores definidos en la **Tabla 3**.

Descripción	**Fórmula de Cálculo**
Completitud	Evaluación de valores nulos en los campos requeridos.
Exactitud	Porcentaje de datos nulos, blancos, incompletos, duplicados, datos sin formato, datos sin estándar, datos inconsistentes (Sadiq & Indulska, 2017).

Tabla 3 – Indicadores de calidad de datos

Esta actividad permitirá tener una descripción de los datos que están preparándose para ser abiertos. Se propone la estructura de datos descrita en la Tabla 4.

Nombre	**Descripción**
Identificador	Código único
**Licencia*	Derechos de autor
Fecha	Fecha de publicación
**Información de contacto*	Información de contacto correspondiente al responsable del portal
Idioma	Especifica el idioma en el que se almacena
**Publicado*	Identifica el método de anonimización utilizado
Propietario	Entidad que genera el dato
Relación	Descripción con entidades que se relaciona
**Aplicación*	Especifica el nombre de la aplicación que genera
**Usuario del dato*	Específica el usuario/grupo que requirió el dato
Codificación	Descripción de la codificación del dato
**Origen*	Tipo de Origen del dato digital o manual

Tabla 4 – Estructura del diccionario de datos con características de apertura

Los campos marcados con (*) representan los que corresponden para apertura de datos, además es importante notar que el Diagrama de Flujo de Datos será el que se utiliza en la organización para la generación del datos y asociado a sus procesos internos.

Preparación del dato y publicación. -Previo a la publicación de datos, es necesario validar si los requisitos de los potenciales reutilizadores o infomediarios han sido cumplidos. Una vez que el dato maestro de apertura está listo se aplicará, nuevamente los indicadores propuestos en la **Tabla 1**. Si no se cumple el nivel de calidad requerido, se publica en el metadato la información correspondiente o se regresa al proceso de estructuración del dato en el archivo maestro de apertura. La publicación es la etapa final del marco de referencia donde el conjunto de datos se estructura en formatos abiertos (Bizer, Heath, & Berners-Lee, 2009). El formato de apertura fue seleccionado en la etapa donde se define el archivo maestro de apertura.

5. Resultados

Luego de la aplicación del marco de referencia con cada una de las etapas en la primera iteración se obtuvieron los siguientes resultados:

- El 30% de los campos incluidos en el conjunto de datos se encontraban en formatos manuales.
- Las codificaciones de la relación contractual y dedicación no estaban estandarizadas.

Con estos elementos se trabajó en el plan de publicación y mejora de los datos conjuntamente y se agregó la identificación del responsable de la generación del dato. Se define que el dato se genera en el Sistema de Recursos Humanos y que se alimenta con los datos del Sistema de Carga Horaria. Para esto se agrega al marco de trabajo la identificación de los responsables del dato y la necesidad de la estandarización de los catálogos dentro de la institución. Se agrega al marco de trabajo la necesidad de definir el estado del dato previo a la apertura.

En la segunda iteración se analiza el porcentaje de completitud y exactitud resultado del diagnóstico, definiéndose como meta llegar con un nivel de calidad mayor al 95% en todos los campos, por cuanto existen datos en los sistemas de origen inconsistentes como las nominaciones de los cargos. Además, los datos históricos tenían algunos elementos no estandarizados. En el marco de trabajo se agrega las atribuciones del responsable del portal de datos abiertos, por ejemplo, la relación con el administrador de la base de datos y el responsable del dato.

Del resultado de la aplicación del marco de referencia, se generaron varias normativas institucionales relativas a los datos de docentes, como estandarización de cargos y nominaciones.

En la tercera iteración se establece la necesidad de agregar al marco de trabajo el concepto de archivo maestro de apertura que contiene el origen del dato, su estado y una descripción de cada uno de los campos que constan en el conjunto de datos.

Luego de la aplicación de las tres iteraciones se evalúa la calidad de los conjuntos de datos previo a la apertura y se llega a los resultados descritos en la Tabla 4.

Campos	Válidos	Blancos/nulos	% válidos
Apellidos	2.321	0	100,00%
Nombres	2.321	0	100,00%
Correo institucional	2.312	9	99,61%
Correo personal	2.105	216	90,69%
Categoría	2.208	113	95,13%
Dedicación	2.321	0	100,00%
Relación trabajo	2.321	0	100,00%
Horas de docencia	2.321	0	100,00%

Tabla 5 – Resultados de la aplicación del marco de referencia

Se analizaron los registros duplicados detectando 41, que equivale a un 2%, que corresponden a docentes que dictan clases en varias carreras o varias facultades. En este aspecto, también se agregó una política institucional tal que el docente pertenece a la facultad y carrera donde mayor carga horaria tiene.

6. Discusión

De los resultados obtenidos en la aplicación del marco de referencia para la apertura de datos, se valida la implicación directa entre la calidad de datos en origen con la calidad de datos publicados. Consecuentemente, para favorecer la sostenibilidad no deben ser procesos aislados, y se genera un archivo maestro de apertura basado en algunos resultados presentados en la investigación de (Heinrich et al., 2018).

La organización y definición de requisitos, permite mejorar la calidad de datos publicados por cuanto, al identificar a los potenciales reutilizadores facilita los procesos de levantamiento de requisitos de publicación, directamente con los consumidores de la información y la evaluación de la calidad, esto fue propuesto en la investigación de (Conradie & Choenni, 2014), mientras que en el presente trabajo se concluye que la participación de los potenciales reutilizadores es fundamental, caso contrario se publica lo que la institución defina.

El responsable del portal es el interlocutor de todo el proceso en el caso en estudio, por tanto se logró establecer en la segunda iteración las acciones que debe cumplir del responsable del dato, concluyendo en características similares con (CDO, Chief Data Officer) y (Lee, 2014), adicionando conocimientos de anonimización de datos y formatos de apertura.

Al realizar el archivo maestro de apertura, especialmente en la definición de los orígenes de datos, se mejora la calidad de los datos para la publicación en abierto, ya que se pudo

establecer un solo origen del dato. También se impactó a los procesos internos de la institución. Entre algunos ejemplos se puede citar: establecer claramente el catálogo de dedicación y categoría del docente, el cual no existía desde la Dirección de Recursos Humanos implantar una política institucional de uso del correo electrónico para el acceso a este servicio. Es importante también notar que identificar el responsable del dato permite mejorar los datos en origen y diseñar las acciones de mejora continua.

También se define al responsable de la creación del dato, con el propósito de institucionalizar la mejora de los procesos que deben ser automatizados. Esto facilitó visualizar nuevos requerimientos de sistemas de información y mejorar el diagrama de flujo de datos interno para poder generar el diccionario de datos para el portal en abierto.

Finalmente, se prepara el dato para publicación y evaluación. La mejora significativa de los datos se debió a que previo a la publicación se evaluó la calidad de los datos en las dimensiones definidas, hasta lograr un nivel de calidad superior al 90%. Esto incrementó el tiempo para la publicación, pero simultáneamente permitió la mejora de los datos en origen acompañados de la calidad en completitud y exactitud, demostrando con no pueden ser procesos aislados, ni con una temporalidad definida.

7. Conclusiones

En este trabajo se presenta un marco de referencia para la apertura de datos basado en estándares y buenas prácticas, que permite considerar criterios de calidad. En concreto, la aplicación del marco de referencia permite tener en cuenta la calidad de los datos en origen para conseguir una mejora en la calidad de los datos abiertos, como un proceso de mejorar continua.

Considerando que los datos publicados tienen su origen en aquellos que se gestionan en la organización, se debe incluir consideraciones de apertura de datos en formatos abiertos (y su calidad) desde el inicio de los procesos de automatización.

El marco de referencia presentado en este artículo, establece cada una de las actividades para definir un proceso de análisis de requisitos relacionado con los datos abiertos, además propone la creación del archivo de datos maestros de apertura (mediante la adaptación del estándar ISO 8000), con su correspondiente metadatos y diccionario de datos con las características necesarias para la publicación en abierto. Se presenta un conjunto de responsabilidades y roles en un proceso de apertura.

Tal y como se ha detallado en la validación, utilizar el marco de referencia propuesto ocasiona mayor inversión de tiempo en la preparación de los datos previo a la publicación, sin embargo, permite la mejora de las estructuras internas que facilitarán procesos de publicación posteriores con criterios de calidad.

Las limitaciones de la investigación se orientaron a un solo caso de estudio, sin embargo, la propuesta diseñada responde a los requerimientos levantados de la literatura científica publicada y estándares reconocidos como ISO, por tanto, podría ser aplicado a otras instituciones y se realizó mediante iteraciones que mejoraron el mismo. Los elementos citados generan un nuevo reto para el siguiente trabajo en incluir elementos de gobierno de datos.

Por tanto, para trabajos futuros se está implementando con este primer modelo una estructura de gobierno de datos para sostener los trabajos de apertura, con validación de expertos en cada una de las etapas propuestas.

Referencias

Attard, J., Orlandi, F., Scerri, S., & Auer, S. (2015). A systematic review of open government data initiatives. Government Information Quarterly, 32(4), 399–418. https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.07.006

Baskerville, R. L. (2018). Investigating Information Systems with Action Research. Communications of the Association for Information Systems, 2(October). https://doi.org/10.17705/1cais.00219

Benitez-Paez, F., Comber, A., Trilles, S., & Huerta, J. (2018). Creating a conceptual framework to improve the re-usability of open geographic data in cities. Transactions in GIS, 22(3), 806–822. https://doi.org/10.1111/tgis.12449

Benitez, F., Comber, A., & Huerta, J. (n.d.). IMPROVE THE REUSABILITY OF OPEN How much data is generated every minute ?

Benson, P. (2008). ISO 8000 the International Standard for Data Quality. MIT Information Quality Symposium, July 16-17(2008), 1–4.

Bizer, C., Heath, T., & Berners-Lee, T. (2009). Linked data-the story so far. International Journal on Semantic Web and Information Systems, 5(3), 1–22. https://doi.org/10.4018/jswis.2009081901

Carretero, A. G., Gualo, F., Caballero, I., & Piattini, M. (2017). MAMD 2.0: Environment for data quality processes implantation based on ISO 8000-6X and ISO/IEC 33000. Computer Standards and Interfaces, 54(September 2016), 139–151. https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.11.008

Coleman, D. W., Hughes, A. A., & Perry, W. D. (2009). The role of data governance to relieve information sharing impairments in the federal government. 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering, CSIE 2009, 4, 267–271. https://doi.org/10.1109/CSIE.2009.630

Conradie, P., & Choenni, S. (2014). On the barriers for local government releasing open data. Government Information Quarterly, 31(SUPPL.1), S10–S17. https://doi.org/10.1016/j.giq.2014.01.003

Ferrer-Sapena, A., Peset, F., & Aleixandre-Benavent, R. (2011). Acceso a Los Datos Públicos y Su Reutilización: Open Data y Open Government. El Profesional de La Informacion, 20(3), 260–269. https://doi.org/10.3145/epi.2011.may.03

Garriga-Portolà, M. (2011). ¿Datos Abiertos? Sí, Pero de Forma Sostenible. El Profesional de La Informacion, 20(3), 298–303. https://doi.org/10.3145/epi.2011.may.08

Heinrich, B., Klier, M., Schiller, A., & Wagner, G. (2018). Assessing data quality – A probability-based metric for semantic consistency. Decision Support Systems, 110(October 2017), 95–106. https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.03.011

ISO. (2009). Chapter-6-Metadata-Management-for-MDM_2009_Master-Data-Management.

ISO. (2013). International Standard Iso ISO/IEC 25024. 2015, 2015.

Janssen, M., Charalabidis, Y., & Zuiderwijk, A. (2012). Benefits, Adoption Barriers and Myths of Open Data and Open Government. Information Systems Management, 29(4), 258–268. https://doi.org/10.1080/10580530.2012.716740

Kubler, S., Robert, J., Le Traon, Y., Umbrich, J., & Neumaier, S. (2016). Open Data Portal Quality Comparison using AHP. Proceedings of the 17th International Digital Government Research Conference on Digital Government Research, 397–407. https://doi.org/10.1145/2912160.2912167

Lee, Y. (2014). ESD Working Paper Series A Cubic Framework for the Chief Data Officer : Succeeding in a World of Big Data ESD-WP-2014-34. (November).

Luna-Reyes, L. F., Bertot, J. C., & Mellouli, S. (2014). Open Government, Open Data and Digital Government. Government Information Quarterly, 31(1), 4–5. https://doi.org/10.1016/j.giq.2013.09.001

Oviedo, E., Mazon, J. N., & Zubcoff, J. J. (2015). Quality and maturity model for open data portals. 2015 Latin American Computing Conference (CLEI), 1–7. https://doi.org/10.1109/CLEI.2015.7360011

Pirozzi, D., & Scarano, V. (2016). Support Citizens in Visualising Open Data. 2016 20th International Conference Information Visualisation (IV), 271–276. https://doi.org/10.1109/IV.2016.45

Quality, D. (2016). Best Practice: Enable quality assessment of open data. (July). Retrieved from http://www.w3.org/2013/share-psi/bp/eqa-20160725/Latestversionhttp://www.w3.org/2013/share-psi/bp/eqa/Previousversionhttp://www.w3.org/2013/share-psi/bp/eqa-20160721/

Rafique, I., Lew, P., Abbasi, M. Q., & Li, Z. (2012). Information Quality Evaluation Framework: Extending ISO 25012 Data Quality Model. International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, 6(5), 568–573. Retrieved from http://www.waset.org/publications/9538

Ramos Simón, L. F., Arquero Avilés, R., Botezan, I., Cobo Serrano, S., Sala Jiménez, A., Sánchez Jiménez, R., & Valle Gastaminza, F. del. (2012). De la reutilización de información del sector público a los portales de datos abiertos en Europa. BiD: Textos Universitaris de Biblioteconomia i Documentació, 29. Retrieved from http://bid.ub.edu/29/ramos2.htm%5Cnhttp://bid.ub.edu/29/pdf/ramos2.pdf

Reis, J. R., Viterbo, J., & Bernardini, F. (2018). A Rationale for Data Governance As an Approach to Tackle Recurrent Drawbacks in Open Data Portals. Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age, 73:1--73:9. https://doi.org/10.1145/3209281.3209354

Sadiq, S., & Indulska, M. (2017). Open data: Quality over quantity. International Journal of Information Management, 37(3), 150–154. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.01.003

Smith, H. A., & McKeen, J. D. (2018). Developments in Practice XXX: Master Data Management: Salvation Or Snake Oil? Communications of the Association for Information Systems, 23. https://doi.org/10.17705/1cais.02304

Vetrò, A., Canova, L., Torchiano, M., Minotas, C. O., Iemma, R., & Morando, F. (2016). Open data quality measurement framework: Definition and application to Open Government Data. Government Information Quarterly, 33(2), 325–337. https://doi.org/10.1016/j.giq.2016.02.001

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

Recebido/Submission: 01/04/2019
Aceitação/Acceptance: 22/07/2019

Una Revisión de Bodegas de Datos para Educación Superior

David-Antonio Fuentes-Vargas[1], John-Alexander Soraca-Higuera[1], Carlos-Alberto Cobos-Lozada[2], Martha-Eliana Mendoza-Becerra[2], Luis-Carlos Gómez-Flórez[1].

davidafuentesv@gmail.com, john.alexander.soraca@gmail.com, ccobos@unicauca.edu.co, mmendoza@unicauca.edu.co, lcgomezf@uis.edu.co

[1] Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 Calle 9, 680002, Bucaramanga, Colombia.

[2]Universidad del Cauca, Departamento de Sistemas, Calle 5 Nº 4-70, 190003, Popayán, Colombia

Pages: 309–322

Resumen: Las Instituciones de Educación Superior (IES) se han dado cuenta de la importancia de usar las bodegas de datos para soportar la toma de decisiones en procesos académicos y financieros. Aunque actualmente se encuentran diversos trabajos relacionados, no se presentan de forma clara los conceptos (dimensiones y hechos) que se deben tener en cuenta en su diseño para que sirva a las IES y el gobierno en la planeación del futuro de la Educación Superior. Este artículo presenta una revisión sistemática de bodegas de datos para las IES y se compara frente a los conceptos de una propuesta del Ministerio de Educación de Colombia denominada MIDE usada para evaluar la calidad de las IES. El resultado revela 8 conceptos para el proceso de diseño y una crisis de comprensibilidad en la literatura (con las dimensiones explicadas en tan sólo 21% de la literatura y los hechos en tan sólo 18%).

Palabras clave: Bodegas de Datos, Necesidades en Educación Superior, Sistemas de Información, Toma de Decisiones, Indicadores de Calidad.

A Review of Data Warehouse for Higher Education

Abstract: Higher Education Institutions (HEI) have realized the importance of using data warehouses to support decision making in academic and financial processes. Although there are currently several related works, it is not clear which are the concepts (dimension and facts) that must be taken into account in their design to serve HEIs and the government in planning the future of Higher Education. This article presents a systematic review of the literature related to the application of data warehouses in IES and compares them with the concepts of a proposal of the Ministry of Education of Colombia called MIDE, which is used to evaluate the quality of HEIs. The result reveals 8 concepts for the design process and a crisis of understandability in the literature (the dimensions are fully explained in just 21% of the literature and the facts in just 18%).

Keywords: Data warehouses, Needs in Higher Education, Information Systems, Decision Making, Indicators of Educational Quality.

1. Introducción

El incremento periódico de los datos que acumulan las Instituciones de Educación Superior (IES) se ha convertido en una oportunidad para los sistemas que propician el análisis de los datos. De esta forma, el manejo estratégico de los sistemas de información (Pinto, Becerra, & Gómez, 2013) es clave para la identificación de conocimiento y aspectos claves de los procesos de las IES. De acuerdo con Moreira & Rocha (2018), en el entorno empresarial y académico, la era digital nos ha llevado a un aumento significativo de la generación de datos, los cuales deben ser estructurados adecuadamente, analizados y presentados con precisión para poder aprovechar los beneficios detrás de esta información (Martins et al., 2019). Sin embargo, a pesar de contar con este gran volumen de datos, a la fecha gran parte de estas instituciones colombianas no han logrado consolidarlos, limitando su proyección, situación compartida por algunos países en el mundo.

Las bodegas de datos son repositorios diseñados para el almacenamiento, administración y análisis de grandes cantidades de datos (Cabrera, Morán, & Ramírez, 2014) y han demostrado ser una herramienta útil y valiosa en el proceso de planeación estratégica en diferentes áreas, principalmente en ventas, finanzas, telecomunicaciones, salud y recientemente en educación. Implantar una bodega de datos permite aportar información actualizada y veraz, en diferentes niveles de agrupación, y con trazabilidad en la gestión de la calidad institucional (Rosado, 2016). El proceso típico de diseño de una bodega de datos inicia con la recolección de requerimientos, los cuales son la base para poder obtener un sistema analítico en línea hecho a la medida de la institución interesada (Mendoza, Durán, & Rivera, 2010).

Un proceso innovador que proponga un modelo general de bodegas de datos aplicado a todas las IES a nivel de una nación, requiere de uno o más indicadores transversales a todas las IES del país. En Colombia existe un Modelo de Indicadores de Desempeño del Ministerio de Educación (MIDE) que sirve como herramienta de evaluación de la calidad de las IES del país, de acuerdo a un informe de sus resultados en ocho dominios (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2018).

Esta revisión sistemática busca establecer los conceptos fundamentales del estado de arte relacionados con modelos de bodegas de datos para instituciones de educación superior y con ello analizar la viabilidad de crear un modelo dimensional basado en el MIDE. El método de revisión sistemática se basó en la guía definida por Kitchenham, Charters & Budgen (2007). A continuación en la sección 2 se presenta la planeación de la revisión, incluida la búsqueda de otras Revisiones Sistemáticas de la Literatura (RSL) relacionadas con el tema, las preguntas de investigación, el desarrollo de la búsqueda, la evaluación de la calidad de los estudios relevantes y las respuestas encontradas a las preguntas, luego en la sección final se presentan las conclusiones del trabajo centradas en los dominios fundamentales del uso de las bodegas de datos en las IES según la literatura.

2. Planeación de la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL)

2.1. RSL existentes sobre bodegas de datos aplicadas a la educación superior

Se buscaron RSL pertinentes a la temática de investigación en un rango temporal del 2014 al 2019 y utilizando como fuentes *Scopus*, *ISI Web of Knowledge, IEEEXplore,*

Directory Open Access Journal (DOAJ), Science Direct y Springer-Link. Posteriormente, se aplicaron los criterios (1. Reporta criterios de inclusión/exclusión, 2. Búsqueda adecuada, 3. Síntesis de los estudios incluidos, 4. Evaluación de la calidad de los estudios incluidos, 5. Presentación de detalles suficientes de los estudios incluidos. La RSL debe cumplir al menos cuatro de los cinco criterios) establecidos por la University of York (2014) en la Base de datos de Resúmenes de Revisiones de Efectos (Database of Abstracts of Reviews of Effects, *DARE*) a las cuatro revisiones encontradas y se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 1. Es preciso comentar que la revisión titulada "*A Holistic View of Data Warehousing in Education*" solo aprobó tres criterios, esto se debe a que los autores realizaron más que una RSL, un Mapeo Sistemático y en este tipo de documentos no es necesario evaluar la calidad y validez de los estudios utilizados.

Autor	**Año**	**Título**	**Calidad**
Zulkefli *et al.*	2015	A business intelligence framework for higher education institutions	2.5
Winanti *et al.*	2018	Key Successful Factors of Executive Information System Implementation in Higher Education: A Systematic Literature Review	3.5
Moscoso *et al.*	2018	A Holistic View of Data Warehousing in Education	3
Musa, Binti, & Ali	2019	Success Factors for Business Intelligence Systems Implementation in Higher Education Institutions – A Review	3.5

Tabla 1 – RSL existentes sobre bodegas de datos aplicadas en IES

El trabajo de Zulkefli et al. (2015) presenta una RSL para identificar el uso actual de la inteligencia de negocios (Business Intelligence, BI) en IES y guiar con ello futuras investigaciones. Además, menciona la necesidad de una bodega de datos en las IES para centralizar, identificar y clasificar los datos para su posterior análisis. Sin embargo, no presenta criterios de exclusión, ni evalúa la calidad y validez de los estudios utilizados, como tampoco hace una descripción sustancial de estos. El marco de trabajo que aporta Zulkefli et al. (2015) consta de ocho componentes: 1) la misión y visión, 2) el plan estratégico, 3) los indicadores de rendimiento, 4) los procesos claves del negocio, 5) el personal, 6) los procesos, 7) las tecnologías BI y 8) la infraestructura de la información.

En la RSL que realizan Winanti et al. (2018) buscaron determinar los factores que influyen en la aplicación de sistemas de información ejecutivos en IES. Los autores encontraron que un sistema de información exitoso en una IES controla los factores tecnológicos, de datos y universitarios. Las bodegas de datos hacen parte del factor de datos, el cual mostró un impacto significativo en las IES al ser mencionado en 37 de los 76 artículos candidatos de la RSL. Este informe a pesar de caracterizar los estudios no los describe con el suficiente detalle ni evalúa la calidad de los mismos. El factor tecnológico se subdivide en educación tecnológica, soporte técnico y experiencia en informática. El segundo factor se relaciona con el manejo de datos y el vínculo de estos con los objetivos de negocio. Finalmente, el factor universitario se ramifica en soporte universitario, patrocinio de operaciones, y personal de servicio de información, entre otros.

La revisión realizada por Moscoso et al. (2018) busca explorar e identificar las áreas prioritarias de investigación en bodegas de datos educativas. Los estudios encontrados en este Mapeo Sistemático (MS) no se describen con el suficiente detalle, pero el documento aporta información sobre algunos de los estudios primarios durante el proceso de clasificación y análisis. Este MS encontró 34 estudios pertinentes, de los cuales 27 tenían una implementación, 26 proponían un esquema, 19 analizaban datos, 11 evaluaban su eficacia, 8 tenían en cuenta requerimientos de negocio y 4 mencionaban requerimientos de usuario. Esta revisión además de mostrar las etapas que se tienden a manejar en proyectos de bodegas de datos en educación, también encontró que solo hay unos pocos estudios de calidad sobre el tema, y confirma que hay grandes oportunidades para futuras investigaciones en el campo.

Debido a que los sistemas BI tienen altos riesgos, desarrollan procesos complejos y son dependientes de una correcta implementación, Musa et al. (2019) propone ocho factores de éxito en la implementación de estrategias de BI. Un sistema BI aplicado de forma exitosa es importante según los autores, porque permite aumentar el desempeño de las IES al facilitar la toma de decisiones basadas en datos. Esta RSL no explicita los criterios de inclusión y exclusión utilizados, ni revisa la calidad y validez de los estudios incluidos. Los factores de éxito encontrados por los autores se relacionan con: 1) el soporte de alta dirección, 2) la visión, 3) la estructura organizacional, 4) el empoderamiento del usuario, 5) el equipo de trabajo, 6) la participación del usuario, 7) la calidad del sistema, 8) la calidad de la información y 9) la calidad del servicio.

Este marco referencial de revisiones sistemáticas de modelos de bodegas de datos aplicados a IES se hizo para evaluar cómo se están haciendo las revisiones actualmente en esa área, identificar las fallas que están presentando y no repetirlas en la RSL que se realizó. De las cuatro revisiones sistemáticas encontradas solo Moscoso et al. (2018) abordan específicamente el tema de bodegas de datos en IES, las revisiones restantes se enfocan en la inteligencia de negocios y mencionan el tema de forma indirecta. Los autores muestran que todavía hay una sensible ausencia de su implementación en entornos reales, empezando por diversos problemas en el proceso ETL (Extraction, Transform and Load).

2.2. Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación se enfocaron en identificar las tendencias en bodegas de datos aplicadas a IES guiadas por los dominios nombrados en el MIDE. Se tuvo en cuenta que según Kitchenham et al. (2007) una correcta pregunta de investigación debe ser significativa para la industria y la academia, llevar a cambios, incrementar la confianza en las prácticas actuales e identificar las discrepancias entre las creencias comunes y la realidad. Teniendo en cuenta estas normas se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- Pregunta 1: ¿Qué investigaciones han sido realizadas desde el 2014 sobre un modelo dimensional de bodegas de datos que busquen mejorar la toma de decisiones de las IES en los dominios de desempeño evaluados por el MIDE?
- Pregunta 2: ¿Qué otros dominios de desempeño se están abordando en las investigaciones sobre bodegas de datos para IES y no se mencionan en el MIDE?

Estas dos preguntas buscan determinar tanto la frecuencia de desarrollo como el éxito o fracaso de trabajos relacionados con modelos dimensionales de bodegas de datos en educación superior.

2.3. Desarrollo del protocolo de revisión

Un protocolo de revisión especifica los métodos que se utilizarán para llevar a cabo la RSL. Un protocolo predefinido es necesario para reducir la posibilidad de sesgo del investigador (ser conducido durante la búsqueda por sus expectativas). El protocolo que sigue esta RSL se presenta a continuación.

Cadena de búsqueda de estudios primarios

Los términos de búsqueda se construyen usando la estrategia planteada por Kitchenham, Mendes, & Travassos (2007) que consisten en: Derivar los términos principales de las preguntas de investigación identificando la población, la intervención y el resultado; Identificar las palabras alternativas y sinónimos de los términos principales; Revisar las palabras claves en cualquier documento relevante que ya se tenga; Utilizar funciones lógicas OR para incorporar las palabras alternativas y sinónimos; y Finalmente, Utilizar funciones lógicas AND para vincular los términos principales de población, intervención y resultado.

Siguiendo estos pasos se identificaron las palabras clave para realizar la búsqueda de los trabajos vinculados con el tema. Haciendo uso de la estrategia explicada y las recomendaciones de Kitchenham, Charters, et al. (2007) se llegó a la cadena de búsqueda que se muestra en la Tabla 2.

Cadena de búsqueda
(universities OR higher education OR college OR academic OR institutions) **AND** (data warehouse OR data warehousing OR business Intelligence) **AND** (dimensional model OR dimensional modeling OR design)

Tabla 2 – Cadena de búsqueda usada para iniciar la revisión

Posteriormente durante el análisis de la revisión, los estudios candidatos se relacionaron con alguno de los ocho dominios de evaluación del desempeño académico que define el MIDE, estos últimos son presentados en la Figura 1 con sus respectivos subdominios. Los subdominios de Valor Agregado (VA) se refieren a la diferencia entre los resultados en razonamiento cuantitativo y lectura crítica en el examen estatal que se realiza antes y después de los estudios de pregrado.

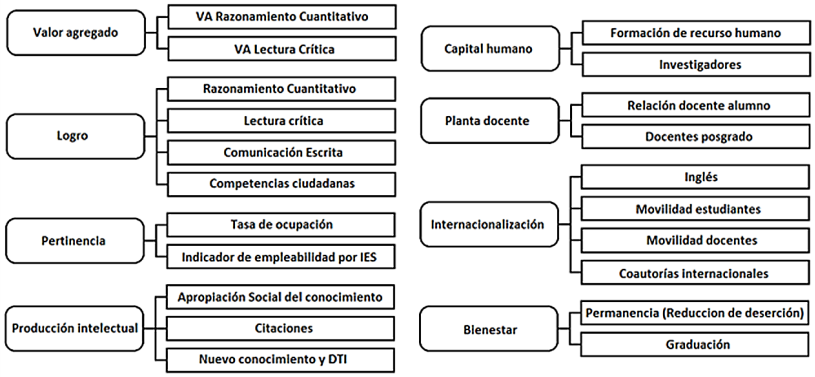


Figura 1 – Dominios de evaluación del MIDE (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2018)

Proceso de búsqueda

Las búsquedas electrónicas se basaron en las bases de datos *Scopus, ISI Web of Knowledge, IEEEXplore, Directory Open Access Journal (DOAJ), Science Direct y Springer-Link*. Siguiendo el proceso propuesto por Kitchenham, Mendes, et al. (2007), la búsqueda se organiza en dos fases; en la fase inicial se identifican estudios candidatos derivados de las palabras claves de la cadena de búsqueda y en una segunda fase se aplica la técnica "bola de nieve", esta consiste en revisar las referencias de cada estudio primario buscando identificar más estudios candidatos.

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios para incluir un estudio primario fueron los siguientes:

- El estudio es relevante para el desarrollo de bodegas de datos para IES.
- El estudio es aplicado a dominios de evaluación de calidad de las IES.

Los criterios para excluir un estudio primario fueron los siguientes:

- El estudio no debe haber sido publicado antes del 2014.

Evaluación de calidad de los estudios primarios

Adicional a la selección por criterios de inclusión y exclusión fue necesario evaluar la calidad de los estudios relevantes. Este paso permite según Kitchenham, Charters, et al. (2007) investigar si las diferencias de calidad de los estudios explican las diferencias en sus resultados, ponderar la importancia de cada estudio, determinar la fuerza de las inferencias e incluso guiar recomendaciones para futuras investigaciones.

La calidad de los estudios primarios de la presente revisión del estado del arte se evaluó con la lista de verificación de estudios cualitativos provista por Kitchenham, Charters, et al. (2007).

3. Resultados de la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL)

Siguiendo el protocolo antes descrito se encontraron ochenta y dos (82) trabajos, de los cuales treinta y cuatro (34) cumplieron con los criterios de inclusión/exclusión y fueron pertinentes para responder las preguntas de investigación. La calidad de los estudios seleccionados se valoró a partir de los criterios de evaluación de calidad de estudios cualitativos propuestos por Kitchenham, Charters, et al. (2007).

En la Tabla 3 se presenta una vista general de los componentes más importantes de un modelo dimensional encontrados en la literatura. La columna Explic. Dimen. indica cuantas dimensiones son explicadas y cuántas entendibles (E) del total que se presentan, por ejemplo, si en un estudio se explican 5 dimensiones y se entienden solo 6 de las 10 del esquema entonces se consigna en la tabla un 5 (E=6/10); para las medidas se evalúa Explic. Medidas de la misma forma que las dimensiones; la columna Implem., señala si la bodega de datos se implementó en la IES; finalmente la columna Calidad, indica el porcentaje de calidad del documento. Este porcentaje se calcula de acuerdo a la cantidad de criterios cumplidos, donde cada criterio tiene un peso de 1 si se cumple de forma satisfactoria, 0.5 de forma parcial y 0 si no se cumple.

Autores	Explic. Dimen.	Explic. Medidas	Implem.	Año	Calidad [%]
Pesonen, Fomkin, & Jokipii (2018)	Ninguna	No tiene	Si	2018	78
Pasyeka (2018)	Ninguna	No tiene	Si	2018	72
Medina, Fariña & Castillo (2018)	16 (E=16/16)	10 (E=10/10)	Si	2018	75
Santoso (2018)	Ninguna	No tiene	No	2018	69
Lapura *et al.* (2018)	4 (E=1/4)	9 (E=4/9)	Si	2018	78
Salaki & Ratnam (2018)	Ninguna	No tiene	No	2018	61
Khan B, Ghosh, & Ghosh (2018)	1 (E=7/8)	0 (E=5/9)	No	2018	69
Cheowsuwan, *et al.* (2017)	Ninguna	No tiene	No	2017	86
Budiarta, *et al.* (2017)	0 (E=14/14)	No tiene	No	2017	69
Hendrayana, *et al.* (2017)	Ninguna	No tiene	No	2017	50
Ta'a *et al.* (2017)	0 (E=3/4)	0 (E=9/25)	Si	2017	58
Zambrano, Sepúlveda, & Varas (2017)	1 (E=7/7)	3 (E=3/3)	Si	2017	89
Sanchez, Pastor, & Borrell (2017)	Ninguna	No tiene	No	2017	56
Aljawarneh (2016)	5 (E=5/5)	1 (E=3/4)	Si	2016	86
Abdullah & Obaid (2016)	0 (E=6/6)	0 (E=8/8)	Si	2016	53
Bondarev & Zakirov (2016)	0 (E=8/8)	No tiene	No	2016	61
Moscoso, Sampedro & Luján (2016)	Ninguna	No tiene	No	2016	67
Iskandar & Taufik (2016)	0 (E=6/9)	0 (E=3/5)	No	2016	75
Song, Pramudianto & Gehringer (2016)	Ninguna	No tiene	No	2016	83
Panchal (2016)	1 (E=4/4)	0 (E=3/5)	Si	2016	78
Gorgan (2015)	5 (E=5/5)	No tiene	Si	2015	69
Moturi & Emurugat (2015)	3 (E=3/3)	0 (E=18/43)	Si	2015	83
Bates (2015)	0 (E=14/14)	No tiene	Si	2015	86
Di Tria, Lefons, & Tangorra (2015)	0 (E=7/9)	0 (E=10/12)	No	2015	83
Gorbea & Madera (2015)	5 (E=5/5)	1 (E=1/1)	Si	2015	81
Rudy & Miranda (2015)	Ninguna	No tiene	No	2015	81
Gao & Chen (2015)	Ninguna	No tiene	Si	2015	69
León-Barranco, *et al.* (2015)	6 (E=6/6)	4 (E=3/4)	Si	2015	81
Rudy & Miranda (2015)	26 (E=26/26)	4 (E=4/4)	Si	2014	89
Aziz, *et al.* (2014)	0 (E=3/8)	0 (E=0/6)	No	2014	89
Castelão Tetila (2014)	Ninguna	No tiene	No	2014	83
Mirabedini (2014)	0 (E=6/6)	1 (E=1/1)	No	2014	81
Nobre, Trigo & Sanches (2014)	0 (E=2/6)	0 (E=0/20)	Si	2014	89
Meyliana, Widjaja & Santoso (2014)	0 (E=4/30)	0 (E=2/33)	Si	2014	81

Tabla 3 – Componentes del modelo dimensional y evaluación de calidad

Como se aprecia en la Tabla 3 aproximadamente la mitad de los autores en la literatura hace la implementación del modelo que proponen. Para cualificar la explicación de las dimensiones y las medidas del modelo, se clasifica como Buena si se entiende más del 75% de las dimensiones y medidas del estudio, Regular si este valor esta entre el 25% y el 75%, y Mala si es menor al 25%. La Tabla 3 revela que aproximadamente el 21% de los estudios primarios presenta una Buena explicación de las dimensiones del modelo y el 35% una regular. El panorama para las medidas es similar, con una Buena explicación en el 18% de estudios y una Regular en el 21%. Estos resultados revelan una falencia en la comprensibilidad de los modelos dimensionales encontrados en la literatura. Luego de esta evaluación de calidad de la literatura pertinente al área se responden las preguntas de investigación formuladas durante la planeación de la RSL.

Pregunta 1: ¿Qué investigaciones han sido realizadas desde el 2014 sobre un modelo dimensional de bodegas de datos que busque mejorar la toma de decisiones de las IES en los dominios de desempeño evaluados por el Ministerio de Educación de Colombia?

Los treinta y cuatro (34) estudios primarios que cumplieron con los criterios de inclusión/exclusión se clasificaron en los dominios de evaluación del MIDE que se presentan en la Figura 1. Sin embargo, solo diez y seis (16) de estos trabajos están específicamente enfocados en uno o varios de estos dominios. Los estudios restantes muestran un enfoque generalizado de las bodegas de datos para el sector educativo o pertenecen a un dominio inexistente en el MIDE. La Figura 2 presenta las relaciones existentes entre los estudios primarios y cada subdominio, donde se aprecia que la permanencia del estudiante, su graduación, la creación de nuevo conocimiento, el desarrollo tecnológico e innovación son los tópicos evaluados por el MIDE en los cuales las bodegas de datos ya han sido utilizadas.

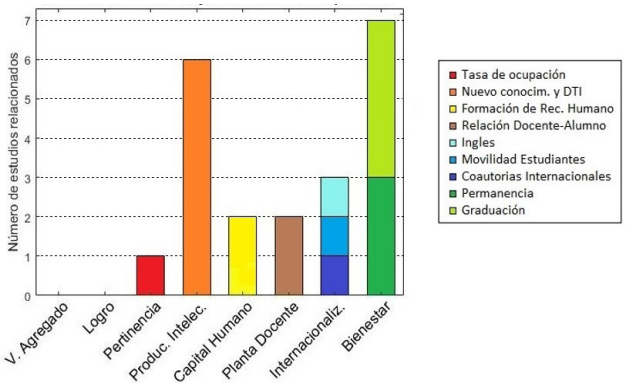


Figura 2 – Dominios del MIDE manejados en los estudios primarios

El bienestar universitario y la producción intelectual son los dominios en los cuales se han desarrollado más bodegas de datos. Este resultado era de esperarse ya que autores como Weir (2009) han determinado que los países han centrado sus esfuerzos en la

calidad de su provisión de educación y producción de conocimiento. Durante la lectura de los estudios primarios seleccionados se encontraron 7 de los 18 trabajos que no están relacionados con los dominios de evaluación de calidad del MIDE, aunque manejan un enfoque superficial del modelado de bodegas de datos para IES propuesto, pueden llegar a ser útiles para ver esta temática desde otras perspectivas. Panchal (2016) describe los problemas comunes durante la implementación de bodegas de datos para IES, Iskandar & Taufik (2016) dan recomendaciones sobre cómo hacer una bodega de datos para IES, Santoso (2018) da una perspectiva moderna sobre el manejo de datos de IES con Big Data, Song, Pramudianto, & Gehringer (2016) abordan las bodegas de datos para IES pero con sistemas de evaluación online por pares, Salaki & Ratnam (2018) aportan una metodología general de diseño pero no menciona ningún tópico específico dentro de las IES, Sanchez, Pastor & Borrell (2017) mencionan las bodegas de datos para IES como una parte del sistema de información general que proponen y finalmente Ta'a, Bakar, Shahbani, Chareen, & Mohd (2017) a pesar de estar relacionado con el tema solo se centra en aprendizaje online.

Pregunta 2: ¿Qué otros dominios de desempeño se están abordando en las investigaciones sobre bodegas de datos para IES y no se mencionan en el MIDE?

En la Figura 3 se observa que el dominio en el cual más se han realizado bodegas de datos para IES es en el proceso de aprendizaje, la literatura muestra que la metodología de enseñanza es un requerimiento frecuente durante el proceso de toma de decisiones en las IES en búsqueda de un mejoramiento de la calidad.

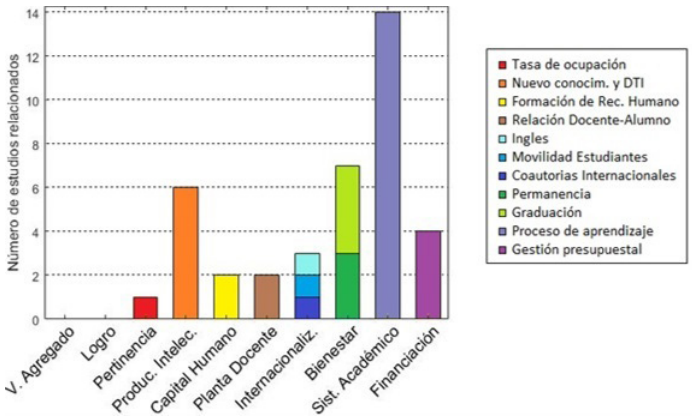


Figura 3 – Dominios manejados en los estudios primarios

Los dominios de procesos de aprendizaje y gestion presupuestal son tenidos en cuenta en la toma de decisiones institucionales como se puede constatar con los catorce (14) estudios sobre bodegas de datos para IES que los mencionan.

4. Conclusiones

El estado del arte en bodegas de datos para instituciones de educación superior muestra que los trabajos realizados desde el 2014 no se fundamentan de una forma significativa en cada uno de los dominios de evaluación de calidad que tiene en cuenta el MIDE. Sin embargo, sí existe una relación entre algunos dominios con modelos de bodegas de datos propuestos, lo cual brinda una oportunidad de investigación en el modelado de una bodega de datos integral basada en indicadores de calidad.

Los dominios de evaluación del MIDE sirven como base para el diseño de una bodega de datos, en ese orden de ideas, el modelo dimensional de la bodega podría enriquecerse con dominios adicionales relacionados con la financiación y el proceso de aprendizaje. De hecho, este último fue el dominio en el cual se encontró más literatura relacionada.

La mayoría de la literatura en bodegas de datos aplicadas a IES no está exponiendo los modelos dimensionales propuestos con la suficiente claridad explicativa, esto se constituye en una oportunidad para contribuir desde la comunidad científica a su correcta aplicación, creando modelos con un avanzado nivel de comprensibilidad.

Este trabajo se basa en el MIDE, propuesto por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia, pero se observa que es susceptible de ser replicado usando indicadores de desempeño de otros países que permitan crear modelos de bodegas de datos para almacenar, gestionar y analizar información académica relevante al contexto particular de sus IES.

5. Trabajo futuro

Esta revisión sistemática permite viabilizar la definición de un modelo dimensional para educación superior que de soporte a la proyección estratégica con base en indicadores de calidad institucional; manejando una explicación y esquematización detallada de las medidas y dimensiones.

Referencias

Abdullah, Z. A. S., & Obaid, T. A. S. (2016). Design and Implementation of Educational Data Warehouse Using OLAP. *International Journal of Computer Science and Network*, *5*(5), 824–827.

Aljawarneh, I. M. (2016). Design of a data warehouse model for decision support at higher education : A case study. *Information Development*, *32*(5), 1691–1706. https://doi.org/10.1177/0266666915621105

Aziz, A. A., Jusoh, J. A., Hassan, H., Sultan, U., & Abidin, Z. (2014). A framework for educational data warehouse (EDW) architecture using business intelligence (BI) technologies. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, *69*.

Bates, E. (2015). *UVM Big Data? Aggregating Campus Databases and Creating a Data Warehouse to Improve Student Retention Rates at the University of Vermont* (University of Vermont).

Bondarev, A., & Zakirov, D. (2016). Data Warehouse on Hadoop Platform for Decision Support Systems in Education. *Twelve International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)*.

Budiarta, K., Agung, P., Wijaya, A., & Indrapartha, C. G. (2017). Analysis and Design of Data Warehouse on Academic STMIK STIKOM Bali. *International Journal of Engineering and Emerging*, *2*(1), 35–39.

Cabrera, A., Morán, E., & Ramírez, I. (2014). Uso de la Tecnología Data Warehouse en Unidades Educativas de Nivel Medio : *Revista Ciencia UNEMI*, 51–57.

Castelão Tetila, E. (2014). Modelagem de Dados com Data Warehouse e OLAP: um estudo de caso. *Revista EaD & Tecnologias Digitais Na Educação*, *2*, 20–29.

Cheowsuwan, T., Rojanavasu, P., Srisungsittisunti, B., & Yeewiyom, S. (2017). Development of data warehouses and decision support systems for executives of educational facilities in northern Thailand to increase educational facility manageme. *International Journal of Geoinformatics*, *13*.

Di Tria, F., Lefons, E., & Tangorra, F. (2015). Academic Data Warehouse Design Using a Hybrid Methodology. *Computer Science and Information Systems*, *12*(1), 135–160. https://doi.org/10.2298/CSIS140325087D

Gao, L., & Chen, Y. (2015). Application Research of University Decision Support System Based on Data Warehouse. *Journal Computer Science and Its Applications*, *12*(1), 631–637. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45402-2

Gorbea Portal, S., & Madera Jaramillo, M. (2015). Diseño de un data warehouse para medir el desarrollo disciplinar en instituciones académicas. *Investigación Bibliotecológica*, *31*, 161–181.

Gorgan, V. (2015). Monitoring student performance. A data driven decision support system approach: Case study. *SEA - Practical Application of Science*, *3*(2), 135–140.

Hendrayana Surya, P. B., Rahardian, R. L., & Saputra, K. oka. (2017). Data Warehouse Design Academic Affairs case study: campus STMIK STIKOM Bali Jimbaran. *International Journal of Engineering and Emerging Technology*, *2*(1), 104–106.

Iskandar, A. R., & Taufik, I. (2016). Readiness For Implementing Data Warehouse of Higher Education System With Sodano's Perspective. *4th International Conference on Cyber and IT Service Management*.

Khan B, A., Ghosh, S., & Ghosh, S. K. (2018). eDWaaS : A Scalable Educational Data Warehouse as a Service. *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA*, 998–1007.

Kitchenham, B., Charters, S., & Budgen, D. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. In *Keele University*. Durham and Keele.

Kitchenham, B., Mendes, E., & Travassos, G. H. (2007). *Cross versus Within-Company Cost Estimation Studies: A Systematic Review*. *33*(5), 316–329.

Lapura, E. V. F., Kenneth, J., Fernandez, J., Jonathan, M., Pagatpat, K., Dante, D., ... Dante, D. (2018). Development of a University Financial Data Warehouse and its Visualization Tool. *Procedia Computer Science*, *135*, 587–595.

León-Barranco, A., Saucedo-Lozada, S. N., Avendaño-Jimenez, I. Y., Martínez-Leyva, R., & Carcaño-Rivera, L. A. (2015). Business Intelligence in Educational Institutions. *Research in Computing Science*, *96*, 43–53.

Martins, J., Branco, F., Gonçalves, R., Au-Yong-Oliveira, M., Oliveira, T., Naranjo-Zolotov, M., & Cruz-Jesus, F. (2019). Assessing the success behind the use of education management information systems in higher education. *Telematics and Informatics*, *38*, 182–193. https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.10.001

Medina Q, F., & Castillo-rojas, W. (2018). Data Mart para obtención de indicadores de productividad académica en una universidad Data Mart to obtain indicators of academic productivity in a university. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, *26*, 88–101.

Mendoza, M. E., Durán, L., & Rivera, N. (2010). MBD 1.0. Metodología de Desarrollo de Bodegas de Datos Para Micro, Pequeñas y Medianas Empresas. *UIS Ingenierías*, *9*(1), 85–101.

Meyliana, Widjaja, H. A. E., & Santoso, S. W. (2014). University dashboard: An implementation of executive dashboard to university. *2nd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 282–287. https://doi.org/10.1109/ICoICT.2014.6914080

Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2018). *Documento metodológico MIDE Universitario 2018*. 28. Retrieved from http://aprende.colombiaaprende.edu.co/ckfinder/userfiles/files/Documento Metodológico MIDE T 2018.pdf

Mirabedini, S. (2014). The Role of Data warehousing in Educational Data Analysis. *Journal of Novel Applied Sciences*, 1439–1445.

Moreira, F., & Rocha, Á. (2018). A Special Issue on Disruption of higher education in the 21st century due to ICTs. *Telematics and Informatics*, *35*(4), 930–932.

Moscoso-Zea, O., Paredes-Gualtor, J., & Lujan-Mora, S. (2018). A Holistic View of Data Warehousing in Education. *IEEE Access*, *6*, 64659–64673.

Moscoso-Zea, O., Sampedro, A., & Luján-Mora, S. (2016). Data warehouse design for Educational Data Mining. *15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*.

Moturi, C. A., & Emurugat, A. (2015). Prototyping an Academic Data Warehouse : Case for a Public University in Kenya. *British Journal of Applied Science & Technology*, *8*(6), 550–557. https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14774

Musa, S., Binti, N., & Ali, M. (2019). *Success Factors for Business Intelligence Systems Implementation in Higher Education Institutions – A Review*. *843*, 322–330. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99007-1

Nobre, T., Trigo, A., & Sanches, P. (2014). SBIAES - Sistema de Business Intelligence para análise do Acesso ao Ensino Superior O caso do Instituto Politécnico de Coimbra. *9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/CISTI.2014.6876866

Panchal, R. (2016). Study on Barriers in Adoption of Data Warehouse for the Higher Educational Institutes. *We'Ken International Journal of Basic and Applied Sciences*, *1*(4), 148–153.

Pasyeka, M. (2018). Development of Data Warehouse Structure Model for Educational Process Management. *Science Publishing Group*, *6*(1), 1–6.

Pesonen, J., Fomkin, A., & Jokipii, L. (2018). *Building Data Science Capabilities into University Data Warehouse to Predict Graduation*.

Pinto, L. P., Becerra, L. E., & Gómez, L. C. (2013). Análisis del sistema de gestión financiera sostenible de instituciones de educación superior públicas colombianas. *Revista Educación En Ingeniería*, *8*, 1–11.

Rosado, A. A. (2016). Consolidación de Indicadores Institucionales utilizando Bodega de Datos. *INGENIO UFPSO*, *11*, 53–63.

Rudy, & Miranda, E. (2015). Management Report for Marketing in Higher Education Based On Data Warehouse and Data Mining. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, *10*(4), 291–302.

Salaki, R. J., & Ratnam, K. A. (2018). Agile Analytics : Applying in the Development of Data Warehouse for Business Intelligence System in Higher Education. *6th World Conference on Information Systems and Technologies*, 1038–1048.

Sanchez-Puchol, F., Pastor-Collado, J., & Borrell, B. (2017). Towards an Unified Information Systems Reference Higher Education Institutions. *Procedia Computer Science*, *121*, 542–553. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.072

Santoso, L. W. (2018). Data Warehouse with Big Data Technology for Higher Education. *Procedia Computer Science*, *124*, 93–99.

Song, Y., Pramudianto, F., & Gehringer, E. F. (2016). A Markup Language for Building a Data Warehouse for Educational Peer-Assessment Research. *46th IEEE Frontiers in Education Conference*, 0–4.

Ta'a, A., Bakar, A., Shahbani, M., Chareen Chit, S., & Mohd Soid, M. H. (2017). Data Warehouse System for Blended Learning in Institutions of Higher Education. *E-Academia Journal*, *6*(2), 144–155.

University of York. (2014). Database of Abstracts of Reviews of Effects (DARE): Quality-assessed Reviews. Retrieved from Centre for Reviews and Dissemination (UK) website: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK285222/

Weir, A. (2009). Assuring Quality in Higher Education: The New Zealand Experience. *Journal of Institutional Research*, *14*(2), 60–72.

Winanti, Meyliana, Hidayanto, A. N., Prabowo, H., & Gaol, F. L. (2018). Key Successful Factors of Executive Information System Implementation in Higher Education : A Systematic Literature Review. *2018 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, (September), 1–9.

Zambrano, C., Matamala, A., Sepúlveda, U., & Varas, M. (2017). Análisis de rendimiento académico estudiantil usando Data Warehouse Difuso. *Revista Chilena de Ingeniería*, *25*, 242–254.

Zulkefli, N. A., Miskon, S., Hashim, H., Alias, R. A., Abdullah, N. S., Ahmad, N., ... Maarof, M. A. (2015). A business intelligence framework for Higher Education Institutions. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *10*(23), 18070–18077.

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

Recebido/Submission: 29/03/2019
Aceitação/Acceptance: 09/06/2019

Generación automática de resúmenes extractivos genéricos de un documento basado en n-gramas sintácticos no continuos

Andrés-Mauricio Salazar-Piedrahíta, Carlos-Alberto Cobos-Lozada

maurosalazar@unicauca.edu.co, ccobos@unicauca.edu.co

Grupo de I+D en Tecnologías de la Información (GTI), Universidad del Cauca, Sector Tulcán Edificio FIET Oficina 422, 190003, Popayán, Colombia.

Pages: 323–336

Resumen: Muchas de las técnicas actuales de generación automática de resúmenes extractivos utilizan el modelo espacio vectorial (matriz de frases por términos) para representar los documentos y luego con diversos enfoques deciden que frases de un texto debe ser parte de su resumen. En esta investigación se integra el uso de los n-gramas sintácticos (continuos y no continuos) en el modelo espacio vectorial para identificar las relaciones que los términos tienen con su contexto (información lingüística que no está disponible con los n-gramas tradicionales) y con ello mejorar la calidad de los resúmenes que se generan. La evaluación de la propuesta se realizó con los datasets DUC2001 y DUC2002 usando la métrica de recuerdo (recall) de ROUGE-1 y ROUGE-2. Los resultados son prometedores para los algoritmos basados en grafos (LexRank y LexRank continuo), los cuales mejoran entre un 4,5% y 22,1% en comparación con la representación tradicional (bolsa de palabras).

Palabras-clave: resumen extractivo; n-grama sintáctico; árbol sintáctico; espacio vectorial; grafo; metaheurística

Automatic generation of generic extractive summaries of a document based on non-continuous syntactic N-grams

Abstract: Many of the current techniques of automatic generation of extractive summaries use the vector space model (matrix of sentences by terms) to represent the documents and then with different approaches decide if a sentence of a text should be part of its summary. This research integrates the use of syntactic n-grams (continuous and non-continuous) in the vector space model to identify the relationships that terms have with their context (linguistic information not available with traditional n-grams) and with this, improve the quality of the generated summaries. The evaluation of the proposal was made over DUC2001 and DUC2002 datasets using the recall metric of ROUGE-1 and ROUGE-2. Results are promising for graph-based algorithms (LexRank and Continuous LexRank) which improves its results between 4.5% and 22.1% against the traditional representation (bag of words).

Keywords: extractive summary; syntactic n-grams; syntactic tree; vector space; graph; metaheuristic

1. Introducción

La comunidad científica y académica, propone contrarrestar el exceso de información digital mediante la generación automática de resúmenes hoy día utilizado por ejemplo en: 1) los motores de búsqueda para desplegar un breve resumen de las páginas Web o documentos encontrados, 2) sistemas de gestión de aprendizaje electrónico para resumir los contenidos de los objetos de aprendizaje, 3) sistemas de visualización de mensajes de correo electrónico para dispositivos móviles, donde se despliega la información más relevante teniendo en cuenta el reducido tamaño de la pantalla, entre otros usos.

La generación automática de resúmenes es una tarea compleja, los resultados aún distan de los resúmenes que los seres humanos pueden elaborar, por ello, se integra con campos de estudio como la minería de textos, el procesamiento de lenguaje natural (PLN) o la recuperación de información (RI) los cuales utilizan modelos de representación de documentos o textos como: el booleano, el probabilístico y el espacio vectorial (Hiemstra, 2009) para clasificar y calificar el grado de relevancia de las características de un texto respecto a una consulta, relación del texto con el título o si un texto pertenece a un tema específico, entre otras tareas. El modelo más comúnmente utilizado es el espacio vectorial por su sencillez, fácil implementación y buenos resultados obtenidos en la mayoría de las aplicaciones que manejan texto no estructurado o semi estructurado y la generación automática de resúmenes extractivos no es la excepción.

Sidorov en 2013 propuso el uso de los n-gramas sintácticos para introducir información lingüística (sintáctica) en los métodos de aprendizaje de máquina, demostrando que su uso en diferentes tareas, por ejemplo, la atribución de autoría logra resultados superiores en comparación con el uso de los n-gramas tradicionales, aunque se aumenta el costo computacional debido al análisis sintáctico previo. Los resultados reportados en experimentos con n-gramas sintácticos se lograron a partir de rutas continuas en los árboles sintácticos (n-gramas sintácticos continuos) dejando el análisis de las bifurcaciones (n-gramas sintácticos no continuos) para futuros trabajos. Cabe mencionar que los n-gramas sintácticos continuos son un caso particular de los n-gramas sintácticos no continuos (Sidorov, 2013b).

En el presente trabajo se combinan varios tipos de sintagmas para crear n-gramas sintácticos continuos y no continuos a partir de las relaciones de combinación o relaciones sintagmáticas en las rutas continuas y las bifurcaciones del árbol sintáctico, incluirlos en el modelo espacio vectorial y generar automáticamente resúmenes extractivos genéricos de un Dataset reconocido por la comunidad académica y científica del área.

Teniendo en cuenta el anterior contexto, al inicio de la investigación se planteó las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Cómo representar un documento con n-gramas sintácticos no-continuos que permita generar automáticamente resúmenes extractivos genéricos de un documento para obtener resultados similares o superiores al estado del arte? 2) ¿Qué parámetros de construcción de los n-gramas sintácticos no-continuos (tamaño del n-grama y los elementos léxicos involucrados) permiten alcanzar

resultados similares o superiores al estado del arte para la generación automática de resúmenes extractivos genéricos de un documento?

Se planteó entonces resolver las anteriores preguntas mediante la realización de las siguientes tareas:

1. La selección de un analizador sintáctico que: a) reconociera la mayor cantidad de idiomas, especialmente inglés y español, b) realizará análisis de constituyentes y dependencias, c) conservará la jerarquía de los elementos textuales en el árbol sintáctico, d) incluyera formatos y etiquetas que permiten identificar la mayor cantidad de información sintáctica y semántica necesaria para crear n-gramas sintácticos, y, e) Facilitara la lectura del archivo resultado.
2. El diseño e implementación de una herramienta que lea la salida del analizador, forme n-gramas sintácticos continuos y no continuos con varios tipos de sintagmas y cree la matriz de términos que representa un documento en el espacio vectorial para ponderarla con Okapi BM25 (Robertson & Walker, 1994) (Robertson, Zaragoza, & Taylor, 2004).
3. El uso de los dataset de entrenamiento DUC2001 y DUC2002, utilizados por la comunidad científica y académica para generar resúmenes automáticos de un documento y evaluar la calidad de los resultados obtenidos.
4. El uso del Framework desarrollado por el Grupo de I+D en Tecnologías de la Información (GTI) de la Universidad del Cauca para generar automáticamente resúmenes extractivos genéricos de un documento con los algoritmos LexRank, LexRank Continuo (algoritmos basados en grafos) y ESDS-GHS-GLO (algoritmo metaheurístico). El insumo para estos tres algoritmos son las matrices de frases por términos (espacio vectorial) que representan los documentos.
5. El uso del recuerdo (recall) en las métricas ROUGE-1 y ROUGE-2, reconocidas por la comunidad académica y científica para evaluar los resultados obtenidos. Estas métricas permiten comparar la similitud de los resúmenes generados por los algoritmos respecto a los resúmenes generados por humanos para cada noticia de los dataset de entrenamiento.

A continuación, en la sección 2 se presentan los referentes más importantes para el desarrollo de la investigación. Posteriormente, la sección 3 describe los pasos metodológicos para cumplir con la propuesta y presenta el concepto de n-grama sintáctico no continuos. Después en la sección 4, se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, la última sección expone las conclusiones del desarrollo de la investigación y plantea los trabajos futuros.

2. Estado del arte

La revisión de la literatura mostró que los n-gramas sintácticos no continuos a la fecha no han sido usados para representar un documento de texto no estructurado, que luego se use en el marco de un proceso de generación de su resumen con algoritmos basados en grafos, meta-heurísticos, de análisis semántico latente, entre otros. Estos algoritmos en su mayoría parten de una representación modelo espacio vectorial tradicional basado en la bolsa de palabras. A continuación, se resume el modelo de espacio vectorial junto

con el esquema de ponderación Okapi BM25, luego se presentan las investigaciones más relevantes en n-gramas y algunos algoritmos destacados en la generación de resúmenes extractivos de un documento.

2.1. Representación de un documento

La RI comúnmente utiliza la representación en tareas como: ordenamiento de resultados basados en una consulta, clasificación de documentos u oraciones, agrupamiento de documentos u oraciones, entre otras. La literatura científica y académica destaca tres modelos de representación: booleano, probabilístico y espacio vectorial (Hiemstra, 2009), este último el más comúnmente usado.

El modelo Espacio Vectorial, representa uno o varios documentos por medio de un vector de pesos de términos, donde cada término, puede ser una palabra, sintagma o token (unidad mínima al descomponer un texto). Si un término pertenece a un texto, obtiene un valor dependiendo de su importancia dentro del texto según la técnica de ponderación de términos utilizada (Kumar y Gopalani, 2015). Okapi BM25 es una de las distintas técnicas de ponderación disponible y tiene en cuenta conceptos básicos como la importancia del término en la frase (TF) y la importancia del término en la colección (IDF), pero hace esto teniendo en cuenta la longitud. El peso del término en la frase que se usa en esta investigación está dado por la **Ecuación (1)**, donde $k_1 = 2$, $b = 0.75$, $F_{i,j}$ es la frecuencia del termino *i* en la frase *j*, *N* es el número de frases en el documento, n_i es el número de frases en las que aparece el termino *i*, $|Frase_j|$ es el número de términos de la frase *j* y $avgD$ es el número promedio de términos en las frases del documento.

$$w_{i,j} = \frac{(k_1+1)*F_{i,j}}{F_{i,j}+k_1*(1-b+b*\frac{|Frase_j|}{avgD})} * Ln(N/n_i) \quad (1)$$

2.2. Modelos de dependencia de términos (n-gramas)

La RI plantea varios modelos de dependencia de términos y algunos de ellos han reportado resultados interesantes. Van Rijsbergen (1979) presentó uno de los modelos de dependencia más citados, el cual es una extensión del enfoque de clasificación Bayesiano para la recuperación de información (Rijsbergen, 1979). Gao et al. (2004) presentaron un nuevo enfoque de modelado del lenguaje de dependencia para la recuperación de información y logró mejoras significativas y sustanciales para dependencias secuenciales (Gao, Nie, Wu, & Cao, 2004). Croft et al. (2014) demostraron que las frases y la proximidad de términos pueden potencialmente mejorar la efectividad de la tarea de recuperación de información modelándolos como dependencias en el modelo de red de inferencia (Huston & Croft, 2014). Zhao et al. (2014) utilizaron colecciones de pruebas más grandes y demostraron que la información de proximidad de términos es una característica útil en la tarea de recuperación de información (Zhao, Huang, & Ye, 2014). Sidorov et al. (2013) presentaron los n-gramas sintácticos o Sn-gramas (denominados así porque se obtienen siguiendo relaciones en árboles sintácticos) y los utilizaron en la tarea de atribución de autoría donde lograron buenos resultados pero identificaron algunas limitantes como la necesidad del análisis sintáctico previo (tiempo adicional utilizado por los analizadores), no todos los lenguajes tienen analizadores,

no es claro si es suficiente el análisis superficial o es necesario el análisis completo para obtener n-gramas sintácticos de calidad (Sidorov, 2013a, 2013c, 2013b; Sidorov, Velasquez, Stamatatos, Gelbukh, & Chanona Hernández, 2013a, 2013b). Al finalizar el 2013 se investigó sobre n-gramas sintácticos no-continuos para presentarlos como posibles características en un modelo de espacio vectorial que conserve la estructura multidimensional y se comparó con la construcción de n-gramas continuos para el lenguaje inglés y español. Se concluyó que se necesitan más estudios para determinar qué parámetros en la construcción de n-gramas sintácticos no-continuos son mejores y para qué tipo de tareas existentes dentro de la lingüística computacional se pueden obtener mejores resultados (Sidorov, 2013b).

2.3. Generación de resúmenes extractivos de un documento

La generación automática de resúmenes extractivos puede realizarse en uno (mono documento) o varios documentos (multi documento) y busca incluir el contenido más importante de la(s) fuente(s) original(es) mediante procesos de selección, combinación y generalización. Determinada la cantidad de documentos fuente, se identifica que algoritmos del estado del arte aplican para uno o varios documentos y para qué tipo de generación (extractiva o abstractiva), entre ellos:

Grafos: Wan (2010) aborda de manera unificada la generación automática de resúmenes de un documento y múltiples documentos con un algoritmo basado en grafos, en el resumen se incluyen los nodos u oraciones que obtienen las mejores puntuaciones. Estos métodos no supervisados tienen la ventaja de ser independiente del lenguaje y de mejorar la cohesión en los resúmenes generados, de otro lado su mayor desventaja radica en el aumento de la complejidad computacional a medida que el número de nodos y arcos del grafo se incrementa. Erkan y Radev (2004) introducen tres nuevas medidas para centralidad: Grado de Centralidad, LexRank con Umbral y LexRank Continuo, inspiradas del concepto prestigio en las redes sociales.

Metaheurísticas: son una forma inteligente para dar solución a un problema de optimización mediante procedimientos evolutivos y se han utilizado en investigaciones relacionadas con la generación automática de resúmenes porque tratan el proceso de generación como un problema de optimización, algunos algoritmos que se han usado incluyen a la búsqueda armónica, la mejor búsqueda armónica global (Global-Best Harmony Search, GBHS), el Procedimiento de Búsqueda del Pescador, Evolución Diferencial, Optimización por Enjambre de Partículas y Procedimiento de Búsqueda Codiciosa Adaptable al Azar (Singhal, 2001).

Otros enfoques incluyen el análisis de la retórica del discurso, clustering o detección de tópicos, análisis semántico latente, modelos bayesianos, entre otros (Mahajani, Pandya, Maria, & Sharma, 2019)(Gupta, Bansal, & Sharma, 2019).

3. Metodología y Definición de n-gramas sintácticos no continuos

La investigación se desarrolló con el Patrón de Investigación Iterativo (Iterative Research Pattern, IRP) (Pratt, 2009) porque está diseñado especialmente para proyectos de investigación de Ciencias de la Computación que involucran una solución computacional.

El patrón utiliza en cada iteración cuatro etapas principales: 1) observaciones de campo, 2) identificación del problema de investigación, 3) desarrollo de la solución y 4) prueba de la solución.

La investigación se dividió en tres iteraciones del IRP. El resultado de cada iteración fue un prototipo de la herramienta (artefacto) y el modelo de representación (matrices de n-gramas sintácticos) que luego se utilizó en el Framework del Grupo GTI de la Universidad del Cauca para generar resúmenes extractivos genéricos de un documento.

Iteración 1: Se realizó la revisión de los trabajos que utilizan n-gramas para representar los documento. Se investigó sobre analizadores sintácticos que entregan información morfológica de un texto, se encontraron dos comúnmente utilizados por la comunidad científica y académica: FreeLing y Natural Language Toolkit (NLTK), cada uno se evaluó en los sistemas operativos recomendados: Windows y Linux para identificar ventajas y desventajas al utilizarlos con textos en idioma inglés y español, y, se seleccionó Freeling por sus beneficios para la investigación. Posteriormente se evaluaron los niveles de análisis morfológico, etiquetado, tokenizado, parseo, constituyentes y dependencias, y se seleccionó el análisis de dependencias por ser el más adecuado en información y estructura para obtener n-gramas sintácticos. Se analizaron los formatos de salida y se seleccionó el formato XML por su estructura para encadenar las rutas de los subárboles en forma de nodos anidados. Se logró implementar el primer prototipo de la herramienta en C# para leer y cargar el análisis generado por FreeLing. Se generaron n-gramas de tamaño 1 a 7 gramas con diferentes tipos de sintagmas (nominal, adjetival, verbal, preposicional y adverbial) y sus combinaciones.

Iteración 2: Se implementaron nuevas opciones a la herramienta para crear matrices de términos basado en n-gramas que incluyan o no palabras vacías, utilicen el término original o su lema, seleccionen el tipo de representación del documento completo (vector o centroide), seleccione el tipo de n-grama sintáctico (elementos léxicos, categorías gramaticales y relaciones sintácticas) y ordene o no los n-gramas sintácticos en la matriz. Además, se incluyó el despliegue de una lista de términos excluidos y la profundidad del término en el árbol sintáctico. Se utilizaron las colecciones DUC2001 y DUC2002 como datasets de entrenamiento y se generaron las matrices de términos con n-gramas sintácticos de tamaño 1 a 7 gramas para los sintagmas: nominal, adjetival, verbal, preposicional, adverbial y sus combinaciones. Las matrices se refinaron durante los experimentos lo cual permitió obtener resúmenes automáticos extractivos genéricos con el modelo espacio vectorial utilizando Okapi BM25 en el cálculo de pesos y los algoritmos LexRank, LexRank Continuo y GBHS del Framework del Grupo GTI.

Iteración 3: Se utilizó ROUGE como medida de evaluación de desempeño tanto de la línea base (matriz de la bolsa de palabras) del Framework del Grupo GTI, como de las matrices generadas con la herramienta propuesta en la investigación.

La herramienta creada, define matrices basadas en n-gramas sintácticos no continuos a partir de secuencias de n elementos textuales relacionados (gramas) considerando todos los subárboles de longitud n de un árbol sintáctico. Esta sigue la ruta en el árbol sintáctico y une las palabras relacionadas tanto sintáctica (reglas de combinación) como semánticamente (significado, sentido e interpretación al combinar palabras), aunque éstas no tengan una ruta continua, pero sí cuenten con alguna ruta que las conecte.

La **Figura 1** es un ejemplo de 5-grama (y di par [un, de] vueltas) que se conecta por valencias verbales (o patrones de rección, es decir, relación entre una palabra y otras relacionadas sintácticamente con ella), para el ejemplo, el verbo dar es trivalente y tiene los actantes: quién (yo), cuántas (un par), qué (vueltas), por lo tanto es importante tenerlos en cuenta al mismo tiempo en un n-grama (Sidorov, 2013a).

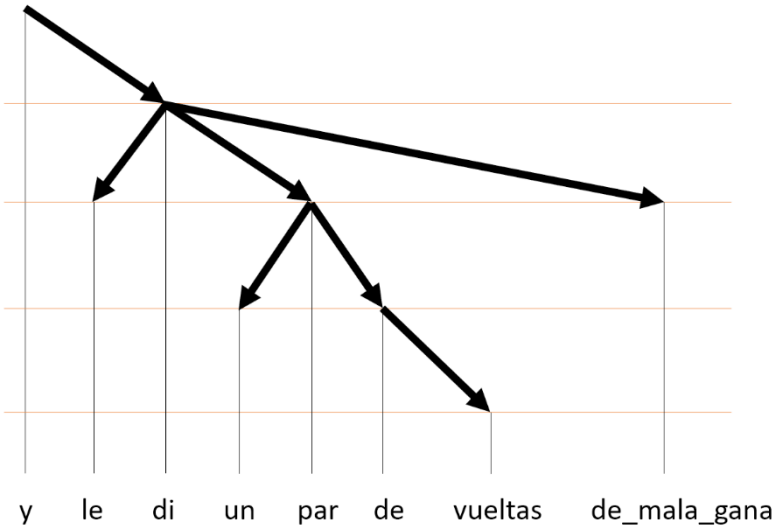


Figura 1 – 5-gramas sintácticos no-continuos en el fragmento del árbol sintáctico (Adaptado de (Sidorov, 2013a)).

4. Experimentación, resultados y discusión

4.1. Datasets: DUC2001 y DUC2002

La comunidad científica y académica utiliza las colecciones de noticias DUC2001 y DUC2002 como dataset de entrenamiento en la generación automática de resúmenes para un documento porque cuenta con los resúmenes de referencia hechos por humanos y aprobados por la Conferencia de Entendimiento de los Documentos (DUC). Estas colecciones son producto de investigación del National Institute of Standards and Technology y están disponibles en línea en http://www-nlpir.nist.gov. DUC2001 contiene 30 conjuntos de aproximadamente 10 noticias en inglés, que en total son 309 documentos con diversos temas. La colección DUC2002, por su parte, consta de 567 documentos en 59 conjuntos. En estas colecciones los resúmenes generados deben tener hasta 100 palabras.

4.2. Analizador sintáctico

Los analizadores sintácticos, comúnmente utilizados por la comunidad científica incluyen a *FreeLing* y al *Natural Language Toolkit* (NLTK). Al instalarlos en los sistemas operativos: Windows (versiones 7 Professional y 10 Pro) y Linux (distribuciones

Mint 17.3 y Ubuntu 16.04 LTS Xenial), se evaluaron las ventajas y desventajas de cada analizador como se describe en la **Tabla 1**.

Analizador	Ventajas	Desventajas
FreeLing	• Reconoce 13 lenguajes • Creado con plantillas estándar STL y lenguaje de programación C++, por lo tanto, es portable y adaptable a los sistemas operativos: Linux, Unix, Windows y MacOSX • Cuenta con un demo en Internet • Cuenta con un graficador de árboles sintácticos (análisis basado en gramática de dependencias) con cierto grado de complejidad y varias opciones de análisis como: detección de entidad con nombre, detección de múltiples palabras, codificación fonética, entre otras • Realiza varios procesos de análisis en múltiples hilos en uno o varios procesadores. • El resultado de los análisis puede ser visualizado en diferentes formatos (gráfico, XML, texto, JSON, entre otros) • Trabaja en sistemas de 32 bits y 64 bits • El mayor soporte y respaldo se obtiene para distribuciones de Linux/Unix	• No reconoce algunos acentos en las variantes de un mismo lenguaje, por ejemplo, español España y español México • Requiere complementos y librerías propias para cada sistema operativo dependiendo de su versión, por ejemplo, para Windows requiere Cygwin, MinGW y MSVS • El Demo tiene limitantes en la cantidad de palabras a analizar • Requiere recursos hardware de alto rendimiento para un procesamiento rápido • La versión compilada para Windows no es totalmente funcional • El soporte para Windows es limitado y requiere como IDE a Visual Studio 2015 o superior para recompilar el código fuente
NLTK	• Reconoce el lenguaje inglés y español • Portable y adaptable a los sistemas operativos Linux, Unix, Windows y MacOSX. • Cuenta con un graficador de árboles sintácticos (análisis basado en gramática de dependencias)	• Ciertas funcionalidades del lenguaje español aún están en desarrollo • Requiere librerías y complementos propios de cada sistema operativo (dependiendo de la versión del sistema) • No cuenta con un Demo en internet • Recomienda evitar las plataformas de 64 bits • Requiere conocimientos básicos de programación en Python

Tabla 1 – Ventajas y Desventajas de los analizadores FreeLing y NLTK

Freeling fue seleccionado por sus prestaciones para la investigación, aunque sus limitantes fueron: 1) problemas al tratar de integrar las librerías de análisis a la herramienta desarrollada en Visual Studio de Microsoft (el desarrollador no ofrece el mismo nivel de soporte que Linux) y 2) perdida de información de análisis dependiendo de las librerías de C# que se utilizan para leer el XML. Además, se evaluó los niveles de análisis: morfológico, etiquetado, tokenizado, dividido, parseado, constituyentes y dependencias, este último el más adecuado en información y estructura, especialmente la salida en formato XML por su estructura para encadenar las rutas de los subárboles en forma de nodos anidados.

4.3. Herramienta para crear matrices de n-gramas sintácticos no continuos

La herramienta es una interfaz de usuario desarrollada en C# para generar la matriz basada en n-gramas sintácticos no continuos que representan el espacio vectorial de cada documento seleccionado. Además, permite seleccionar los parámetros: 1) idioma del documento, 2) inclusión o no de "stop words", 3) análisis por lema o palabra, 4) tamaño del n-grama (de 1 a 7 gramas), 5) tipo de representación (vector o centroide), 6) tipo de n-grama sintáctico (léxicos, categorías gramaticales y relaciones sintácticas), 7) tipos de sintagmas a incluir en la representación (nominal, adjetival, verbal, preposicional, adverbial o la combinación) y 8) ordenar los n-gramas sintácticos a incluir en la representación. Seleccionados los parámetros y el archivo o carpeta contenedora de archivos de análisis sintácticos en formato XML, se procede a generar las matrices requeridas por el Framework del GTI en la Universidad del Cauca. Los experimentos con la herramienta se realizaron con análisis sintáctico de Freeling en formato XML para cada uno de los conjuntos de noticias DUC2001 y DUC2002.

4.4. Algoritmos Comparados

El Grupo de I+D en Tecnologías de la Información (GTI) de la Universidad del Cauca cuenta con un Framework para la generación automática de resúmenes extractivos de un documento mediante varios algoritmos implementados como: LexRank, la Mejor Búsqueda Armónica Global (Global-Best Harmony Search, GBHS), el Procedimiento de Búsqueda del Pescador (FSP), entre otros, todos ellos utilizan desde un documento html o texto hasta un archivo que representa un documento con bolsa de palabras, lo transforman en una matriz espacio vectorial de frases (filas) por términos (columnas) y ponderan los términos con Okapi BM25.

La herramienta propuesta en esta investigación (resumida en la sección 4.3) entrega a este Framework, la representación matricial de frases por términos (bolsa de palabras que para este caso son n-gramas sintácticos no continuos). Luego se ejecuta en el Framework el algoritmo de generación de resúmenes especifico y se evalúa cada resumen generado usando el *recall* de las métricas ROUGE-1 y ROUGE-2.

Los algoritmos usados para analizar el impacto de los n-gramas en comparación con el uso de un modelo de bolsa de palabras fueron:

LexRank: Basado en grafos, similar a Page Rank (versión inicialmente usada por Google para ranquear las páginas web cuando un usuario hace una consulta). El algoritmo ranquea los nodos de un grafo (frases, sentencias u oraciones) en términos de su centralidad, i.e. los nodos más conectados con los demás nodos del grafo (Erkan & Radev, 2004).

LexRank Continuo: Corresponde a una variación de LexRank que evita perder información en la construcción de los pesos en las conexiones del grafo que representa al documento. Es propuesto por los autores en conjunto con LexRank (Erkan & Radev, 2004).

ESDS-GHS-GLO: Inspirado en la mejor búsqueda armónica global, una metaheurística de optimización basada en la forma como los cantantes de Jazz improvisan su música. El algoritmo incluye un optimizador local voraz y optimiza una función objetivo que es la combinación lineal de la posición de la frase en el documento, la longitud de la frase y el cubrimiento de las frases candidatas seleccionadas para generar el resumen. La representación del documento completo se puede hacer como un vector de los n-gramas más importantes o el centroide de todos los n-gramas presentes en el documento (este último fue usado en la experimentación). Este algoritmo fue comparado con diversos algoritmos del estado del arte, entre ellos MA-SingleDocSum, DE, FEOM, UnifiedRank, Net-Sum, QCS, CRF, SVM y Manifold Ranking con resultados muy competitivos (Mendoza, Cobos, & León, 2015).

4.5. Experimentos con DUC2001 y DUC2002 para todos los sintagmas

Inicialmente se incluyeron todos los tipos de sintagmas (nominal, adjetival, verbal, preposicional y adverbial) y se realizó un experimento con cada algoritmo: LexRank con una repetición (este algoritmo siempre entrega el mismo resultado ante la misma entrada, es determinístico), LexRank Continuo con una repetición (también es discreto) y GBHS con 30 repeticiones (este algoritmo es probabilístico y por eso se debe calcular el promedio de 30 repeticiones). Los resultados de este experimento se presentan en la **Tabla 2**.

Algoritmo	Modelo	DUC2001		DUC2002	
		R1R	R2R	R1R	R2R
LexRank	bolsa de palabras	42,224	15,858	45,171	18,704
	1-grama	42,224	15,858	45,674	19,325
	2-gramas	**44,133**	**19,361**	**47,481**	**21,779**
	3-gramas	44,014	19,264	47,423	21,630
	4-gramas	44,025	19,040	47,178	21,352
LexRank Continuo	bolsa de palabras	43,420	17,389	45,919	19,589
	1-grama	43,420	17,389	44,697	18,215
	2-gramas	44,025	19,193	47,359	**21,687**
	3-gramas	44,004	**19,242**	**47,386**	21,596
	4-gramas	**44,040**	19,051	47,169	21,344
ESDS-GHS-GLO	bolsa de palabras	44,139	18,890	47,629	**22,107**
	1-grama	**44,874**	**19,370**	**48,194**	22,080
	2-gramas	42,917	17,613	46,661	20,749
	3-gramas	43,130	17,943	46,268	20,215
	4-gramas	43,386	18,203	46,169	20,178

Tabla 2 – Resultados del experimento con todos los sintagmas en DUC2001 y DUC2002 (mejores resultados en negrita)

La **Tabla 2** permite observar dos aspectos importantes, el primero es que los dos algoritmos basados en grafos (LexRank y LexRank Continuo) obtienen mejores resultados cuando usa n-gramas sintácticos no continuos en lugar de una representación de bolsa de palabras con términos sencillos. En LexRank se logra con 2-gramas, obteniendo mejoras entre el 4,5% y el 22,1% en los dos datasets. En LexRank continuo se logra en unos casos con 2-gramas (1 caso), 3-gramas (2 casos) y 4-gramas (1 caso) con mejoras entre el 1,5% y el 10,7% en los dos datasets. El segundo, es que el algoritmo ESDS-GHS-GLO obtiene los mejores resultados de todos con 1-grama mejorando entre 1,2% y el 2,5%, pero estos resultados no se mejoran con el uso de n-gramas con n > 1, es más pierden calidad (entre el 1,7% y el 8,7%). Estas dos observaciones permiten identificar que el impacto o positivo o negativo de los n-gramas sintácticos no continuos en los resultados del resumen dependen de la forma como el algoritmo de generación de resúmenes use los datos de entrada, en este caso la matriz espacio vectorial que representa el documento.

También se puede observar que los resultados entre 1-grama y la bolsa de palabras (algoritmo clásico usado en el Framework) son iguales en DUC2001, pero son ligeramente diferentes en DUC2002. Esto se debe a que Freeling realiza una fase de detección de entidades y en la bolsa de palabras eso no se hace, por esta razón la matriz de 1-grama en general tiene menos columnas, por ejemplo, con 1-grama "Presiente Bush" es un solo grama, mientras que en la tradicional bolsa de palabras "Presidente" es un término y "Bush" es otro término.

4.6. Experimentos con DUC2001 para combinaciones de sintagmas

Los experimentos con los tres algoritmos se evaluaron usando la colección DUC2001, con representaciones basadas en 1-grama con solo algunas combinaciones de sintagmas, a saber: 1- nominal, adjetival, verbal y preposicional (sin adverbial), 2- nominal, adjetival, verbal y adverbial (sin preposicional), 3- nominal, verbal, preposicional y adverbial (sin adjetival) y 4- nominal, adjetival, preposicional y adverbial (sin verbal). Los resultados se aprecian en la **Tabla 3** y solamente la combinación 2- nominal, adjetival, verbal y adverbial (sin preposicional) en LexRank logra obtener mejores resultados en ROUGE-2 recall (R2R). En todos los demás resultados se obtienen resultados más bajos, aunque algunos son cercanos. Esto implica que para 1-grama todos los tipos de sintagmas aportan información para definir si una frase debe o no hacer parte del resumen del documento.

5. Conclusiones

La investigación permitió establecer una línea base para futuros trabajos donde se emplee n-gramas sintácticos continuos y no continuos en la generación automática de resúmenes extractivos genéricos de un documento. Los resultados experimentales permiten mostrar que los dos algoritmos basados en grafos, LexRank y LexRank Continuo obtienen mejores resultados cuando la matriz de frases por términos se realiza con n-gramas sintácticos no continuos de 2, 3 o 4 gramas. Respecto al algoritmo ESDS-GHS-GLO, los mejores resultados se obtuvieron con n-gramas sintácticos no continuos de 1 grama y usando como esquema de representación del documento el centroide de todos los n-gramas.

Algoritmo	Sintagmas	DUC2001	
		R1R	R2R
LexRank	Todos	**42,224**	15,858
	Nom-Adj-Ver-Adv	41,916	16,016
	Nom-Adj-Ver-Prep	42,097	**16,324**
	Nom-Ver-Prep-Adv	41,677	15,654
	Ver-Adj-Prep-Adv	41,222	15,140
LexRank Continuo	Todos	**43,420**	**17,389**
	Nom-Adj-Ver-Adv	41,866	15,441
	Nom-Adj-Ver-Prep	42,002	15,542
	Nom-Ver-Prep-Adv	41,810	15,270
	Ver-Adj-Prep-Adv	41,111	15,182
ESDS-GHS-GLO	Todos	**44,874**	**19,370**
	Nom-Adj-Ver-Adv	43,998	18,539
	Nom-Adj-Ver-Prep	44,047	18,523
	Nom-Ver-Prep-Adv	44,123	18,533
	Ver-Adj-Prep-Adv	43,088	17,829

Tabla 3 – Resultados del experimento con combinaciones de sintagmas en DUC2001 con 1-grama

Freeling es el analizador sintáctico recomendado para obtener n-gramas sintácticos porque: a) reconoce 13 lenguajes, incluidos el inglés y español, b) entrega el análisis de constituyentes y dependencias en formato de salida XML, c) conserva la jerarquía de los elementos textuales en el árbol sintáctico y d) incluye formatos y etiquetas que identifican la mayor cantidad de información sintáctica y semántica necesaria para crear n-gramas sintácticos.

El rango de los tamaños de los n-gramas adecuado para los n-gramas sintácticos es de 1 a 4 gramas. Valores superiores a 4 hacen que la representación espacio vectorial sea aún más dispersa y convierten a los n-gramas sintácticos en oraciones que no se comparten entre las frases del documento. Además, los experimentos realizados indican que con 1-grama se deben tener en cuenta todos los tipos de sintagmas (nominal, adjetival, verbal, preposicional y adverbial) para que se logre obtener mejores resultados.

El grupo de investigación espera en futuras investigaciones evaluar otros algoritmos del estado del arte como por ejemplo la propuesta memética de (Mendoza, Bonilla, Noguera, Cobos, & León, 2014) o la propuesta multiobjetivo de (Saini, Saha, Jangra, & Bhattacharyya, 2019) para evaluar el impacto de los n-gramas sintácticos no continuos en la calidad de los resúmenes generados.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional de México, en especial al PhD. Alexander Gelbukh y al PhD. Grigori Sidorov por sus asesorías en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

Erkan, G., & Radev, D. R. (2004). LexRank: Graph-based Lexical Centrality as Salience in Text Summarization. *Journal of Artificial Intelligence Research*, *22*(4), 457–479.

Gao, J., Nie, J.-Y., Wu, G., & Cao, G. (2004). Dependence language model for information retrieval. *Proceedings of the 27th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 170–177. https://doi.org/10.1145/1008992.1009024

Gupta, V., Bansal, N., & Sharma, A. (2019). Text summarization for big data: A comprehensive survey. *Lecture Notes in Networks and Systems*.

Hiemstra, D. (2009). Information Retrieval Models. In *Information Retrieval: Searching in the 21st Century* (pp. 1–19). https://doi.org/10.1002/9780470033647.ch1

Huston, S., & Croft, W. B. (2014). A Comparison of Retrieval Models using Term Dependencies. *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Conference on Information and Knowledge Management - CIKM '14*, 111–120. https://doi.org/10.1145/2661829.2661894

Mahajani, A., Pandya, V., Maria, I., & Sharma, D. (2019). A Comprehensive Survey on Extractive and Abstractive Techniques for Text Summarization. *Advances in Intelligent Systems and Computing*.

Mendoza, M., Bonilla, S., Noguera, C., Cobos, C., & León, E. (2014). Extractive single-document summarization based on genetic operators and guided local search. *Expert Systems with Applications*, *41*(9), 4158–4169. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.042

Mendoza, M., Cobos, C., & León, E. (2015). Extractive single-document summarization based on global-best harmony search and a greedy local optimizer. In *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 9414, pp. 52–66). https://doi.org/10.1007/978-3-319-27101-9_4

Pratt, K. (2009). Design Patterns for Research Methods: Iterative Field Research. *AAAI Spring Symposium: Experimental Design for Real ...*, (1994).

Rijsbergen, C. J. Van. (1979). Information Retrieval. *Information Retrieval*, 208. https://doi.org/10.1007/SpringerReference_16360

Robertson, S., & Walker, S. (1994). Some Simple Effective Approximations to the 2 – Poisson Model Probabilistic Weighted Retrieval. *Proceedings of the 17th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, (1), 232–241. https://doi.org/10.1016/0306-4573(94)00047-7

Robertson, S., Zaragoza, H., & Taylor, M. (2004). Simple BM25 extension to multiple weighted fields. *Proceedings of the 13th ACM Conference on Information and Knowledge Management*, 42–49. https://doi.org/10.1145/1031171.1031181

Saini, N., Saha, S., Jangra, A., & Bhattacharyya, P. (2019). Extractive single document summarization using multi-objective optimization: Exploring self-organized differential evolution, grey wolf optimizer and water cycle algorithm. *Knowledge-Based Systems*, *164*, 45–67.

Sidorov, G. (2013a). *Construcción No Lineal De N-Gramas En La Lingüística Computacional: N-gramas Sintácticos, Filtrados y Generalizados*. México: Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

Sidorov, G. (2013b). N-gramas sintácticos no-continuos. *Polibits*, (48), 69–78.

Sidorov, G. (2013c). N-gramas sintácticos y su uso en la lingüística computacional. *Vectores de Investigación*, *6*, 13–27.

Sidorov, G., Velasquez, F., Stamatatos, E., Gelbukh, A., & Chanona Hernández, L. (2013a). Syntactic dependency-based n-grams: More evidence of usefulness in classification. *Lecture Notes in Computer Science*, *7816*, 13–24.

Sidorov, G., Velasquez, F., Stamatatos, E., Gelbukh, A., & Chanona Hernández, L. (2013b). Syntactic dependency-based n-grams as classification features. *Lecture Notes in Computer Science*, *7630*, 1–11.

Singhal, A. (2001). Modern Information Retrieval: A Brief Overview. *Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering*, *24*(4), 35–43.

Zhao, J., Huang, J. X., & Ye, Z. (2014). Modeling term associations for probabilistic information retrieval. *ACM Transactions on Information Systems*, *32*(2), 1–47.

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

Recebido/Submission: 13/04/2019
Aceitação/Acceptance: 23/07/2019

Satellite-image-based crop identification using unsupervised machine learning techniques: Preliminary results

Mónica Yolanda Moreno Revelo[1], Juan Bernardo Gómez Menoza[1], Diego Hernán Peluffo Ordoñez[2]

momorenor@unal.edu.co, jbgomezmendoza@unal.edu.co,

[1] Universidad Nacional de Colombia, km 7 vía al aeropuerto, Manizales, Colombia

[2] Universidad Yachay, Hacienda San José, Ibarra, Ecuador

Pages: 337–348

Abstract: Artificial vision and image processing have been widely used in the field of scientific research related to satellite landscapes with purposes, like soil classification, detection of changes in urban and rural areas, among others. The existing prototypes have reported meaningful results, notwithstanding, the implementation of a system more properly fitting the nature of the images by taking into account factors such as lighting control, noise reduction and presence of clouds is still an open and of-great-interest problem. This paper presents an initial satellite image processing methodology for clustering crops. The proposed methodology is as follows: Firstly, data pre-processing is carried out, followed by a feature extraction stage. Secondly, image clustering is performed by means of a probabilistic algorithm. This methodology is validated with the Campo Verde database built over crops from a Brazil's area. Our approach reaches a classification percentage 87.97%, sensitivity 87.1%, specificity 97.22 and f1_score 71.78 %.

***Keywords*:** Satellite image, Parzen's probability density function, max-min algorithm, Landsat satellite.

1. Introduction

A satellite image is a visual representation of information captured by a sensor aboard a satellite (Bastidas & Bravo, 2017). Currently, a large number of satellites are designed to capture information from different areas around the world, being the ones obtained by the Landsat satellite the most commonly used in most scientific research related to satellite image processing such a fact is due to its availability, along with spectral, spatial and temporal resolution (Galindo, Rubiano, Vergara, & Cabrera E, 2014). Satellite image processing encompasses a large number of applications aimed at solving different problems, such as control and monitoring of deforestation from the detection of changes in images, crop classification to map soil usage, weather forecasting, among others (Lobell, Thau, Seifert, Engle, & Little, 2015), (Hutchinson, Jacquin , Hutchinson, & Verbesselt, 2015), (Baig, Zhang, Shuai, & Tong, 2014). Several works related to the processing of

satellite images have been carried out. In this sense, it is worth to mention the work presented in (Jaramillo & Antunes , 2018), which is based on comparison of a post-classification methods, consisting of classification of a determined area independently for each period of time. The work of Pelletier et al. (Pelletier, Valero , Inglada, Champion, & Dedieu, 2016) is based on direct classification techniques that consist of using time series and methods, namely the analysis of change vectors. Sanches et al (Sanchez, I; Feitosa, R; Diaz, P; Soares, M; Luiz, A; Schultz, B; Maurano, L, 2018) introduces a database of labeled satellite images, so called Campo Verde. Such a database allows for assessing classification techniques over different crops in time series so that agricultural production can be enhanced. In particular, this research makes a classification of the images using stacking and a decision tree. In (Picoli, M; Camara, G; Sanchez, I; Simoes, R; Carvalho, A; Maciel, A; Coutinho, A; Esquerdo, J; Antunes, J; Begotti, R, 2018), the Campo Verde database is also used and different crops are classified over the period 2015-2016, jointly analyzing the deforestation caused by the crops present during this period of time. Although the aforementioned researches have demonstrated suitable results, the development of a method reaching a good compromise between robustness (to factors such as: lighting, noise, execution time and cloudiness) and accuracy is still an open issue.

The present paper is an exploratory study, our objective is classifying 10 different types of crops (soy, corn, cotton, sorghum, beans, non-commercial crops (NCC), pasture and turfgrass, eucalyptus, soil, and Cerrado) with a clustering method based on Parzen's probability and initialization max-min. The database used in our study is the one introduced in (Sanchez, I; Feitosa, R; Diaz, P; Soares, M; Luiz, A; Schultz, B; Maurano, L, 2018), which consists of two sets of images: one of them obtained with the Sentinel satellite, and another captures with the Landsat 8 satellite. We chose the Landsat images for the scope of this work, because it presents a better spatial resolution in comparison with Sentinel, and therefore small changes can be better distinguished (Zhu & Woodcock, 2014). The proposed methodology is as follows: first, images are filtered by means of a median filter, just as recommended in (Xueyan, Xinang, Yang, & Liang, 2017). Second, a feature extraction is performed with the coefficients of Hermite. Finally, data clustering is carried out by using a probabilistic algorithm based upon the Parzen windows. In order to improve the efficiency of the clustering algorithm, centroids were initialized using max-min, rather than using a random initialization. The rest of this paper is structured as follows: Section 2 describes the proposed methodology; Section 3 presents the results, and a brief discussion of them. Finally, some concluding remarks and future works are given in Section 4.

2. Methodology

The methodology depicted in diagram of Fig.1 is proposed in order to cluster different types of soil cover.

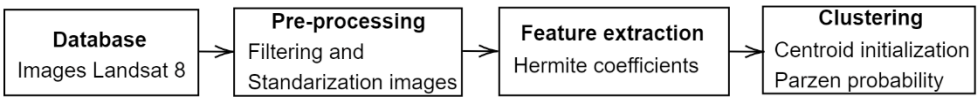


Figure 1 – Methodology applied on database

2.1. Database

Campo Verde is a database built and released by Sanches et al (Sanchez, I; Feitosa, R; Diaz, P; Soares, M; Luiz, A; Schultz, B; Maurano, L, 2018). It provides the scientific community with a set of labeled satellite images. Campo Verde is located in western Brazil. This locality has a tropical climate, and its average temperature is 23°C which favors the harvest of crops such as corn, beans, cotton, among others.

The images of the database were acquired with the satellites Landsat 8 and Sentinel, 14 and 16 images available from each satellite. About the Sentinel images, it has a geometric resolution of 20 m and a swath of 250km. About the Landsat images, it has a resolution of 30m except the panchromatic band, which has 15-m resolution, the images were acquired with OLI sensor, and so, the images have eight bands. The images of database are georeferenced and clipped to the area of study. The data were acquired in the period ranging from October 2015 to July 2016. In Figure 2 is possible observe an image of the database.

2.2. Pre-processing

Images are filtered with a median filter according to the recommendation given in (Xueyan, Xinang, Yang, & Liang, 2017). Next, the images are standardized in order to avoid that the data with big value influence negatively the data with small values. Data standardization is done according to equation 1.

$$\mathbf{X} = \frac{\mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}}}{\max(\mathbf{X})} \tag{1}$$

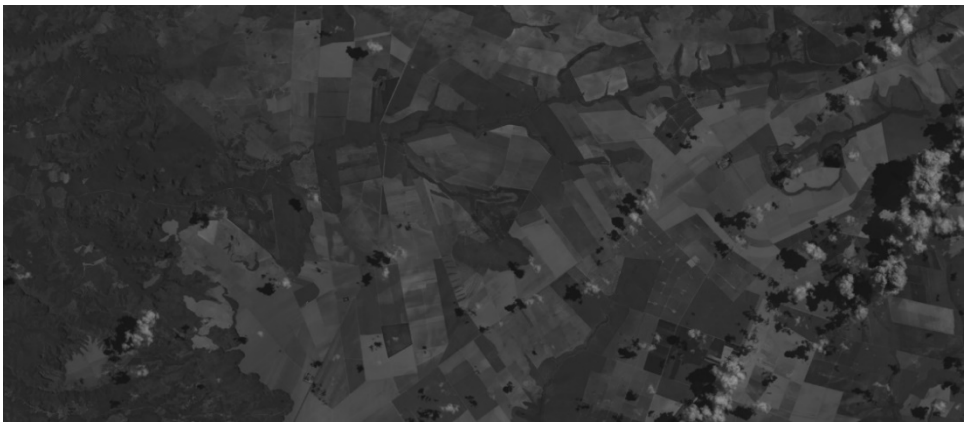


Figure 2 – Satellite image Campo Verde

2.3. Feature set

The Hermite polynomials are a solution of equation 2.

$$b''(a) - 2ab'(a) + 2rb(a) = 0 \tag{2}$$

The Hermite coefficients are used in order to obtain the feature set of the images. The first two polynomials are defined for: $\boldsymbol{H}_o = 1$ y $\boldsymbol{H}_1 = 2a$. The next polynomials are obtained with equation 3:

$$\boldsymbol{H}_r = 2b\boldsymbol{H}_{r-1} - 2(r-1)\boldsymbol{H}_{r-2} \tag{3}$$

The Hermite bases (equation 4) are obtained with the coefficients

$$\emptyset_r^{\vartheta} = \frac{e^{-b^2/2\vartheta^2}}{\sqrt{2^r \vartheta r! \sqrt{\pi}}} \tag{4}$$

Thus, the features set is obtained according to algorithm of Table 1:

Algorithm 1 Feature set

Require: A multi-spectral satellite image.
Ensure: output matrix $\hat{\mathbf{X}} \in \mathbb{R}^{N \times M}$

1. Compute the matrix, $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{N \times M}$ where the number of rows (N) corresponding to number of pixels and the number of columns (M) corresponding to the bands number of the image. The element $\mathbf{X}_{NM}$ corresponds to the band amplitude value of the pixel N in the band M of the image.
2. Obtain the Hermite coefficients for each data N of the matrix $\mathbf{X}$, with this, we obtain a feature matrix $\hat{\mathbf{X}} \in \mathbb{R}^{N \times M}$. In this stage, we stablish the next parameters: $\vartheta = 0.025$ and a bases number M =6, according to the recommendation given in (Peluffo, Rodriguez, & Castellanos, 2008).

Table 1 – Algorithm 1

To simplify notation, $\hat{\mathbf{X}}$ will from now on be referred to as $\mathbf{X}$.

2.3. Clustering

A probabilistic algorithm is used in order to segment the images, so the data are assigned to a cluster according to the membership value of the data to a cluster.

In this paper, the non-parametric probability with the Parzen probability is used (see equation 5}.

$$P(w) = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} \mathcal{K}\left(\frac{w - w_i}{s}\right) \tag{5}$$

where $\mathcal{K}$ is a Gaussian kernel, depicted in equation 6:

$$\mathcal{K}(\boldsymbol{z}) = e^{-\frac{1}{2}\boldsymbol{z}^T\boldsymbol{z}} \tag{6}$$

where $\boldsymbol{z}$ is a multivariate standardized random variable arranged as a row vector.

Equation 7 shows the joint probability

$$\mathrm{P}(\mathbf{X},\mathbf{Y}) = \mathrm{e}^{-\frac{(\mathrm{X_i}-\mathrm{X_j})\Sigma_j^{-1}(\mathrm{Y_i}-\mathrm{Y_j})'}{2}} \tag{7}$$

Algorithm 2 max-min initialization

Require: Initial parameters:
Clusters number (k).
Maximum number of iterations (Iter).
Parameter convergence (ψ)
Initial centroids $\mathbf{Y}$.
Initial labels $\mathbf{IL}$.
Ensure: Output matrix of final labels $\mathbf{FL} \in \mathbb{R}^{N\times 1}$

1. Calculate the image marginal probability and the centroids marginal probability according to equation 5.
2. Calculate the joint probability according to equation 7.
3. Estimate the membership function through the next equation: $m = \frac{P(\mathbf{X},\mathbf{Y})P(\mathbf{Y})}{P(\mathbf{X})}$
4. Assign the data for each cluster according to the value membership and obtain the new labels ($\mathbf{FL}$).
5. Update the centroids. $\mathbf{Y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} m_{ij}\mathbf{X}_i}{\sum_{i=1}^{N} m_{i,j}}$
6. Update the objective function: $O = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{K} P(\mathbf{X},\mathbf{Y})P(\mathbf{X})$

if $O < \psi$
Finish and the solution is $\mathbf{FL}$
else
Return to step 1

Table 2 – Algorithm 2

where $\sum_j$ is a co-variance matrix.

Then, the algorithm of Table 2 is built. The initial labels are obtained with the k-means algorithm, please refer to (Dhanachandra, Manglem, & Chanu, 2015) for more information. The starting location of the centroids can be obtained randomly, or by the means of initialization methods such as max-min (Ganesan & Vasuki, 2018). A good centroid initialization ensures that the centroids of each cluster are away from each other; for this reason, the max-min algorithm is used (see Table 3).

Algorithm 3 max-min initialization

Require: Matrix
Ensure: Output matrix

1. Choose the first centroid randomly.
2. The second center is the further of the first centroid.
3. The other centroids are obtained according to the max-min:

$$\mathbf{Y} = \max_{\mathbf{X}_i \in (\mathbf{X}-\mathbf{Y})} \left\{ \min_{\mathbf{Y}_j \in \mathbf{Y}} \left| (\mathbf{X}_i - \mathbf{Y}_j)^2 \right| \right\}$$

Table 3 – Algorithm 3

In order to improve the results on the minority classes, we used an approach based on segment clustering. This approach consists of dividing into Ns subsets, called segments, and later applying a clustering procedure for each segment; then, a cluster merger stage

is realized. More information about this method can be found in (Rodriguez, Peluffo, & Dominguez, 2015).

2.5. Performance measures

Consider the next clusters: A cluster holding the elements regarding from the class of interest (CI) and other cluster holding the elements different from the class of interest (NCI), the next performance measures are used: Sensibility (Se) that quantifies the proportion of elements CI correctly classified, Specificity(Sp) that quantifies the proportion of elements NCI correctly classified, Classification percentage (Cp) that quantifies the total number of data correctly classified and f1_score ($f1$) that is a good measure for unbalanced database because it seeks a balance between precision and recall.

$$Se = \frac{TP}{TP+FN} \tag{8}$$

$$Sp = \frac{TN}{TN+FP} \tag{9}$$

$$Cp = \frac{TN+TP}{TP+TN+FP+FN} \tag{10}$$

$$f1 = \frac{2 \times pre \times re}{pre + re} \ (11);\ with:\ pre = \frac{TP}{TP + FP}\ and\ re = \frac{TP}{TP + FN}$$

where:
pre: is the precision.
re: is the recall.
TP: are the true positives or the number pixels CI classified correctly.
TN: are the true negatives or the number pixels NCI classified correctly.
FP: are the false positives or the number pixels NCI classified as CI.
FN: are the false negatives or the number pixels CI classified as NCI.

3. Results

The tests are based on flowchart of Figure 3.

The tests performed are applied on some labeled zones of the satellite images, in order to review the performance of the algorithm used. The tests are made in 10 images of the database, some images are omitted because of some images are acquired on consecutive days and the January image is omitted too because of this had clouds only. Two tests are performed on the database, algorithm of Table 2 with a random initialization is applied in the first test and algorithm of Table 2 with a max-min initialization (depicted in Table 3) is applied in the second test.

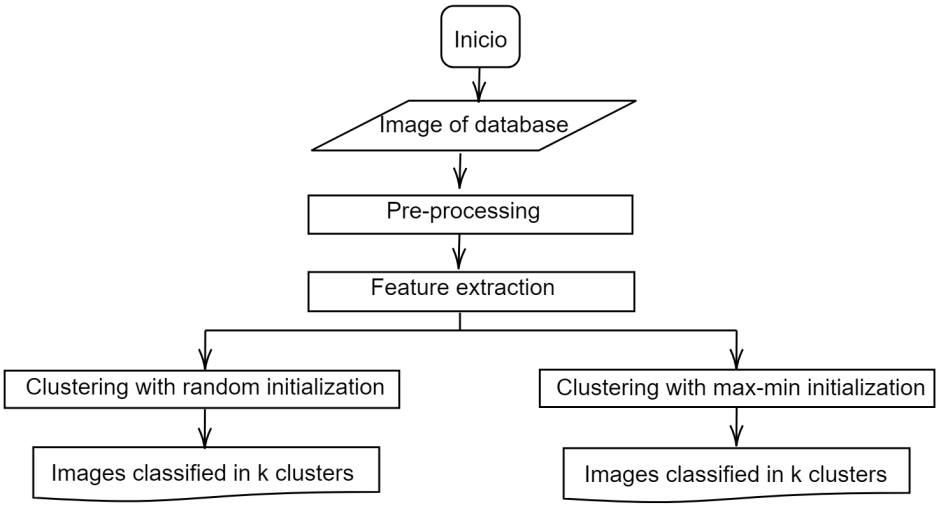


Figure 3 – Flowchart of tests

The results can be observed in the Table 4, which, discloses the total number of pixels analyzed, the percentage of sensitivity (Se), the percentage of specificity (Sp), f1_score ($f1$) and the percentage of classification ($C1, C2, \ldots C10$) for each of the tests performed, is the notation used to define the following classes: $C1$: Soybean, $C2$: Corn, $C3$: Cotton, $C4$: Sorghum, $C5$: Beans, $C6$: NCC grasses, $C7$: Pasture and turfgrass, $C8$: Eucalyptus, $C9$: Soil, $C10$: Cerrado.

Image 1 is an image of the database, which, has only two classes with the same number of pixels for each class, in order to review the effect that the balancing of classes has on the performance measures. Table 4 depicts the results for some images and Table 5 depicts the means of the results for all images.

Image	**Class**	**Amount**	**Random Initialization**			**Max-min initialization**		
			Se (%)	**Sp (%)**	**f1 (%)**	**Se (%)**	**Sp (%)**	**f1 (%)**
Image 1	C1	891	97.5	87.4	92.84	100	85.5	93.25
	C2	892	87.4	100	92.09	85.5	100	92.21
October	C1	51	100	100	50.6	100	100	17.86
	C2	58	89.23	99.89	80.85	100	100	55
	C6	146	100	100	96.05	71.73	99.21	80
	C7	489	93.81	99.8	88.79	80.97	98.32	86.23
	C8	173	80.42	99.57	95.47	89.63	99.79	78.57
	C9	5707	90.15	42.89	97.76	99.07	95.14	99.19
	C10	174	0	100	0	69.14	99.18	69.34

Image	Class	Amount	Random Initialization			Max-min initialization		
			Se (%)	Sp (%)	f1 (%)	Se (%)	Sp (%)	f1 (%)
July	C2	841	49.72	88.19	40	56.55	89.48	73.08
	C3	2572	78.29	84.9	79.35	81.04	87.22	84.86
	C4	64	0	100	0	100	100	3.07
	C6	184	0	100	0	0	100	0
	C7	586	69.08	97.6	79.42	84.65	99.03	53.99
	C8	173	100	100	90.16	100	100	100
	C9	2205	62.73	84.39	80.01	91.87	96.95	84.8
	C10	174	0	100	0	60.5	98.79	52.9

Table 4 – Results for some images

The results of image 1 are better than the results obtained in the other images. This fact happened because of image 1 has the same amount of data to each class, i.e., the classes are balanced and this does not happen in the other images.

For this case, the max-min initialization improves notably the results in the whole set of images, this fact happens because of the chosen centroids in the initialization of the algorithm 2 have less probability belong to the same cluster since max-min ensures a better separation between the centroids.

Image	Amount	Random Initialization				Max-min Initialization			
		Se (%)	Sp (%)	f1 (%)	Cp (%)	Se (%)	Sp (%)	f1 (%)	C P (%)
Image 1	1783	92.5	97.5	92.47	99.25	92.8	92.8	92.73	92.8
October	6798	79.08	91.74	72.79	90.14	87.22	98.8	78.3	95.89
November	6799	78	97.63	72.11	86.86	86.25	98.25	82.4	90.32
December	6800	51.6	97.12	64.64	88.27	72.72	99.2	71.66	95.29
February	6798	33.57	92.8	33.42	67.53	91.15	96.6	84.32	84.5
March	6799	39.08	95.7	40.09	73.83	57.67	98.73	52.69	91.85
April	6799	71.52	98.39	84.61	90.5	81.2	97.53	72.72	86.29
May	6799	65.37	95.84	70.28	76.15	62.69	96.8	55.56	80.8
June	6799	52.16	96.26	55.68	75.5	77.58	97.06	70.85	83.25
July	6799	44.97	94.51	48.27	68	71.83	96.43	56.58	78.75

Table 5 – Mean results for database

The results of the Table 5 are summarized in Figure 4 and Figure 5. These figures depict the Percentage average to each measure: $Se, Sp, f1$ and Cp.

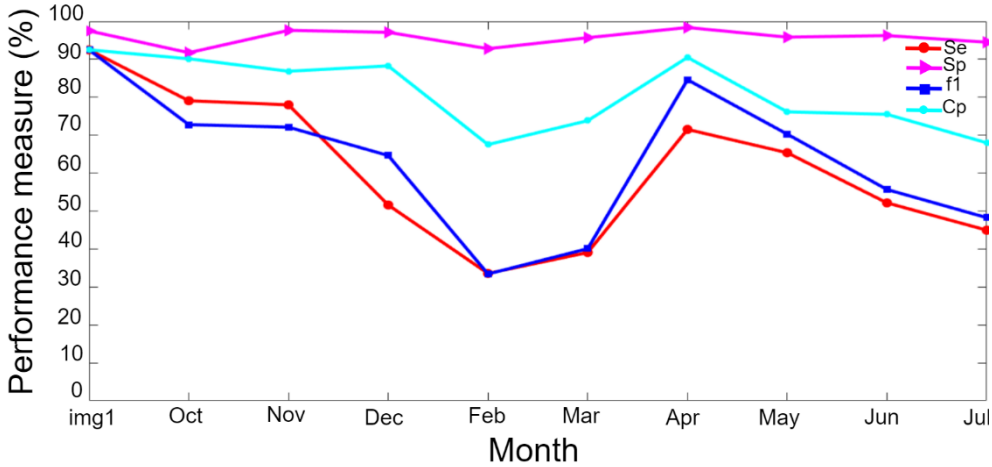


Figure 4 – Performance measure, random initialization.

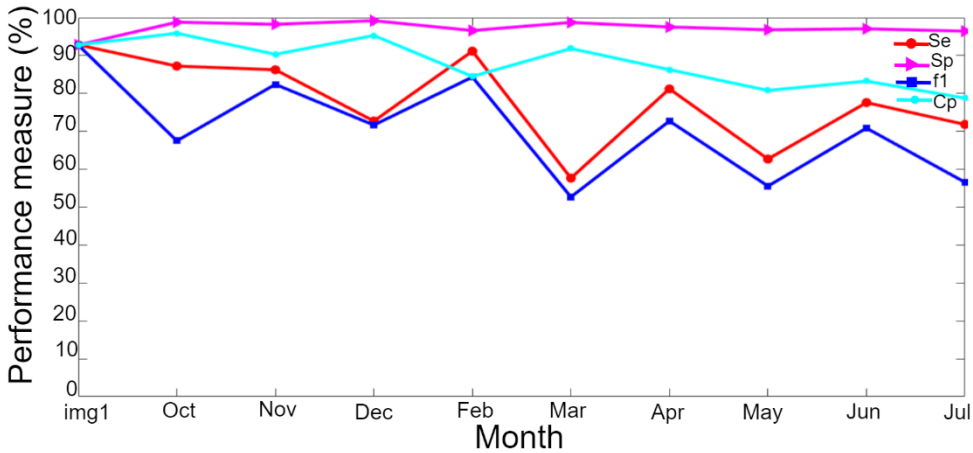


Figure 5 – Performance measure, max-min initialization.

In Figure 4 and Figure 5 we can appreciate that unlike image 1 the Se in the clustering of data in all the images does not exceed 92% and the $f1$ does not exceed 82% while the Spremains almost constant around 97%, the difference in the percentage of these measures is due to the fact that the sensitivity measures the proportion of data CI classified correctly, in a clinical environment for example, the Se measures the classification success of a sick person as sick and not healthy while the Sp measures the success of classification of a healthy person as healthy and not sick. Respect to f1_score, this measurement is low in the most months because the database is misbalanced. In

Figure 6 is possible observe the curves ROC (Receiver-Operating Characteristic) for October. In this figure is observed that the best results are getting for the class 9, because this curve has a better area.

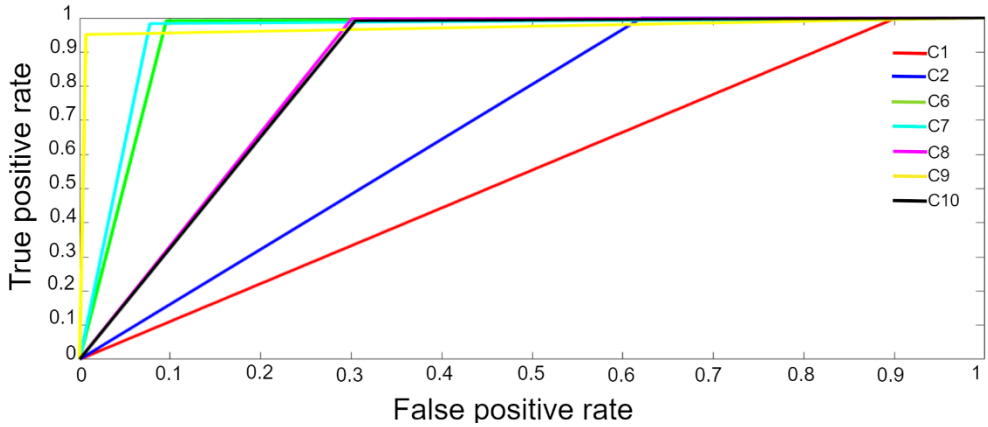


Figure 6 – Curves ROC October.

Some Works that have used the Campo Verde database are (Sanchez, I; Feitosa, R; Diaz, P; Soares, M; Luiz, A; Schultz, B; Maurano, L, 2018) with a random forest and (La Rosa, Happ, & Feitosa, 2018), these research have reached a good performance on the all data base, approximately 65% and 81.7% respectively. It is worth remember that our approach only considered some data and not all data base because we presented a preliminary study.

4. Conclusions

In this work a probabilistic algorithm with random and max-min initialization were used, the methods were applied on the Campo Verde database and the results obtained were good for some cases as the case of image 1. The best results without considering image 1 were obtained for February because this image got a f1 84.32% while that the worst results were obtained for April with a f1 72.72%, this probably happened due to the presence of minority classes.

The main advantage of using the max-min algorithm -instead of at randomly- for centroids initialization is that the classification results improve markedly as there is a better separation between the centroids of every group.

In the classification stage, we will use other methods such as those based on deep neural networks because that does not require characterization and a comparative study of these techniques will be carried out with those already implemented.

In addition to these direct classification methods, it will be possible to evaluate the change in the coverage of soils in satellite images, helping to solve other problems such

as the quantification of deforestation. We will propose to compare methods of direct classification with methods based on time series

References

Baig, M., Zhang, L., Shuai, T., & Tong, Q. (2014). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 423-431. doi: 10.1080/2150704X.2014.915434

Bastidas, A., & Bravo, L. (2017). Análisis de imágenes satelitales para clasificación de biomasa en el departamento de Nariño. Pasto.

Dhanachandra, N., Manglem, K., & Chanu, Y. (2015). Image segmentation using K-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. *Procedia Computer science*, 764–771. doi: 10.1016/j.procs.2015.06.090

Galindo, G., Rubiano, J., Vergara, L., & Cabrera E. (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Ganesan, V., & Vasuki, S. (2018). Maximin distance based band selection for endmember extraction in hyperspectral images using simplex growing algorithm. *Multimedia Tools and Applications*. doi: 7221–7237. 10.1007/s11042-017-4630-0

Hutchinson, J., Jacquin , A., Hutchinson, S., & Verbesselt, J. (2015). Monitoring vegetation change and dynamics on US Army training lands using satellite image time series. *Journal of environmental management*, 355–366. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.08.002

Jaramillo, L., & Antunes , A. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA): Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de teledetección*, 33-46. doi: 10.4995/raet.2018.8995

La Rosa, L., Happ, P., & Feitosa, R. (2018). Dense fully convolutional networks for crop recognition from multitemporal sar image sequences. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing (IGARS)*, (págs. 7460-7463). doi: 0.1109/IGARSS.2018.8517995

Lobell, D., Thau, D., Seifert, C., Engle, E., & Little, B. (2015). A scalable satellite based crop yield map. *Remote sensing of environment*, 324-333. doi: 10.1016/j.rse.2015.04.021

Pelletier, C., Valero , S., Inglada, J., Champion, N., & Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 156-168. doi: 10.1016/j.rse.2016.10.010

Peluffo, D., Rodriguez, J., & Castellanos, G. (2008). Metodología para la reconstrucción y extracción de caracterısticas del complejo qrs basada en el modelo paramétrico de hermite. *V Semana Técnica de Ingenierıas Eléctrica y Electrónica*.

Picoli, M., Camara, G., Sanchez, I., Simoes, R., Carvalho, A., Maciel, A., . . . Begotti, R. (2018). Big earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.08.007

Rodriguez, J., Peluffo, D., & Dominguez, G. (2015). Segment clustering methodology for unsupervised holter recordings analysis. *10th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis*. doi: 10.1117/12.2073882

Sanchez, I; Feitosa, R; Diaz, P; Soares, M; Luiz, A; Schultz, B; Maurano, L. (2018). Campo Verde Database: Seeking to Improve Agricultural Remote sensing of tropical areas. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 369–373. doi: 10.1109/LGRS.2017.2789120

Xueyan, G., Xinang, L., Yang, Y., & Liang, H. (2017). Multi-temporal and multi-view based remote sensing image registration for ground surface objects change monitoring. *13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, (págs. 559-566). doi: 10.1109/ICEMI.2017.8265892

Zhu, Z., & Woodcock, C. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote sensing of Environment*, 152-171. doi: 10.1016/j.rse.2014.01.011

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

Recebido/Submission: 22/04/2019
Aceitação/Acceptance: 01/07/2019

Evaluación de sistemas de seguridad informáticos universitarios Caso de Estudio: Sistema de Evaluación Docente

Daisy E. Imbaquingo[1,2], Erick P. Herrera-Granda[1], Israel D. Herrera-Granda[1], Silvia R. Arciniega[1], Verónica L. Guamán[1], MacArthur C. Ortega-Bustamante[1,2]

deimbaquingo@utn.edu.ec, epherrera@utn.edu.ec, idherrera@utn.edu.ec, srarciniega@utn.edu.ec, vlguaman@utn.edu.ec, mc.ortega@utn.edu.ec

[1] Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

[2] Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, 1900, La Plata, Argentina.

Pages: 349–362

Resumen: El presente trabajo detalla el proceso de evaluación de seguridad del Sistema de Evaluación Docente de la Universidad Técnica del Norte, para establecer objetivos y controles que permitan minimizar las vulnerabilidades del sistema de gestión. Se recolectó información mediante encuestas, entrevistas y reuniones de trabajo, posteriormente se aplicó la metodología Magerit mediante el software PILAR, que permitió el levantamiento de información y activos como hardware, software, y activo humano, para luego realizar una valoración de acuerdo con su incidencia en la integridad, confidencialidad, disponibilidad, autenticidad y trazabilidad. La estructura factorial de la encuesta se diseñó mediante análisis factorial exploratorio y los resultados se validaron empleando análisis factorial confirmatorio. Además, se realizó una revisión de la ISO/IEC2001:2013 y la evaluación de cumplimiento basada en la Norma ISO/IEC 2700:2017. Para detectar la seguridad a este sistema se hizo pruebas de penetración en las vulnerabilidades detectadas mediante herramientas de SQLmap y Nmap.

Palabras-clave: Evaluación seguridad sistemas informáticos; ISO/IEC 27002:2017; Análisis factorial exploratorio, Validez, Fiabilidad.

Evaluation of University Informatic Security Systems: Teacher Evaluation System a case study

***Abstract*:** This work details the security evaluation process of Técnica del Norte University teacher evaluation system, in order to establish objectives and controls that minimize the vulnerabilities of the management system. Information was collected through surveys, interviews and work meetings. Next, the Magerit methodology was applied through the PILAR software, which allowed information and assets collection, such as hardware, software, and human assets, and then, an assessment according to its incidence in integrity, confidentiality, availability, authenticity and traceability, was made. The factorial structure of the survey was

designed using exploratory factor analysis and the results were validated by means of confirmatory factor analysis. In addition, a review of ISO / IEC2001: 2013 and an evaluation of compliance based on ISO / IEC 2700: 2017 was performed. To detect the security of this system, penetration tests were made on the detected vulnerabilities, by means of SQLmap and Nmap tools.

Keywords: informatic security system evaluation; ISO/IEC 27002:2017; factorial exploratory analysis; validity; fiability.

1. Introducción

Las organizaciones se enfrentan a un número alto de inseguridades que provienen de varias fuentes, por esta razón los Sistemas de Seguridad de Gestión Informática deberían estar implementados con estándares en cuanto a seguridad, integridad y confidencialidad. Para (Muñoz, 2015) un SGSI para una organización es el diseño, implantación, mantenimiento de un conjunto de procesos para gestionar eficientemente la accesibilidad de la información buscando asegurar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los activos de información, minimizando a la vez los riesgos de la seguridad de la información.

Las instituciones educativas suelen presentar problemáticas en lo relacionado a la seguridad de la información de los datos que a diario emplean, desde bases de datos información de sus alumnos, docentes y personal administrativo, en el intercambio de información que tienen que realizar entre centros u organismos educativos institucionales.

Dentro de la Universidad Técnica del Norte se usan los sistemas de gestión de información, siendo un activo fundamental la información la misma que necesita protección ante amenazas que afectan diariamente la disponibilidad e integridad de la organización así mismo poder evitar riesgos altos, daños operantes y económicos para la organización. Por lo antes mencionado se debe establecer procedimientos y controles de seguridad los cuales se obtienen del análisis de riesgos, establecer parámetros para poder identificar amenazas que afectan a los activos de la organización, además verificar vulnerabilidades y de esta manera determinar el impacto que tendrá en la institución las posibles amenazas encontradas.

Los problemas de seguridad informática alcanzan a todas las organizaciones que tienen alto volumen de información sea esta financiera o académica, ésta es la razón se vuelve blanco de posibles ataques. La seguridad informática se relaciona con procesos, procedimientos y metodologías que ayudan a salvaguardar los datos, estos procesos se van estructurando con el uso de normas, protocolos, estándares que servirán para minimizar riesgos en una infraestructura tecnológica.

El autor (Baca, 2016) define a la seguridad informática como: la disciplina que, con base en políticas y normas internas y externas de la empresa, se encarga de proteger la integridad y privacidad de la información que se encuentra almacenada en un sistema informático, contra cualquier tipo de amenazas, minimizando los riesgos tanto físicos como lógicos a los que se encuentra expuesta.

Según (Romo & Valarezo, 2012) la seguridad de la información está apoyada en 3 pilares fundamentales de la seguridad:

- Confidencialidad: Certifica que solo los usuarios con accesos autorizados puedan acceder a la información. La seguridad que se implementará debe asegurar que solo las personas que tengan acceso a la información fueron autorizadas. Una medida que mitiga este tipo de riesgo es la firma de contratos de confidencialidad o inclusión de este tipo de cláusulas en el contrato de servicio (Ministerio de Energía, 2017).
- Integridad: Hace referencia a que la información sea correcta y no se modifique, ni haya errores. La información puede ser corrompida y se puede basar decisiones en torno a la información, lo cual da la alteración malintencionada en los ficheros del sistema informático mediante la explotación de una vulnerabilidad (Hidalguense, 2011).
- Disponibilidad: Según (Chilán & Williams, 2017) la disponibilidad es cuando se asegura que los usuarios autorizados tienen el acceso debido a la información siendo la característica, cualidad o condición de la información de encontrarse a disposición de quienes deben acceder a ella, ya sean personas, procesos o aplicaciones.

La información es el núcleo dentro de una organización, como se aprecia en la figura 1, indica la relación que existe dentro de la misma, por ello es necesario mantener un nivel aceptable de protección para estos componentes y minimizar los riesgos a los que puede estar expuesta cualquier tipo de entidad.

2. Materiales y Métodos

2.1. Metodología Magerit V3

MAGERIT responde a lo que se denomina "Proceso de Gestión de los Riesgos", fue elaborada por el Consejo Superior de Administración de España, actualizada en 2012 su versión 3, brinda un método sistemático para analizar los riesgos del uso de las tecnologías de la información y la comunicación (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas de España, 2012), dicha metodología implementa el Proceso de Gestión de Riesgos dentro de un marco de trabajo para que los órganos de gobierno tomen decisiones, teniendo en cuenta los riesgos derivados del uso de tecnologías de la información (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas de España, 2012).

MAGERIT es la metodología más usada a nivel de Latinoamérica, el beneficio que presenta es que se encuentra disponible en idioma inglés y español, además utiliza la herramienta EAR que es comercial pero la herramienta PILAR BASIC es gratuita, misma que puede ser usada con licencias de prueba. MAGERIT se desarrolla para organizaciones públicas gubernamentales; el ciclo de vida de esta metodología empieza con la identificación de activos, amenazas lógicas y de entorno, establece frecuencias e impacto para poder identificar salvaguardas y gestionar el riesgo residual, dentro de la metodología se considera activos de información al hardware, software, información electrónica, personas, instalaciones, medios de soporte y elementos de comunicación de datos.

La metodología MAGERIT determina los valores de los activos considerando la dimensión de la disponibilidad, integridad, confidencialidad, trazabilidad y autenticidad, estableciendo escala de valoración en diferentes niveles: muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo y despreciable, en esta metodología se verifica el impacto determinando el valor de

los activos, este, acumulado se calcula mediante el valor del activo y las amenazas a las que afronta, y este impacto repercutido se considera el valor propio y las amenazas (MAGERIT, 2012) . Con respecto a lo establecido se escoge esta metodología por ser la más completa y evalúa todos los pilares de la seguridad informática, con la ayuda del software de complemento, como lo es el PILAR, se puede obtener fácilmente las gráficas de impactos y riesgos acumulados.

2.2. PILAR

PILAR, es un acrónimo de "Procedimiento Informático Lógico para el Análisis de Riesgos", es una herramienta desarrollada bajo especificación del Centro Nacional de Inteligencia para soportar el análisis de riesgos de sistemas de información siguiendo la metodología Magerit (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas de España, 2012).

La herramienta soporta todas las fases del método Magerit que son: caracterización de los activos (identificación, clasificación, dependencias y valoración), caracterización de las amenazas y evaluación de las salvaguardas. Además, la herramienta incorpora los inventarios del "Catálogo de Elementos" permitiendo una homogeneidad en los resultados del análisis, siendo: tipos de activos, dimensiones de valoración, criterios de valoración y catálogo de amenazas.

Una vez realizado el análisis con MAGERIT, se procedió a ingresar los datos en la herramienta PILAR, la misma que ayudó a evaluar la situación actual y de esta manera proponer soluciones eventuales en el departamento de DDTI de la Universidad Técnica del Norte.

2.3. ISO/IEC 27002:2017

Este es un estándar para la seguridad de la información creada por la Organización Internacional de Normalización y la Comisión Electrotecnia Internacional. La versión más reciente de la norma ISO/IEC 27002:2017, brinda diferentes recomendaciones de las mejores prácticas en la gestión de la seguridad de la información a quienes se interesen en iniciar, implementar o mantener sistemas de gestión de la seguridad de la información. Esta norma internacional establece directrices para la seguridad de la información en las organizaciones y las prácticas de gestión de seguridad de la información incluyendo la selección, la implantación y la gestión de los controles. Además, considera el entorno de los riesgos de seguridad de la información de la organización (INEN, 2017).

El valor de esta información se propaga por palabras escritas, números e imágenes, por ejemplo: el conocimiento, conceptos son formas intangibles de información. La información y sus procesos relacionados, los sistemas, las redes y el personal implicado en la operación y manejo de la información y protección son los activos que resultan valiosos para el negocio de las organizaciones y en consecuencia requieren protección contra diversos peligros. La seguridad de la información se consigue mediante la implantación de un conjunto adecuado de controles, lo que incluye políticas, procesos, estructuras organizativas y funciones de hardware y software. Estos controles se deben establecer, implementar, supervisar, revisar y mejorar cuando sea necesario para asegurar que se cumplan los objetivos específicos de seguridad y de negocio de la organización (INEN, 2017).

La norma ISO/IEC 27002:2017 consta de 14 capítulos de controles de seguridad que en conjunto proporcionan un total de 35 categorías principales y 114 controles.

2.4. Aplicación de Magerit y Pilar

La ejecución del proceso de evaluación docente está basado en la aplicación de varios instrumentos como la autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación para de esta manera obtener un diagnostico real de los datos evaluados (CEIDPA, 2018). El DDTI es el encargado de recopilar los datos que se obtengan mediante el sistema de evaluación docente y la información que se obtuvo mediante Magerit y PILAR permitió evaluar la situación en que se encontraba y de esta manera poder proponer soluciones eventuales en el Departamento de Desarrollo de Tecnologías Informáticas (DDTI) de la Universidad Técnica del Norte.

Identificación de Activos

Un activo es algo valioso o de utilidad para la organización, la finalidad de los activos es brindar protección para asegurar de alguna forma la operación del negocio y la continuidad del mismo. En la tabla 1 se muestra los activos identificados en el DDTI – UTN.

Tipo de activo	Activo
Datos y/o información	Bases de Datos de estudiantes y personal académico.
Software	Licencia GNU Oracle Linux 6 Licenciamiento Campus Agreement Microsoft Licencia perpetua Oracle 11g Database and Aplications Licenciamiento Adobe Creative Cloud MLP Ed Subscription Multi Latin American Languagues Licenciamiento Eset NOd 32 Antivirus Licencia ToolBook Licencia GNU Linux Centus Software libre licencia GNU para el Geoportal Licencia de ESRI Arcgis 10.1 Licencia GNU Dbspace para Repositorio Digital Licencia GNU Moodle para aula virtual
Equipamiento Informático (Hardware)	Servidores HP Blade System, equipos Informáticos PC, Laptop's, Call Manager, Gateway de voz, IVR (contestadora automática), Tape Backup, Switchs Core, Switchs de acceso, Cisco ASA, Firewall, Ipx, Router, Antenas y radio enlaces, Access point, Torres, Racks, Cableado estructurado
Redes de Comunicaciones	Red telefónica, Red de datos, Red inalámbrica, Internet
Soportes de Información	Nube Oracle Apex
Equipamiento Auxiliar	Ups, Fibra Óptica
Instalaciones	Departamento de DDTI – UTN
Personal	Miembros del Área de DDTI

Tabla 1 – Clasificación de Activos DDTI - UTN.

Valoración de activos

La valoración del activo se lo puede hacer de forma cuantitativa, es decir asignando una cantidad numérica, también es posible valorar el activo de forma cualitativa, es decir asignado niveles. En este caso de estudio la metodología empleada para la valoración fue la elaboración de una encuesta aplicada a los usuarios del sistema de evaluación docente, mediante la cual se diseñó un constructo aplicando Análisis Factorial Exploratorio AFE que permitió valorar los dominios objetivos y controles estipulados por la norma ISO/IEC 27002:2017, en sus componentes: Aspectos Organizativos, Control de Acceso y Cumplimiento. Posteriormente se validó el instrumento y la estructura factorial mediante Análisis Factorial Confirmatorio AFC, de manera que los datos de valoración que se emplearán en Magerit y Pilar estén dotados de validez y fiabilidad (Batista y Coenders, 2010).

La encuesta estuvo constituida de 10 preguntas de se diseñaron en base a la normativa para permitir valorar las puntuaciones que los usuarios del sistema les otorgaron a los componentes. La evaluación se conformó de 529 encuestas aplicadas a usuarios, docentes y personal administrativo que han utilizado el sistema de evaluación docente. Los resultados obtenidos fueron tratados y ejecutados las pruebas estadísticas empleando el lenguaje de programación R mediante RStudio. Inicialmente se verificó que no existan valores perdidos mediante la librería *mice*, además se obtuvieron las distancias de Mahalanobis para cada variable y mediante estas, en conjunto con los cuantiles de la distribución chi cuadrada para un *pvalue* de 0.999, se estableció un puntaje de corte de 29,5883, mediante el cual se detectaron y eliminaron 15 observaciones atípicas por lo que la base de datos con la que se trabajó estuvo conformada de 514 encuestas.

Como el AFE y AFC son técnicas estadísticas paramétricas, se verificó los supuestos para estas. Inicialmente para el supuesto de aditividad se obtuvo la matriz de correlación bivariada para todas las posibles combinaciones de preguntas, donde se observó que ninguna de las parejas de variables alcance una correlación perfecta en rango de 0,95 a 1, por lo que se alcanza el supuesto de aditividad.

Posteriormente para verificar los supuestos de linealidad, normalidad, homogeneidad y homocedasticidad se ejecutó un análisis de regresión lineal falsa basado en los residuos estandarizados obtenidos para los cuantiles $\chi^2\chi^2$. Los resultados obtenidos se resumen en la figura 1.

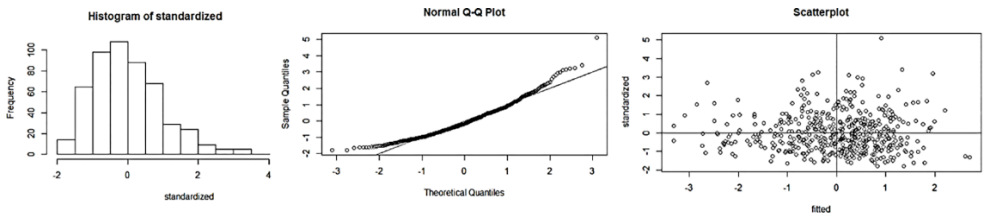


Figura 1 – Histograma, QQ Plot y Scatter Plot de los valores estandarizados obtenidos para los cuantiles $\chi^2\chi^2$

El supuesto de normalidad se verifica mediante la visualización del histograma para la regresión realizada a partir de los cuantiles, donde las frecuencias se distribuyeron con una tendencia normal centrada entre $-2-2$ a 22. De la misma manera el supuesto de linealidad se verifica ya que los cuantiles cumplen con una tendencia lineal creciente en el intervalo de $-2-2$ a 22. Finalmente los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad se verificaron mediante el criterio de esfericidad mediante un Scatter plot donde se visualiza homogeneidad de la distribución en los cuatro cuadrantes con ligeros problemas en el semiplano negativo pero en el intervalo de $-2-2$ a 22 se tienen resultados aceptables.

Para el diseño del AFE es necesario adicionalmente la verificación de los supuestos de suficiencia de correlación y suficiencia de muestreo (Pettersson & Turkheimer, 2010). Mediante el paquete psych se ejecutó el test de suficiencia de correlación de Bartlett obteniéndose un p-value de $2{,}72 \times 10^{-303}2{,}72 \times 10^{-303}$ mediante el cual se acepta suficiencia de correlación con un elevado nivel de significancia. Por su parte para demostrar la suficiencia de muestro se efectuó el test de Kaise-Meyer-Olkin KMO, en el que se obtuvo un índice de suficiencia factorial KMO de 0,84 por lo que se acepta este supuesto ya que presentó un nivel cercano a 1 y por encima de 0.7.

Para determinar el número de factores a emplearse se ejecutó un análisis paralelo y por medio de un Scre Plot se visualiza el punto de inflexión. En la figura 2 se muestran los resultados del análisis paralelo donde se pueden visualizar 2 puntos probables para 2 y 6 factores, por lo que un valor dentro de este intervalo puede ser seleccionado. En este estudio se emplearon 3 factores ya que coincide con los dominios a analizar.

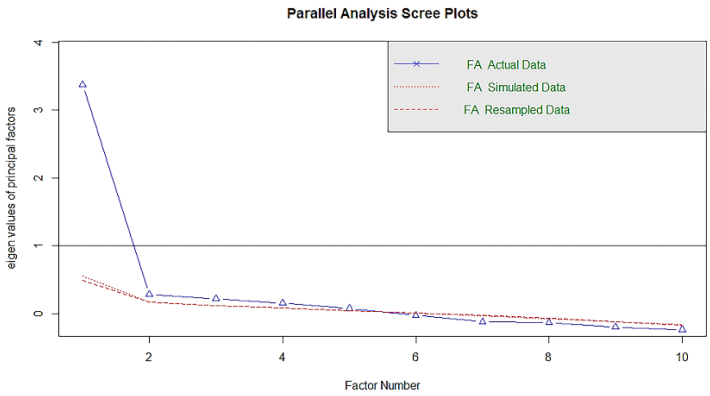


Figura 2 – Scree plot del análisis paralelo

Una vez seleccionado el número de factores a crear en la estructura factorial se ejecuta el AFE para 3 factores empleando un método de rotación factorial oblicuo mediante *oblimin* que permite a los factores ser correlacionados cuando son rotados y la estimación de ajuste matemático empleada es *ml* para emplear el criterio de máxima verosimilitud el cual es más apropiado en AFE.

Después de ejecutar varias pruebas experimentales y cotejando con el AFC se retiró la pregunta 2 (¿Considera usted que el sistema académico protege su información?) ya que saturaba a dos factores en más de 0,3 para las diferentes configuraciones empleadas, además la pregunta 9 (¿Considera usted que se debería implementar la política de obligatoriedad de cambio de contraseña cada cierto periodo de tiempo?) fue retirada debido a que no fue capaz de saturar a ningún factor en más de 0,3 en ninguna de las configuraciones. Los resultados para la estructura factorial sugerida por el AFE con sus saturaciones, comunalidades y singularidades, se muestran en la figura 3.

```
Standardized loadings (pattern matrix)
             ML3   ML2   ML1    h2    u2
pregunta1   0.40  0.00 -0.02 0.159 0.841
pregunta3   0.24  0.52  0.03 0.529 0.471
pregunta4   0.13 -0.21  0.20 0.062 0.938
pregunta5   0.00  0.01  1.00 0.995 0.005
pregunta6   0.73 -0.08  0.03 0.453 0.547
pregunta7   0.58  0.24 -0.03 0.609 0.391
pregunta8   0.50  0.12 -0.03 0.359 0.641
pregunta10 -0.01  0.93  0.00 0.858 0.142

                       ML3  ML2  ML1
SS loadings           1.54 1.45 1.04
Proportion Var        0.19 0.18 0.13
Cumulative Var        0.19 0.37 0.50
Proportion Explained  0.38 0.36 0.26
Cumulative Proportion 0.38 0.74 1.00
```

```
Standardized loadings
(pattern matrix)
             ML1   ML2   h2   u2
pregunta1   0.38  0.08 0.15 0.85
pregunta3   0.74 -0.03 0.55 0.45
pregunta4  -0.06  0.48 0.23 0.77
pregunta5   0.07  0.40 0.17 0.83
pregunta6   0.60  0.13 0.37 0.63
pregunta7   0.78  0.05 0.60 0.40
pregunta8   0.58  0.04 0.34 0.66
pregunta10  0.84 -0.09 0.72 0.28

                       ML1  ML2
SS loadings           2.71 0.42
Proportion Var        0.34 0.05
Cumulative Var        0.34 0.39
Proportion Explained  0.86 0.14
Cumulative Proportion 0.86 1.00
```

```
Standardized loadings (pattern matrix)
             ML1   ML2   h2   u2 com
pregunta1   0.03  0.36 0.15 0.85 1.0
pregunta3   0.55  0.22 0.53 0.47 1.3
pregunta6  -0.07  0.74 0.46 0.54 1.0
pregunta7   0.29  0.53 0.60 0.40 1.5
pregunta8   0.15  0.48 0.36 0.64 1.2
pregunta10  0.93 -0.02 0.85 0.15 1.0

                       ML1  ML2
SS loadings           1.51 1.45
Proportion Var        0.25 0.24
Cumulative Var        0.25 0.49
Proportion Explained  0.51 0.49
Cumulative Proportion 0.51 1.00
```

Figura 3 – Pruebas efectuadas para el diseño de la estructura factorial

Como se visualiza en la figura 4, inicialmente se ejecuta el AFE para 3 factores donde se determinó que las preguntas 1, 6, 7, 8 pueden pertenecer a un primer factor, mientras la 3 y la 10 a un segundo factor. Inicialmente se visualiza que las preguntas 4 y 5 pueden pertenecer a un tercer factor, sin embargo, la pregunta 4 no presenta una saturación superior a 0,3, por lo que se ejecutan dos pruebas más inicialmente para 2 factores donde las saturaciones de 4 y 5 si superan a 0,3 por lo que se puede considerar ubicarlas en un factor sin embargo existe incertidumbre en las preguntas 4 y 5 por lo que se someterá a análisis factorial confirmatorio. En todas las tres pruebas efectuadas se obtuvieron índices CFI (Comparative Fit Index) de 0.999, 0,973 y 0,994 respectivamente y índices de Tucker y Lewis de 0.98, 0,99 y 0,978 respectivamente por lo que se acepta la confiabilidad de factoreo del AFE. Adicionalmente se ejecuta una prueba de alfa de Cronbach para verificar la validez de los dos primeros factores obteniendo valores de 0,79 y 0,7 respectivamente por lo que entran en la categoría de aceptable.

Finalmente, mediante análisis factorial confirmatorio se valida la estructura factorial (Rosseel & Lavaan, 2012), donde se obtuvo una saturación insuficiente de la pregunta 5 por lo que se retiró de la estructura factorial. De esta manera se obtuvo que, las saturaciones superan en todos los casos a 0,3 y ningún factor está correlacionado. Además, el índice de Tucker y Lewis y el NNFI (Non Normed Fit Index) obtenidos son de 0,991 el cuál entra en la categoría de excelente >0,95, además el CFI fue de 0,995 ubicándose en la categoría de excelente y los índices RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) y SRMR (Standardized Root Mean Residual) alcanzaron valores de 0,030 y 0,021 lo cual demuestra la validez del constructo debido a que estos valores están por debajo de 0,05.

Una vez validado el instrumento los valores obtenidos a partir de la encuesta fueron empleados para efectuar la valoración de activos en el software pilar. La figura 4 muestra la valoración de activos efectuada estadísticamente en conjunto con los datos suministrados por el DDTI.

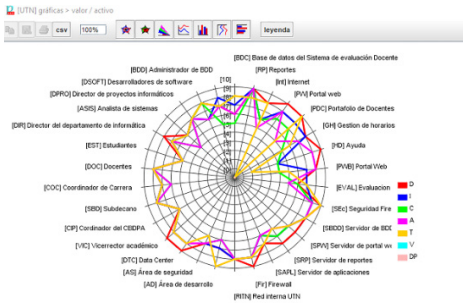


Figura 4 – Valoración de activos en PILAR

Identificación de amenazas

La identificación de amenazas consiste en identificar posibles amenazas que pueden afectar a cada uno de los activos anteriormente identificados. Para ello fue necesario revisar documentación acerca de políticas de seguridad del sistema a evaluar, por ejemplo, verificar si existen políticas para el acceso al sistema de evaluación docente. Una vez valorados los activos Pilar asocia a cada uno de los activos del sistema de evaluación docente, amenazas posibles para dicho activo. En la figura 5 se realiza la valoración de la frecuencia, se toma en cuenta dos factores importantes: probabilidad de ocurrencia, que es el registro de ocurrencia de una amenaza cuando se materializa una amenaza y porcentaje de degradación que es el daño que causó el incidente ocurrido (Fernandez & Daniel, 2016).

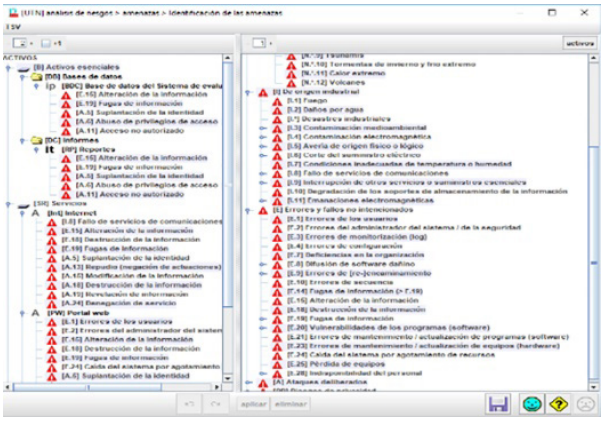
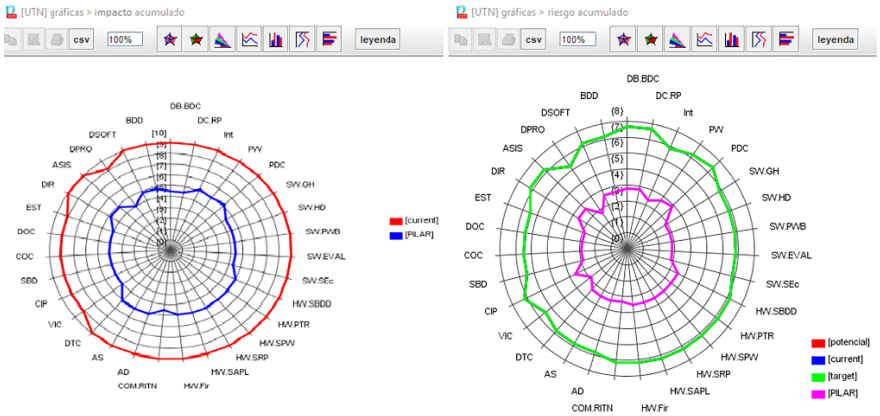


Figura 5 – Amenazas del sistema de evaluación docente.

Impacto

El impacto es el daño que se originó en los activos una vez que las amenazas se materializaron. Para la estimación de impacto se lo hace mediante los siguientes factores: la materialización de una amenaza puede afectar a todo un recurso informático o solo a una parte de este, la materialización de una amenaza puede afectar a partes claves de información o a partes independientes, una vez materializada la amenaza es temporal o permanente. Los impactos pueden traer consigo impactos cualitativos o cuantitativos, por ejemplo, pérdidas económicas, mala imagen de los clientes hacia la empresa entre muchas otras (Fernandez & Daniel, 2016). Dentro de PILAR se puede obtener el impacto acumulado para cada activo, amenaza y la dimensión de valoración, el resultado está descrito en función de la degradación y el valor acumulado; por lo tanto, mientras más grande sea la degradación, mayor será el impacto acumulado, y este permitirá identificar que salvaguardas se deben aplicar en la organización para mitigar los riesgos, como se muestra en la Figura 6.



(a) (b)

Figura 6 – Impacto (a) y Riesgo Acumulado del Sistema de Evaluación Docente (b)

Riesgo

La figura 6, literal (b), presenta la valoración de riesgos, que es un proceso que debe seguir la secuencia: identificación de activos, identificación de amenazas y la estimación de vulnerabilidades de amenazas sobre cada activo. Para la valoración de riesgos existen cuatro zonas: Bajo (0 a 3) indica que el riesgo es bajo; por lo tanto, no es necesario emplear salvaguardas adicionales, Medio (3 a 6), indica que el riesgo es medio; por lo tanto, se debe considerar la implementación de salvaguardas, Alto (6 a 9), indica que el riesgo es alto; por consiguiente, es obligatorio emplear salvaguardas para mitigar riesgos, Crítico (9 a 12), indica que el riesgo es crítico; por que es obligatorio emplear salvaguardas adicionales para minimizar el riesgo.

3. Resultados y Discusión

Una vez que se realizó el análisis mediante la metodología se procede a evaluar el cumplimiento d los controles del sistema de Evaluación Docente mediante la Norma ISO/IEC 27002:2017, donde se pudo evidenciar que se cumple un 53% de los controles de la norma ISO/IEC 27002:2017. Los ítems que el sistema cumplió a cabalidad acorde con la norma antes mencionada se detallan en la tabla 2.

Aspecto general	Objetivo de control	Control	Cumple
Políticas de seguridad de la información	Dirección de gestión de la seguridad de la información	Políticas de seguridad de la información	SI
		Revisión de las políticas para la seguridad de la información	NO
Organización de la seguridad informática	Organización interna	Roles y responsabilidades de seguridad de la información	NO
		Separación de funciones	SI
		Contacto con las autoridades	SI
		Contacto con los grupos de interés especial	NO
	Dispositivos móviles y teletrabajo	Política de dispositivos móviles	NO
Seguridad en recursos humanos	Antes del empleo	Investigación de antecedentes	SI
		Términos y condiciones de empleo	NO
	Durante el empleo	Responsabilidades de dirección	SI
		Conciencia, educación y formación en seguridad de la información.	NO
		Proceso disciplinario	NO
	Finalización o cambio de empleo	Responsabilidades ante la finalización o cambio de empleo	NO
Gestión de activos	Responsabilidad de los activos	Inventario de activos	SI
		Propiedad de activos	SI
		Uso adaptable de activos	SI
		Devolución de activos	SI
Control de acceso	Requisito de negocio para el control de acceso	Política de control de acceso	NO
		Acceso a redes y servicios de red	NO
	Gestión de acceso de los usuarios	Registro y retiro de usuario	SI
		Provisión de acceso a usuarios	NO
		Gestión de la información secreta de autentificación de los usuarios	NO
		Revisión de los derechos de acceso de usuario	NO
		Retiro y ajuste de los derechos de acceso	NO
	Responsabilidades del usuario	Uso de la información secreta de autentificación	NO
	Control de acceso a sistemas y aplicaciones	Procedimientos seguros de inicio de sesión	NO
		Sistema de gestión de contraseñas	NO
		Control de acceso al código fuente del programa	SI

Aspecto general	Objetivo de control	Control	Cumple
Criptografía	Controles criptográficos	Política de uso de los controles criptográficos	SI
		Gestión de llaves	NO
Seguridad física y del entorno	Áreas seguras	Perímetro de seguridad física	SI
		Controles físicos de entrada	SI
		Protección contra amenazas externas y ambientales.	NO
Seguridad física y del entorno	Equipos	Ubicación y protección de equipos	NO
		Instalaciones de suministro	NO
		Seguridad del cableado	SI
		Mantenimiento de los equipos	SI
Seguridad de las operaciones	Procedimientos y responsabilidades operacionales	Documentación de procedimientos de operación	SI
		Gestión de cambios	SI
		Gestión de capacidades	SI
		Separación de ambientes de desarrollo, pruebas y producción	SI
	Protección contra un malware	Controles contra un malware	SI
	Copias de seguridad	Copias de seguridad de la información	SI
	Registro y monitoreo	Registro de eventos	NO
		Protección de la información de registro	SI
	Control del software operacional	Instalación del software en los sistemas operativos	SI
	Gestión de la vulnerabilidad técnica	Gestión de las vulnerabilidades técnicas	NO
		Restricciones en la instalación del software	NO
	Consideraciones sobre la auditoria de sistemas de información	Controles de auditoria de sistemas de información	SI
Seguridad en las telecomunicaciones.	Gestión de la seguridad de redes	Controles de red	SI
		Seguridad de los servicios de red	SI
		Separación en las redes	SI
	Requisitos de seguridad de los sistemas de información	Análisis de requisitos y especificaciones de seguridad de la información.	SI
Adquisición. Desarrollo y mantenimiento del sistema	Seguridad en el desarrollo y en los procesos de soporte	Política de desarrollo seguro	SI
		Procedimientos de control de cambios en el sistema	SI
	Datos de prueba	Protección de datos de prueba	NO
Relaciones con proveedores	Gestión de la provisión de servicios del proveedor	Monitoreo y revisión de los servicios de proveedores	NO
		Gestión de cambios en los servicios de proveedores.	SI

Aspecto general	Objetivo de control	Control	Cumple
Gestión de incidentes de seguridad de la información	Gestión de los incidentes de seguridad de la información y mejoras	Responsabilidades y procedimientos	NO
		Informe de los eventos de seguridad de la información	NO
		Informe de debilidades de seguridad de la información	NO
		Respuesta a incidentes de seguridad de la información	SI
		Aprendizaje de los incidentes de seguridad de la información	NO
		Recopilación de evidencias	SI
Aspectos de seguridad de la información para la gestión de la continuidad del negocio.	Continuidad de seguridad de la información	Planificación de la continuidad de seguridad de la información	NO
	Redundancias	Disponibilidad de las instalaciones de procesamiento de la información	NO
Cumplimiento	Cumplimiento de los requisitos legales contractuales	Identificación de la legislación aplicable de los requisitos contractuales.	SI
		Derechos de propiedad intelectual	SI
		Protección de los registros	SI
		Protección y privacidad de la información de carácter personal	NO

Tabla 2 – Clasificación de Activos DDTI – UTN

4. Conclusiones

El factor que aumenta significativamente el nivel de riesgo de los activos de información es el escaso proceso que se aplica y adhiere al problema expuesto para evitar aquellas situaciones que pueden afectar la disponibilidad, integridad y confidencialidad de la información que se manipula. La aplicación del estándar ISO/IEC 27002:2017 es de suma importancia para la correcta evaluación de controles que garanticen la seguridad de la información del sistema de Evaluación docente de la UTN. La evaluación de riesgos del sistema de evaluación docente es indispensable para el departamento de informática de la Universidad Técnica del Norte, puesto que se considera a la información como un activo institucional. El uso de la Metodología MAGERIT permite realizar un análisis de riesgos mediante la identificación de activos del sistema de evaluación docente y fue de ayuda para identificar el estado actual de la seguridad de la información. La situación actual del sistema de evaluación docente evidencia un nivel considerable de cumplimiento de políticas de seguridad de información, tanto física como de gestión (51%), por lo que requiere de un compromiso de autoridades y docentes para un cumplimiento total de la normativa. De igual manera se requiere que en los departamentos de tecnología de las universidades cuenten con personal calificado que se encargue de la seguridad de la información de los ERP, pues al realizar un análisis de vulnerabilidades tres herramientas brindaron información exacta de los puntos críticos que se deben revisar para evitar estar expuestos a hackers informáticos.

Referencias

Baca, G. (2016). *Introducción a la Seguridad Informática*. Mexico: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V.

CEIDPA. (2018). *Evaluación integral del desempeño del personal académico de la UTN para el período septiembre 2018 - agosto 2019*. Ibarra.

Chilán, S. E., & Williams, P. P. (2017). Apuntes teóricos introducctorios sobre la seguridad de la información. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, 284–295.

Fernandez, A., & Daniel, G. (2016). Complex vs. simple asset modeling approaches for information security risk assessment: Evaluation with MAGERIT methodology. *Sixth International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH)* (págs. 542 - 549). Dublin, Ireland: IEEE Xplore.

Hidalguense, U. T. (2011). *Auditoria*. Mexico: UTHH.

INEN. (2017). *Norma INEN ISO/IEC 27002*. QUITO: INEN.

MAGERIT. (Octubre de 2012). *Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información*. Obtenido de https://administracionelectronica.gob.es/pae_Home/pae_Documentacion/pae_Metodolog/pae_Magerit.html#.XXgJlGa21PY.

Ministerio de Energía, T. y. (2017). *Protección de la Información*. Madrid: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital España.

Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas de España. (2012). *Magerit - version 3.0. Metodología de Analisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información*. Madrid: Ministerio de Hacienda y Administraciones Publicas de España.

Muñoz, M. (2015). *Guía de implantación de un SGSI basado en la norma UNE-ISO/IEC 27001*.

Pettersson, E., & Turkheimer, E. (2010). Item selection, evaluation, and simple structure in personality data. *Journal of research in personality, 44(4)*, 407–420.

Romo, V. D., & Valarezo, C. J. (2012). Análisis e implementación de la norma ISO 27002 para el departamento de sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Guayaquil.

Rosseel, Y., & Lavaan. (2012). An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software, 48(2)*, 1–36.

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

Recebido/Submission: 11/03/2019
Aceitação/Acceptance: 20/06/2019

A conceptual architecture for content analysis about abortion using the Twitter platform

Paolo R. Roldán-Robles[1], Ana C. Umaquinga-Criollo[1], Janneth A. García-Santillán[2], Israel D. Herrera-Granda[1], Iván D. García-Santillán[1]

prroldanr@utn.edu.ec, acumaquinga@utn.edu.ec, janneth.garcia@educacion.gob.ec, idherrera@utn.edu.ec, idgarcia@utn.edu.ec

[1] Faculty of Engineering in Applied Sciences, Universidad Técnica del Norte, 100105. Ibarra- Ecuador

[2] Unidad Educativa Juan Pablo II. Ibarra-Ecuador.

Pages: 363–374

Abstract: This paper presents a conceptual architecture for content analysis about the opinions expressed on Twitter about abortion. The architecture consisted of five stages: authentication, data collection, data cleaning & processing, modeling & analysis, and presentation of results. In the data collection, a simple size of tweets sent from Ecuador was taken in 2018. All tweets that were not related to the topic were eliminated. In the modeling, it was separated into two categories for and against abortion, where the Naive Bayes and decision tree classifiers were used. Finally, the results were presented in the form of statistical graphs, word clouds and heat maps. During the development, the Google maps platform was also used, where the scripts were made in Python using the Integrated Development Environment (IDE) Spyder (Python 3.6), which is part of the Anaconda platform. The results obtained showed, on average, a majority position against abortion in Ecuador.

Keywords*:* Data mining; content analysis; abortion; social networks; Twitter

1. Introduction

The advancement of technology and the exponential growth in the volume of structured, unstructured, and semi-structured data is increasingly evident (Umaquinga C., Peluffo O, Alvarado P., & Cabrera V., 2016). This has led not only to far-reaching changes in the area of technology, but also in the way all of humanity communicates (González-Lizárraga, Becerra-Traver, & Yanez-Díaz, 2016), (Baviera, 2016). The cyber communication (Arab & Díaz, 2015), the publication of information on social networks, including Twitter, has become an input or material for study and analysis in various areas of science. Such as: text mining, natural processing language, automatic learning, polarity dictionaries based on the semantic field, behavioral patterns and inflection points in opinion currents, among others (Baviera, 2016). This has allowed to the scientific, business, academic and political communities to evaluate a current of opinion on a specific topic (Baviera, 2016) (González-Lizárraga et al., 2016).

With the data provided by social networks, electoral processes have been analyzed predicting the results (Roldán-Robles, 2017), and reactions in the political spheres in Venezuela (Niklander, 2017). Likewise, the extraction of knowledge in social networks is used in other areas, such as the analysis of images associated with the tweet (Baecchi, Claudio; Uricchio, Tiberio; Bertini, Marco; Bimbo, 2015). For example, the analysis of reactions that can cause social issues ranging from the positive end of Valentine's Day to the negative end such as the war in Syria, presenting them in emotional graphs (Perikos, Isidoros; Hatzilygeroudis, 2018); analysis of feelings in people's opinions on a specific issue (Inbal Yahav; Shehory, Onn; Schwartz, 2015); identifying opinion leaders (Yang, Li; Tian, Yaping; Li, Jin; Ma, Jianfeng; Zhang, 2017); as well as aspects or steps to classify frauds written in the form of alt-facts such as intentionally disseminating false information on medical issues in Indonesia (Purnomo, Mauridhi Hery; Sumpeno, Surya; Setiawan, Esther Irawati; Diana Purwitasaria, 2017).

One of the issues of global health interest is abortion or Voluntary Interruption of Pregnancy (VTP). In Spain, the number of voluntary interruptions of pregnancy stood at 108690 cases, representing a rate of 11.74 abortions per 1000 women aged 15 to 44 (Montserrat Femenía, 2016), while in Ecuador between 2004 and 2014 a total of 431614 abortions were reported (Ortíz, 2017).

This research aims to know the public opinion about Abortion in Ecuador, based on the analysis of the contents of tweets sent from Ecuador using the Twitter platform. This contributes to have a more objective idea about the positions and beliefs of Ecuadorian citizens, contributing to decision making regarding public health policy. And, considering that the Ecuadorian National Assembly is currently discussing the decriminalization of abortion due to rape for all women in Ecuador.

The manuscript is organized as follows: In section 2, the phases applied in this study are presented: (i) Authentication, (ii) data collection, (iii) data cleaning and processing, (iv) modeling and analysis, and (v) presentation of results. Section 3 indicates the results obtained, including the frequency of hashtags for and against abortion, as well as the comparative study between the decision tree and Naive Bayes classifiers. In section 4, the discussion of results is carried out comparing with some existing works. Finally, section 5 presents the main conclusions and future work.

2. Materials and methods

Under the general criteria of the process of knowledge discovery in databases (KDD) (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996) (Timarán Pereira, Hernández Arteaga, Caicedo Zambrano, Hidalgo Troya, & Alvarado Pérez, 2016), the concept of conceptual architecture containing five phases has been adapted in the present research, as shown in Figure 1:

- ***Phase 1 Authentication:*** A Twitter application with developer permissions in https://developer.twitter.com was created using the Spyder Python 3.6 IDE of the Anaconda 3-4.3.0.1 platform and the tweepy library was installed. Using the OAuth authentication method, communication was made between tweepy

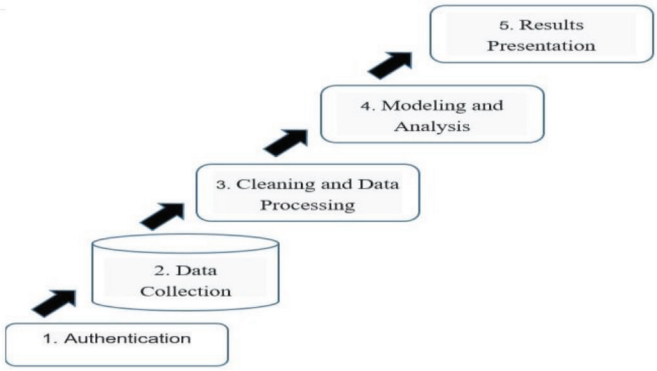


Figure 1 – Conceptual architecture for content analysis on Twitter. Adapted from (Roldán-Robles, 2017)

and Twitter, being necessary to pass four tokens provided by Twitter, after accepting the privacy policies.

- ***Phase 2 Data Collection:***

  Collection Dates: August 16th to September 29th, 2018.

  Criterion: The total sample size is limited under the criterion of identifying tweets sent from Ecuador (containing 24 provinces) with specific hashtags and user accounts specialized in the topic of Abortion.

  Using the Streaming API of Twitter, a massive download of tweets filtered by keywords or usernames was carried out. To limit the territory or country, the location filter of the stream library obtained from (KlokanTech., 2017), is used, as indicated by (Sogo, 2016). A JSON file of 1721287 KB in size was obtained, containing 344149 records or tweets. Table 1 presents the algorithm used for data collection.

Algorithm: Phase 2 Data collection
1. **Authenticate** the application on the Twitter platform 2. **Enter** your passwords. 3. **Make** the request to download tweets, including the filtering criteria of the sample. 4. **Generate** or open the pickup file. 5. **Store** the data in the specified file.

Table 1 – Phase 2, algorithm for data collection

- ***Phase 3 Data Cleaning and Processing****:* The hashtag_frecuency.py script is executed, the operation of which is detailed in the algorithm represented in Table 2:

Algorithm: Phase 3, Functioning of the hashtag_frecuency.py script
1. **Import** the JSON file 2. **For** each file line **do:** **Extract** the hashtag element from the entities variable of the tweet object **If** the hashtag element is not in the hashtag dictionary, then: **Save** the element in the hashtag dictionary and initialize its frequency to zero. else **Increase** frequency by one.

Table 2 – Script hashtag_frecuency.py

From the file received, the hashtags that are not related to the topic of abortion such as: greetings, proper names and mentions to sports clubs or social events are removed. The resulting information was processed under two categories:

- In favor of abortion (Abortion+)
- Against abortion (Abortion-)

The processing was done manually, with proper investigation of the origin of each hashtag and its use. Because of their complexity, since there are no specific rules for the creation of hashtags, some of them do not only contain correct words within languages, but also invented words, word mixtures, words united with different connectors, words with numbers such as abbreviations of dates alluding to nearby events or important reminders from the collectives for and against abortion.

In some phases of the tweet analysis, additional cleaning actions were carried out as described in Table 3:

Phase	**Aspects to be discarded**
• Generation of heat maps	Tweets that do not contain location data
• Extraction of the most influential users	The users who do not mention other users are considered, if the user does not mention another account, the user is not interested in exerting influence on another
• Extraction of hashtags	The tweets that did not contain hashtags

Table 3 – Tweet analysis phase

- ***Phase 4 Modeling and analysis:*** The model consists of two categories: opinions for and against abortion, with the following particularities analyzed:

  Hashtag frequency: The top five of the most used hashtags is obtained from the file obtained when using the hashtag_frecuency.py script filtered in the cleaning phase described in Table 2.

  User mentions: The wordcloud library is used in a Python script applying to the collected file to obtain the word cloud of influential users, which is done based on the screen_name attribute of the user object.

Percentages for and against: The decision tree and Naive Bayes classifiers are used. For the training of these two algorithms, the same information was used: a number of ten (10) hashtags in favor and the same amount against, which represent 30% of the most relevant according to the frequency of appearance. The next decision in this part of the process was made by exploring the sample file texts located within the text attribute of the tweet object. In this part of the training the most common texts for and against abortion should be put, at the end it is defined to use seven (7) texts for and seven against.

Statistical graphs: They are generated from Python using pyplotlib matplotlib library version 1.4.3.

- **Analysis of feelings:**

  Working with **Decision Tree** allows you to manage not only the hashtag but also the content of the tweet and combine them. Numerical data is assigned to the hashtags as well as to the sentences for and against, establishing the conditions to obtain the results in the output matrix shown in Table 4:

Hashtag	Phrase	Trend brand
• Against	Against	Against
• Against	In favor	In favor
• Against	Neutral	Against.
• Against	Without hashtag or neutral	Against
• In favor	In favor	In favor
• In favor	Against	Against
• In favor	Neutral	In favor
• In favor	Without hashtag or neutral	In favor
• Neutral	Neutral	Ignored or not taken into account

* Against: Against abortion * In favor: in favor of abortion

Table 4 – Hashtag analysis and trend marking

In the case of Naive Bayes, the antispam.py script from (García Serrano, 2012), was taken as a reference, TextBlob textblob.classifiers was also installed, and NaiveBayesClassifier was imported. The data for the training were not numerical, so it is necessary to give the classifier the learning keys, using a matrix that receives the data. Each of the data of the matrix has two parameters: hashtag or phrase, and the second the polarity, being: (i) the position in favor is named **pos** and (ii) the position against is named **neg**.

- **Location:** Tweets that have the geo_enable attribute of the user object enabled are taken as active, while tweets that have been disabled are labeled as missing.

OpenStreetMap's Nominatim service was used in the geopy library version 1.11.0, which offers the same functionalities as Google Maps APIS for free. In the get_user_location class of the sample analysis script, the call to Nominatim is made, obtaining the coordinates corresponding to the locations where the tweets were generated. These locations go through the process of conversion to coordinates to be included in the graph of the map within the HTML file.

- ***Phase 5 of Conceptual Architecture:*** Table 5 describes the algorithm applied to define the polarity:

Algorithm: Phase 5: Conceptual Architecture

1. **Import** the JSON file
2. **Extract** the contents of the file
  For each file line do:
  Go through the classifier
  Extract the polarity from the tweet
3. **Place** the tweet in the corresponding group.
4. **For** each group calculate the percentage of tweets

Table 5 – Algorithm to determine the polarity

The results of the research are presented below.

3. Results

Among the main results are the following:

- The top five of the most used hashtags with reference to abortion can be found in Table 6:

	Hashtags	Number of mentions	Against (Abortion-)	For (Abortion+)
1.	#salvemoslas2vidas	12480	X	
2.	#abortolegalya	9467		X
3.	#sialavida	5270	X	
4.	#28s	4102		X
5.	#noalaborto	3306	X	

Table 6 – Frequency of hashtags and number of top five mentions.

The hashtag #28s was created in allusion to September 28, an emblematic day for the cause that defends abortion. Since the V Latin American and Caribbean Feminist Encounter of 1990 held in Argentina (Campaña, 2015), and September 28, 1871 promulgated in Brazil ("Universia.net," 2010), the law of freedom of the wombs was promulgated where the children who were born of slaves were declared free. The Table 7 presents the results of the positions for and against abortion using the classifiers: Decision tree and Naive Bayes. In addition, from the average between the two, it is evident that both differ in

a few percentage points, however, the same overall result is obtained. That is to say, the position against abortion surpasses the position in favor of abortion, by an average of 14.7%.

	Applied Algorithm	For (Abortion+)	Against (Abortion-)
1.	**Decision tree**	40.7%	59.3%
2.	**Naive Bayes**	44.6%	55.4%
	Total average	42,65%	57,35%

Table 7 – Results of the analysis of feelings for each algorithm applied

The Table 8 below presents the comparison of the classifiers to check the existence of the influence of the learning keys within the training stage, which is implicitly included in the phase 4 (modeling and analysis).

The performance on the classifiers for decision trees is 97.9% and for Naive Bayes it is 79.1%. The decision tree was 18.8% more accurate than Naïve Bayes. Tables 7 and 8 complete the first analysis of the conceptual architecture in phase 5, showing the results obtained from Python with the use of the Naive Bayes algorithm and with the Decision Trees for the positions in favor of abortion and against abortion.

Classifier	TP Rate	FP Rate	Accuracy	Recall	F1 score	ROC Area
Decision tree	1	0,021	0.979	0.989	0.989	0,989
Naive Bayes	1	0,4	0,791	0,8	0,791	0,81
*True Positives (TP)				*False Positives (FP)		
*Receiver Operating Characteristic (ROC)						

Table 8 – Results of the specific evaluation metrics for the classifiers (weighted average)

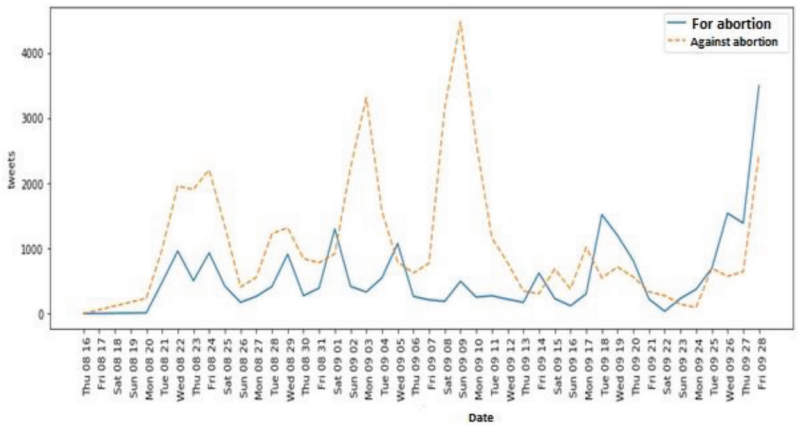


Figure 2 – Timeline Tweets Frequency of Pro-Abortion and Anti-Abortion Tweets

It is evident that against-abortion tweets are mostly larger than pro-abortion tweets with the following exceptions: starting September 17, and their notable peaks are found on August 24, September 3, and the highest peak was found on September 9. The pro position begins to rise at the end of the sample. That is to say, as it approaches September 28 and presents a tendency to grow on the highest peak of the position against September 9 of 2018. It is believed that it was, a massive response in networks. Subsequently, On August 8 of 2018 the legality of abortion is denied in the Senate of Argentina, this issue had repercussions in Latin America including Ecuador. As well as the 28th of September where abortion was supported; #28s alludes this atypical value to the commemorative date, as shown in Figure 2.

The heat maps of the General Abortion in Ecuador, represent in red the classification against abortion and in blue in favor of abortion, as represented in Figure 3. Note that red points (against abortion) appear in smaller amounts than blue ones (pro-abortion), in contrast to Table 7, because many of these tweets have not defined their location.

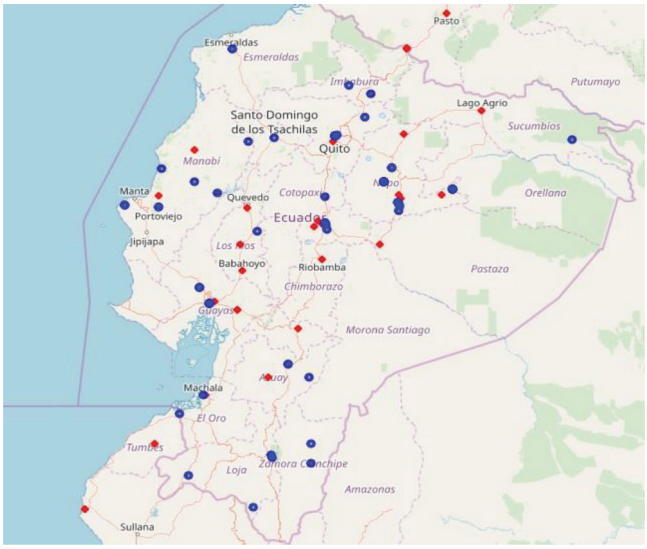


Figure 3 – Heat map of pro-abortion comments in blue, against-abortion in red.

The Figure 4 presents the word cloud over the accounts of users who posted the most, users who received the most retweets, and/or who were mentioned the most from other accounts. This result allows us to observe the influence of these users within the data taken in the sample.

The "*Salvemoslas2vidas*" account with a tendency against abortion ranks first, followed by the "*abortolegalya"* account in the second box and with a tendency in favor of abortion; "*porlavida2014*" ranks third, "*sialavida"* ranks fourth, these last two organizations are against abortion. Finally, "*28s*", which is a pro-abortion account is in the fifth box, closing the top five most influential users or accounts.

Figure 4 – Cloud of Words from Most Influential Users or Accounts

The figure 5 presents the use of hashtags in a cloud of commonly used words:

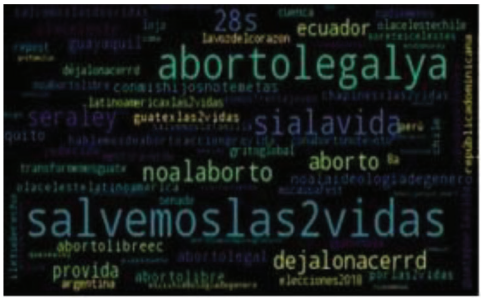


Figure 5 – Cloud of most-used hashtags words

4. Discussion

The results of this study are consistent with that presented by (Vila, Dayana; Cisneros, Saúl; Granda, Pedro; Ortega, Cosme; Posso-Yepez, Miguel; García-Santillan, 2019) where the decision tree (97.9%) surpassed the Naive Bayes classifier in accuracy (79.1%), contributing a reliable reference point.

Similarly, there is evidence of the appearance of additional information with importance and consistency about this social impact: both in the clouds of words of hashtags more used and more influential users, as in those of causes that can be considered related to trends. An example of this is the hashtag #niunamenos that promotes the eradication of femicide, or any abuse of women, which is presented considerably in the study sample, because by promoting that abortion is a right proper to each woman, this organization is in favor of abortion. On the other hand, the hashtag #conmishijosnotemetas and the account of the same name support a cause that largely rejects the teaching of gender ideology and other related currents as offensive to people's morals. It also appears notoriously in the sample, this institution considers abortion as a murder, that organization has a tendency against abortion.

It is evident that if concrete studies on femicide and gender ideology based on (Niklander, 2017) are required, the use of hashtags #niunamenos and #conmishijosnotemetas, respectively, should be considered; whereas, for other studies on the subject of abortion, the specific hashtags suggested are: #salvemoslasdosvidas and #abortolegalya, because that were the most frequently used in this study.

The main limitation in achieving a greater impact in this research is that for most of the tweets it was not possible to establish their specific location, which limited the obtaining of geographical heat maps.

5. Conclusions

- Abortion as the chosen theme for the development of Conceptual Architecture is the main contribution of this research, as it is one of the most commented on in current times, in society in general, as well as by Twitter users in particular, where what is expressed in Ecuador, supported by the 97.9% precision of the decision tree (Table 8), represents 40.7% in favor of abortion and 59.3% against abortion (Table 7). This classifier surpassed that of Naive Bayes which yielded 79.1% accuracy.
- Content analysis was obtained by evaluating hashtags with their polarization, and in a general way, sentiment analysis was obtained by using classifiers to define the polarity of the tweet text content. The results are very similar, this is because the text of the tweets is usually very related to the hashtags used in them, except in some cases where the hashtag is used to show opposition within the text.
- By obtaining messages and positions on abortion, summarizing 42.65% in favor and 57.35% against on average (Table 7), it was possible to see how a conceptual architecture allows an analysis of opinions about abortion using the Twitter platform.
- According to the information shown in the geographic heat maps (Figure 3), in the mountain region there is a greater activity in Twitter, although it is important to indicate that, in most of the tweets of the sample, the field “location”, was not active. Therefore, the locations presented in the heat maps do not reflect the total number of tweets in the sample.
- As future work, it is recommended to carry out research on the same subject, in a sample taken in 2019 or in subsequent years, in order to make a comparison with this work and thus determine if the percentages have changed or if new trends are set. In addition, new social networks such as Facebook and Instagram should be considered.

References

Arab, L. E., & Díaz, G. A. (2015). Impacto de las redes sociales e internet en la adolescencia: aspectos positivos y negativos. *Revista Médica Clínica Las Condes*, *26*(1), 7–13. https://doi.org/10.1016/J.RMCLC.2014.12.001

Baecchi, Claudio; Uricchio, Tiberio; Bertini, Marco; Bimbo, A. Del. (2015). A multimodal feature learning approach for sentiment analysis of social network multimedia. *Multimed Tools Appl (2016)*, 19. https://doi.org/10.1007/s11042-015-2646-x

Baviera, T. (2016). Técnicas para el análisis del sentimiento en Twitter : Aprendizaje Automático Supervisado y SentiStrength. *Revista Dígitos 1.3*, *1*(3), 33–50.

Campaña. (2015). Campaña Nacional por el Derecho al Aborto Legal Seguro y Gratuito. Retrieved June 29, 2019, from http://www.abortolegal.com.ar/1990-28-de-septiembre-de-2015-25-anos-declaracion-de-san-bernardo/

Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*, *17*(3), 37–37. https://doi.org/10.1609/AIMAG.V17I3.1230

García Serrano, A. (2012). *INTELIGENCIA ARTIFICIAL Fundamentos, práctica y aplicaciones* (2da Edició). Retrieved from www.rclibros.es/pdf/InteligenciaArtificial.pdf

González-Lizárraga, M. G., Becerra-Traver, M. T., & Yanez-Díaz, M. B. (2016). Cyberactivism: A new form of participation for University Students. *Comunicar*, *24*(46), 47–54. https://doi.org/10.3916/C46-2016-05

Inbal Yahav; Shehory, Onn; Schwartz, and D. (2015). *Comments Mining With TF-IDF: The Inherent Bias and Its Removal*. 14. https://doi.org/10.1109/TKDE.2018.2840127

KlokanTech. (2017). BoundingBox. Retrieved August 12, 2018, from https://boundingbox.klokantech.com/

Montserrat Femenía, A. I. (2016). *El aborto provocado en relación a la temática de la feminidad desde una perspectiva psicoanalítica*. 341.

Niklander, S. (2017). *Content Analysis on Social Networks: Exploring the #Maduro Hashtag*. 5. https://doi.org/10.1109/ICCNI.2017.8123803

Ortíz, E. (2017). Redacción Médica. Retrieved June 29, 2019, from https://www.redaccionmedica.ec/secciones/salud-publica/el-85-de-los-abortos-registrados-en-el-ecuador-son-de-causas-desconocidas-90319

Perikos, Isidoros; Hatzilygeroudis, I. (2018). *A Framework for Analyzing Big Social Data and Modelling Emotions in Social Media*. 5. https://doi.org/10.1109/BigDataService.2018.00020

Purnomo, Mauridhi Hery; Sumpeno, Surya; Setiawan, Esther Irawati; Diana Purwitasaria, C. (2017). *Biomedical Engineering Research in the Social Network Analysis Era:* 7. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.10.049

Roldán-Robles, C. (2017). *ANÁLISIS DE CONTENIDOS DE TWITTER CASO DE ESTUDIO: ELECCIONES PRIMARIAS DEL PSOE 2017*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

Sogo, J. G. (2016). Lingẅars. Retrieved February 10, 2019, from http://lingwars.github.io/blog/twitter-stream.html

Timarán Pereira, S. R., Hernández Arteaga, I., Caicedo Zambrano, S. J., Hidalgo Troya, A., & Alvarado Pérez, J. C. (2016). *Descubrimiento de patrones de desempeño académico con árboles de decisión en las competencias genéricas de la formación profesional*. https://doi.org/10.16925/9789587600490

Umaquinga C., A. C., Peluffo O, D. H., Alvarado P., J. C., & Cabrera V., M. A. (2016). Estudio descriptivo de técnicas aplicadas en herramientas Open Source y comerciales para visualización de información de Big Data. In UTN (Ed.), *Libro Generando Ciencia: Memorias de las I Jornadas Internacionales de Investigación Científica* (pp. 121–135). UTN.

Universia.net. (2010). Retrieved June 29, 2019, from https://noticias.universia.net.co/en-portada/noticia/2010/09/28/504219/promulga-ley-vientre-libre-brasil.html

Vila, Dayana; Cisneros, Saúl; Granda, Pedro; Ortega, Cosme; Posso-Yepez, Miguel; García-Santillan, I. (2019). Detection of Desertion Patterns in University. *Springer Nature Switzerland AG 2019*, 10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05532-5_31

Yang, Li; Tian, Yaping; Li, Jin; Ma, Jianfeng; Zhang, J. (2017). Identifying opinion leaders in social networks with topic limitationNo Title. *Cluster Comput*, 11. https://doi.org/10.1007/s10586-017-0732-8

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

Recebido/Submission: 22/04/2019
Aceitação/Acceptance: 30/07/2019

Factores de éxito para sistemas recomendadores de procesos de investigación

Moya Caisa Julio Danilo[1], Tapia Vega Liliana Carolina[2], Albán Taípe Mayra Susana[3], Rodríguez Bárcenas Gustavo[4], Alban Franklin Vinicio[5]

julio.moya4748@utc.edu.ec, liliana.tapia1@utc.edu.ec, mayra.alban@utc.edu.ec, gustavo.rodriguez@utc.edu.ec, vinicio.alban@utc.edu.ec

[1] Universidad Técnica de Cotopaxi, 050150, Latacunga, Ecuador.

Pages: 375–385

Resumen: Luego de haber recopilado datos a partir de una encuesta a 70 docentes investigadores de una universidad pública en Ecuador, se ha identificado la necesidad que tienen determinados sujetos por realizar grupos de colaboración investigativa basados en características equivalentes. El presente trabajo se enfoca en determinar factores de éxito para el desarrollo de sistemas recomendadores para procesos de investigación. Para el desarrollo de la investigación se aplicó una encuesta cuyo objetivo fue conocer el punto de vista de los investigadores sobre el uso de este tipo de sistemas. Como resultado del proceso experimental se obtuvieron 4 variables estadísticamente significativas, mediante la aplicación de redes neuronales se determina el nivel de predicción de éxito de las variables con un resultado del 99.69%, se concluye que las variables identificadas podrían ser consideradas como requerimientos de usuario funcionales con alta probabilidad de éxito.

Palabras-clave: Factores de éxito; sistema recomendador; redes neuronales; requerimiento de usuario.

Success factors for research process recommendation systems

Abstract: Having collected data from a survey of 70 research professors at a public university in Ecuador, the need for certain subjects to conduct research collaborative groups based on equivalent characteristics has been identified. This paper focuses on determining success factors for the development of recommended systems for research processes. For the development of the investigation, a survey was applied whose objective was to know the researchers' point of view on the use of this type of systems. As a result of the experimental process, 4 statistically significant variables were obtained, by means of the application of neural networks the level of prediction of success of the variables is determined with a result of 99.69%, it is concluded that the identified variables could be considered as functional user requirements with high probability of success.

Keywords*:* Success factors; recommender system; neural networks; user requirement.

1. Introducción

Con la aparición de la web 3.0 y el desarrollo de la inteligencia artificial han surgido varias aplicaciones que permiten el incremento del uso de la tecnología, la automatización de procesos, la conformación de redes de investigación multidisciplinaria, los sistemas recomendadores, entre otros. Los sistemas recomendadores cumplen un rol importante a la hora de brindar sugerencias de distintas áreas del conocimiento relacionadas con la ciencia, educación, negocios, etc.

Algoritmos de inteligencia artificial fusionados en procesos de ingeniería de software llevan décadas de uso, como resultado se obtienen sistemas de recomendación que en la actualidad han empezado a entrar en auge (Franganillo, 2018), como ejemplo se puede mencionar Amazon para sugerir sus productos, sugerencia de amigos en Facebook, películas en caso de Netflix, publicidad personalizada con base en el historial de búsqueda en Google, y en del mundo científico académico la sugerencia de investigadores con base en su perfil, como es el caso de Research Gate.

Sin embargo, aun cuando los sistemas recomendadores puestos como ejemplo son en cierta manera gratuitos, para desarrollar un sistema exitoso para este propósito se requiere de un análisis de requerimientos específicos propios del contexto en cual va a ser utilizado, los cuales en muchas ocasiones se convierten en proceso complejos de realizar desde el área de conocimiento, los factores económicos disponibles y el entorno de aplicación (Del Pino, Salazar, & Cedeño, 2011).

Según Drake (2018) para que un sistema recomendador tenga éxito es necesario tomar considerar varios aspectos como la usabilidad del sistema y las funcionalidades del mismo, pero para determinar este último es necesario realizar un exhaustivo análisis de requerimientos del usuario, siendo esta la parte fundamental del sistema, debido a que de ignorar estos requerimientos, el sistema tendrá altas posibilidades de fracasar.

Por otro lado, para el desarrollo de sistemas recomendadores de investigación Enrique y Foliaco (2014) menciona en su trabajo que previo a la construcción de un sistema recomendador se debe considerar aspectos como el análisis del contexto, rastreo bibliográfico y del autor (F. O. Botello, 2013). También, menciona el autor que se puede utilizar el análisis exploratorio para la determinación de criterios que comúnmente utilizan los usuarios para la búsqueda que desean realizar.

Por tal razón, se considera importante determinar factores de éxito para el desarrollo de sistemas que permitan realizar sugerencias en la conformación de grupos de investigación multidisciplinarios y a través de algoritmos de machine learning predecir el nivel de influencia positiva o negativa de estos factores identificados como objetivo principal de la investigación.

El documento se encuentra organizado de la siguiente manera, en el numeral 2 se encuentra la revisión de la literatura. El numeral 3 presenta el método de desarrollo del proceso experimental, el numeral 4 muestra los resultados y finalmente se presenta las conclusiones del trabajo de investigación.

2. Revisión de la Literatura

Uno de los temas más relevantes dentro del ámbito educativo y social es la investigación en términos generales, ya que es el punto de partida que conlleva a crear y generar temas de interés para la sociedad, mismos que se enfocan en mostrar diferentes problemáticas y a la vez dar soluciones que en muchos casos marcan la diferencia y se convierten en puntos de partida hacia nuevas mejoras en los ámbitos a los que estén enfocados. Castillo (2019) muestra un análisis del porcentaje de investigaciones que se realizaron en el ámbito de educación por parte de algunas de las principales universidades ecuatorianas. En el Ecuador, en los últimos años se han venido implementando diferentes tipos de programas dirigidos a mejorar los procesos de investigación y producción científica, mediante la construcción de políticas públicas orientadas a fortalecer los academia y la investigación. Rivera, Espinosa y Valdés (2017) señalan se pudo conocer como las universidades han ido creciendo dentro del ámbito investigativo, logrando obtener lugares importantes a nivel latinoamericano y siendo reconocidos por revistas internacionales.

Por otro lado, con base en el crecimiento del desarrollo de la investigación, también se requiere de sistemas que permitan dar a conocer al mundo los resultados de los procesos investigativos presentados a través de artículos científicos, publicaciones de libros, entre otros. También, es importante establecer mecanismos y estrategias que permita que los investigadores puedan compartir información relevante a través de redes de investigación multidisciplinaria (Rivera et al., 2017).

Desde el punto de vista de la ingeniería de software, los requerimientos de usuario son la parte más importante a tener en cuenta antes de desarrollar un sistema de recomendación, gran parte de los problemas que se presentan en el desarrollo de sistemas se debe a que inicialmente no se realiza un análisis detenido de estos requerimientos (Huebe, 2005).

Los requerimientos de usuario son muy importantes para el éxito de un sistema de la información, esta etapa de la ingeniería de software permite una dinámica de la obtención de los requerimientos de usuario que cambia constantemente dependiendo del sistema que se pretende desarrollar. Es por ello, que se propone determinar estos requerimientos de usuario, de manera que cada factor de éxito se convertirá a futuro en un requerimiento de usuario.

Por otro lado, a largo de los años han surgido una serie de avances dentro del tema de inteligencia artificial los cuales han dado paso a la construcción de varios sistemas informáticos. El uso de estos algoritmos han permitido crear sistemas capaces de clasificar información por patrones de comportamiento, tal es el caso de Facebook o YouTube.

Los sistemas recomendadores han tenido múltiples aplicaciones desde la aparición del primer sistema de recomendación por excelencia el cual es Google, mediante el uso de la inteligencia artificial y la minería de datos cada vez han ido ganando más popularidad, apareciendo un sin fin de aplicaciones. Ruiz, Jiménez y Gómez (2010) crearon un sistema recomendador para la aplicación en repositorios de objetos de aprendizaje, que actualmente está siendo usado en la universidad Compútense de Madrid, para ofrecer recomendaciones de ejercicios resueltos y no resueltos a los estudiantes. Vera y Ulloa (2018) realizaron el diseño y desarrollo de un sistema recomendador de contenidos

accesibles basados en perfiles de usuarios, para ambientes virtuales y objetos de aprendizaje a partir de metadatos de accesibilidad haciendo uso de ontologías.

Dentro del área social-educativo también existen sistema recomendadores que permite determinar a quién hacer una pregunta acerca de un tema, mediante el uso de ecuaciones que provienen de la minería de texto extraída de los foros de discusión de los estudiantes, obteniendo resultados satisfactorios con una alta precisión a la hora de hacer la recomendación. Así como también, en el área social se puede evidenciar el trabajo de Sari (2017) respecto al diseño un sistema recomendador de eventos de interés para personas de la tercera edad mediante geo localización, para que dichas personas puedan conocer información de eventos a realizarse en el lugar donde residan y a la vez mostrar la ruta que deben tomar hacia el lugar de dicho evento.

En el área turística se puede evidenciar la utilización de árboles de decisiones en la creación de un sistema recomendador para la determinación de la instalación hotelera a visitar por parte de los clientes, a partir de sus características y sus preferencias (Danilo, Ramirez, Sistemas, & En, 2014)

En el área de la salud Guzmán, torres & Vallejo (2015) construyó un sistema recomendador móvil para rutinas de ejercicios con base en el perfil antropomórfico y patológico del usuario, mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial obteniendo resultados muy satisfactorios. Por otro lado, en el área comercial el autor Enrique y Foliaco (2014) realizó el diseño de un Sistema de productos para centros comerciales, en este proyecto el autor propone dar solución a la tarea tediosa de buscar entre las distintas ofertas y promociones que se encuentra al momento de ir a un centro comercial, proceso que se puede evitar al contar con dicho sistema y así reducir el tiempo que invierten los usuarios al momento de realizar sus compras.

Pero, aun contando con la cantidad de información existente en la red se ha hecho cada vez más difícil elegir, sistemas que se ajusten a nuestros gustos y necesidades son complejos de encontrar y usar (Vicuña Lojano, 2018), como por ejemplo en un catálogo de productos en un tienda en línea como Amazon se puede encontrar un sin fin de artículos cada uno con un precio que es similar a otro y que hace lo mismo pero con una calidad superior o inferior, más caro o más barato, de un color u otro, lo mismo pasa en el área científica (Gerling, 2009).

3. Método

3.1. Recopilación de información

Para la obtención de datos se aplicó una encuesta a 70 docentes de una universidad pública del Ecuador. El cuestionario aplicado está dividido en tres secciones, la primera sección relacionada con información del docente. La segunda parte del cuestionario corresponde a las preguntas que determinen los factores de éxito para el desarrollo de sistemas recomendadores y finalmente la tercera sección contiene preguntas que complementan el estudio de la investigación.

El objetivo de la encuesta fue determinar la percepción de los investigadores sobre características que debe contener un sistema recomendador exitoso, la encuesta fue aplicada a Directores de Proyecto de investigación y Docentes investigadores.

3.2. Análisis descriptivo de la población

De la población encuestada el 68.6% corresponde al género masculino y el 31.4% al género femenino, en cuanto a las edades el rango corresponde a 25 y 29 años de edad el 50 % de la población, el 24.3% corresponde a investigadores de 40 a 50 años de edad, el 14.3% son personas que están en el rango de edad de 25 a 29 años de edad y finalmente el 11.4% son investigadores mayores a los 50 años de edad, además el 97% de la población encuestada están conformados por ecuatorianos y el 3% restante son de nacionalidad extranjera.

También es necesario aclarar que la población encuestada ha indicado que le gusta trabajar en grupos de investigación menores a 10 personas con un porcentaje del 91.4% y el restante corresponde a la opción que esta entre el rango de 20 a 29 personas con un porcentaje de 8.6%, además.

Es importante mencionar que el 57.1% de la población encuestada realiza investigación formativa relacionada al área de conocimiento, dejando así el 42.9% para la investigación generativa. Además, al preguntar sobre el área de conocimiento el 50% de la población encuestada forman parte de las ciencias de las ingenierías, 37.1% de las ciencias humanas, el 12.9% pertenecen a las ciencias agropecuarias.

4. Resultados y Discusión

4.1. Análisis de fiabilidad de la encuesta

Para la validación del cuestionario se aplicó el método Delhi o también conocido como consulta a expertos, mismos que verificaron la validez de todas las preguntas aplicadas, se levantó el número dado por los expertos con el objetivo de obtener una encuesta con datos fiables.

Además, se realizó el análisis de fiabilidad de la encuesta a través del software SPSS mediante el método alfa de Cronbach, las estadísticas obtenidas se muestran en la Figura 1.

Alfa de Cronbach		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
0,953	0,986	26

Tabla 1 – Estadística de fiabilidad de la encuesta

Como se puede observar en el la Figura 1, el ponderado que arroja el estadístico Alfa de Cronbach corresponde 0.953, por lo que se puede considerar como una ponderación excelente y por lo tanto deducir que el instrumento aplicado es confiable (González & Peazmiño, 2015).

4.2. Conjunto de datos

Para la construcción del dataset se tomó en cuenta variables como la experiencia, ubicación, colaboración, palabras clave, autoría, publicaciones similares, número de lecturas, citas, visitas, recomendación, y las estadísticas de las publicaciones, finalmente interacciones

entre investigadores. Para una mejor comprensión a continuación se muestra en la Tabla 2, las variables utilizadas en la investigación y su respectiva descripción.

Detalle	Factor
Experiencia relacionada con procesos de investigación en equipo.	V1
La relevancia de la ubicación del centro de investigación donde labora el investigador, para realizar colaboraciones con otros investigadores.	V3
La importancia de ser considerado con base en la experiencia profesional en otras áreas de conocimiento para ejecutar procesos de investigación multidisciplinaria.	V9
La relevancia para contactar colaboradores en procesos de investigación mediante una red social científica.	V10
La frecuencia de colaboración con profesionales para algún tipo de investigación.	V11
La importancia de colaboración con investigadores de la mima institución en la que labora, de un mismo y diferentes países, para la generación de mejores o peores resultados en procesos de investigación.	V12, V13, V14
La importancia del uso de una red social científica para la sugerencia de colaboradores de publicaciones similares.	V15
La sugerencia de investigaciones mediante el uso de palabras clave que se relacionan con las publicaciones de los investigadores.	V17
La recomendación en equipos de investigadores con base a la autoría o coautoría de las publicaciones de los investigadores.	V18
La sugerencia a grupos de investigadores con base en la experiencia profesional.	V19
La importancia de la implementación de un sistema recomendador de investigadores con base a las publicaciones y el perfil profesional.	V20
La importancia para realizar colaboraciones con profesionales de distintas áreas de conocimiento.	V21
La importante de colaboración con un investigador que haya realizado una publicación similar a la del autor.	V22
La importancia de colaboración con profesionales que hayan leído las publicaciones del autor de una publicación.	V23
La relevancia de colaboración con profesionales que hayan citado las publicaciones del autor de la misma.	V24
Las notificaciones de acuerdo al número de visitas que tiene las publicaciones del autor.	V25
La importancia de la generación de un chat para preguntar y contestar inquietudes acerca de algún tema de investigación.	V26
La importancia del acceso a estadísticas de visitas de otros miembros investigadores a las publicaciones realizadas por parte del autor.	V27
La importancia del acceso a datos del perfil profesional de investigadores que sigan las publicaciones del autor.	V28
La importancia de conocer el porcentaje de interés que tienen otros investigadores para las publicaciones del autor.	V29
La importancia de conocer el número de visitas que tienen las publicaciones del autor por parte de los otros investigadores.	V30
La importancia de recomendación de las publicaciones del autor por parte de los demás investigadores.	V31
La importancia de conocer el número de recomendaciones de las publicaciones del autor por parte de los demás investigadores.	V32

Detalle	Factor
La importancia de tener las estadisticas de las investigaciones de los investigadores.	V33

Tabla 2 – Preguntas utilizadas para la obtención de datos.

4.3. Etapas de la minería de datos

a) Limpieza de datos

Etapa determinada a corregir datos con ruido, información repetida, campos en blanco y la integración del conjunto de datos para la obtención de un data set óptimo para el proceso experimental.

b) Pre-procesamiento

En esta etapa se realiza la transformación de la información obtenida a través de la encuesta en datos binarios (0 y 1), tal como se presenta en la Tabla 3.

Nada importante	Medianamente importante	Importante	Totalmente importante	
1	*0*	*0*		*0*

Tabla 3 – Matriz para la tabulación de datos

c) Selección de factores

Para el algoritmo de selección de atributos y la red neuronal se utilizó como variable dependiente la variable uso de sistema recomendador con base en el área de conocimiento y perfil profesional (RV20).

Parametros para la selección de atributos	
Atributo evaluador	CfsSubsetEval
Método de Búsqueda	BestFirst
Modo de selección del atributo.	Cross-validation (Folds 10, Seed 1)
La recomendación en equipos de investigadores con base en la autoría o coautoría de las publicaciones de los investigadores (V18).	
La sugerencia a grupos de investigadores con base en la experiencia profesional (V19).	
La importancia de recomendación de las publicaciones del autor por parte de los demás investigadores (V31).	
La importancia de tener las estadisticas de las investigaciones de los investigadores (V33).	

Tabla 4 – Parámetros del algoritmo CfsSubsetEval

Para la selección de factores se utilizó el algoritmo CfsSubsetEval a través del uso del software Weka, mismo que evalúa el valor de un subconjunto de atributos al considerar la capacidad de predicción individual de cada característica junto con el grado de

redundancia entre ellos con la finalidad de seleccionar las variables más significativas (Iyer, S, & Sumbaly, 2015).

c) Predicción

En esta etapa se utilizó el algoritmo de redes neuronales con la finalidad de predecir el éxito de los factores identificados en el desarrollo de sistemas recomendadores, a través del uso del software Orange datamining en su versión 3.1.

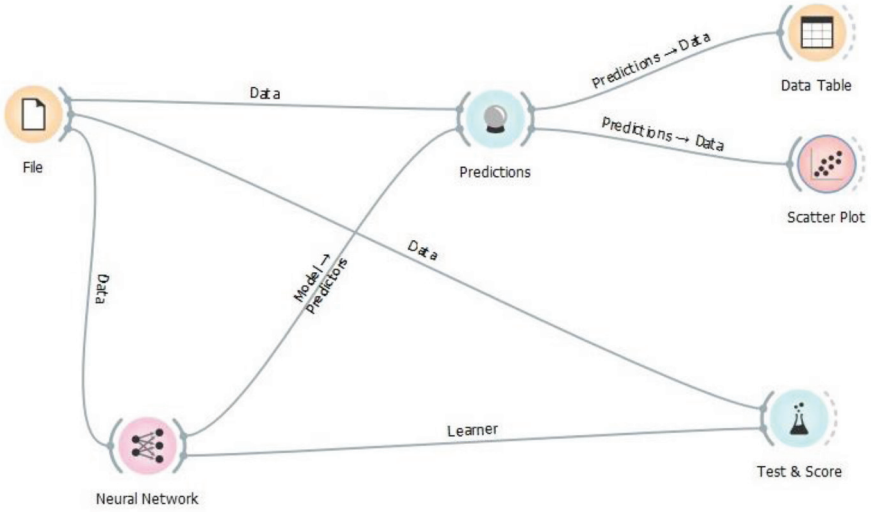


Figura 1 – Modelo Orange Datamining de la red neuronal

Los parámetros de entrenamiento de la red neuronal se presentan en la Tabla 5.

Parámetros	
Número de neuronas en las capas ocultas	100
Función de activación	ReLu
Solucionador	Adam
Regulación	a=0.1:
Número máximo de iteraciones	200
Entrenamiento replicable	true

Tabla 5 – Entrenamiento de la red neuronal

Los resultados del proceso de predicción de éxito de los factores identificados se presentan en la tabla 6 y 7 respectivamente.

Como resultado del proceso experimental se puede determinar que el sistema deberá hacer de manera obligatoria recomendaciones con base en la autoría y coautoría de un autor en una o varias publicaciones. Se recomienda realizar una recomendación en grupos de investigadores con base en la experiencia profesional. Además, el sistema

debe permitir que un usuario lector recomiende una o varias publicaciones y sistema debe permitir visualizar estadísticas de las publicaciones de los investigadores.

Muestra	**Observado**	**Pronosticado**			
		Medianamente relevante	**Relevante**	**Totalmente relevante**	**Porcentaje correcto**
Entrenamiento	Medianamente relevante	1	0	0	100,0%
	Relevante	0	35	0	100,0%
	Totalmente relevante	0	0	13	100,0%
	Porcentaje global	2,0%	71,4%	26,5%	100,0%
Prueba	Medianamente relevante	0	0	0	,0%
	Relevante	0	8	0	100,0%
	Totalmente relevante	0	0	10	100,0%
	Porcentaje global	,0%	44,4%	55,6%	100,0%
Variable dependiente: RV20					

Tabla 6 – Predicción de éxito de factores identificados

Red neuronal	
Factores de éxito	% precisión
La recomendación en equipos de investigadores con base en la autoría o coautoría de las publicaciones de los investigadores (V18).	90%
La sugerencia a grupos de investigadores con base aen la experiencia profesional (V19).	90%
La importancia de recomendación de las publicaciones del autor por parte de los demás investigadores (V31).	100%
La importancia de tener las estadisticas de las investigaciones de los investigadores (V33).	100%

Tabla 7 – Tasa de predicción a través de la red neuronal

Sin embargo, también es importante considerar los siguientes elementos en el diseño de sistemas recomendadores: el sistema recomendador tiene que hacer sugerencias de investigadores de diferentes áreas del conocimiento con base en la experiencia profesional del investigador, permitir aceptar o rechazar una recomendación, realizar sugerencias de investigadores con base en las palabras clave de las publicaciones del investigador, realizar sugerencias de investigadores de distintas áreas del conocimiento, sugerencias de investigadores con base en publicaciones similares a la del autor, sugerencias de los autores que hayan leído las publicaciones, sugerencias de investigadores que hayan citado las publicaciones del autor, recomendación de los usuarios que visiten las publicaciones del autor.

Con los resultados obtenidos a través de la aplicación de los algoritmos red neuronal y el algoritmo CfsSubsetEval se puede considerar que los factores identificados tienen una alta probabilidad de éxito para la construcción de sistemas recomendadores para procesos de investigación

5. Conclusiones

Los resultados del proceso de selección de factores permitieron identificar 4 factores que podrían ser considerados como exitosos en el desarrollo de sistemas recomendadores para procesos de investigación, de los cuales el factor importancia de recomendación de las publicaciones del autor por parte de los demás investigadores y uso de informes estadísticos de los resultados de investigación fueron considerados como los factores con mayor influencia.

La aplicación de la red neuronal arrojó un resultado del 99, 60% de predicción del éxito de los factores identificados, lo que indica que estos factores podrían ser considerados por los desarrolladores de sistemas en la etapa de análisis de requerimientos de usuario respecto al desarrollo de sistemas para realizar recomendaciones en procesos de investigación.

Referencias

Castillo, J. A., & Powell, M. A. (2019). Análisis de la producción científica del Ecuador e impacto de la colaboración internacional en el periodo 2006-2015. *Revista Española de Documentación Científica*, *42*(1), 225. https://doi.org/10.3989/redc.2019.1.1567

Danilo, A., Ramirez, V., Sistemas, T., & En, R. (2014). *Taller : Turismo Sostenible*.

Del Pino, J., Salazar, G., & Cedeño, V. (2011). Adaptación de un Recomendador de Filtro Colaborativo Basado en el Usuario para la Creación de un Recomendador de Materias de Pregrado Basado en el Historial Académico de los Estudiantes. *Revista Tecnológica ESPOL*, *24*(2), 29 – 34. Retrieved from http://learningobjects2006.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/85

Drake, J. M. (2008). *Ingeniería Ingeniería Software software Análisis de requisitos y especificación de una aplicación*. 1–36.

Enrique, J., & Foliaco, O. (n.d.). *Diseño de un Sistema Recomendador de productos para centros comerciales*.

Enrique, J., & Foliaco, O. (2014). *Diseño de un Sistema Recomendador de productos para centros comerciales*.

F. O. Botello, F. F. D. y R. D. L.-C. (2013). *Sistema de recomendación para elcomercio electrónico aplicadoa una tienda de libros*. (Mexico: Instituto Politécnico Nacional).

Franganillo, J. (2018). El funware en los sitios de recomendación social: características, claves e inconvenientes. *Anuario ThinkEPI*, *12*, 242. https://doi.org/10.3145/thinkepi.2018.36

Gerling, V. B. (2009). Un sistema inteligentes para asistir la búsqueda personalizada de objetos de aprendizaje. *Universidad Nacional de Rosario*, 65. Retrieved from https://core.ac.uk/download/pdf/61700378.pdf%0Ahttp: //scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle: Un+Sistema+Inteligente+para+Asistir+la+B+?+usqueda+Personalizada+de+Objetos+de+Aprendizaje#0

González, J., & Peazmiño, M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *Revista Publicando*, *2*(2), 62–77. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/272682754_Calculo_e_interpretacion_del_Alfa_de_Cronbach_para_el_caso_de_validacion_de_la_consistencia_interna_de_un_cuestionario_con_dos_posibles_escalas_tipo_Likert

Guzmán, J., Torres, I., & Vallejo, S. (2015). *Un sistema recomendador móvil de rutinas de ejercicio basado en el perfil del usuario*. *94*(2015), 137–149.

Huebe, M. de L. P. (2005). *Ingenieria De Requerimientos*. 1–71.

Iyer, A., S, J., & Sumbaly, R. (2015). Diagnosis of Diabetes Using Classification Mining Techniques. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, *5*(1), 01–14. https://doi.org/10.5121/ijdkp.2015.5101

Larrañaga, P., Inza, I., & Moujahid, A. (2015). Redes Neuronales. *Researchgate*, 19. Retrieved from http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t8neuronales.pdf

Recomendador, S., Usuarios, D., Aciar, S. V, Aciar, G. I., Collazos, C. A., & González, C. S. (2015). *Sistema recomendador de usuarios en base al conocimiento, disponibilidad y reputación obtenida de interacciones en foros*. (July).

Rivera, C., Espinosa, J., & Valdés, Y. (2017). La investigación científica en las universidades ecuatorianas. Prioridad del sistema educativo vigente. *Revista Cubana de Educación Superior*, *2*, 113–125. Retrieved from http://scielo.sld.cu/pdf/rces/v36n2/rces11217.pdf

Ruiz-Iniesta, A., Jiménez-Díaz, G., & Gómez-Albarrán, M. (2010). Personalización en Recomendadores Basados en Contenido y su Aplicación a Repositorios de Objetos de Aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Tecnologias Del Aprendizaje*, *5*(1), 31–38. Retrieved from http://romulo.det.uvigo.es/revista/RITA/site/201002/uploads/IEEE-RITA.2010.V5.N1.A6.pdf

Sari Villa, O. (2017). *Diseño e implementación de un sistema recomendador de actividades Lúdicas y Culturales para personas de la tercera edad*. Retrieved from https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13469/1/UPS-CT006864.pdf

Vera, P., & Ulloa, M. (2018). *Diseño y desarrollo de un sistema recomendador de contenidos accesibles basados en perfiles de usuarios para ambientes virtuales y objetos de aprendizaje a partir de metadatos de accesibilidad haciendo uso de ontologías*.

Vicuña Lojano, C. E. (2018). *Diseño e implementación de un sistema recomendador de eventos de interés para personas de la tercera edad mediante geolocalización*. Retrieved from https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15185/1/UPS-CT007500.pdf

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

Recebido/Submission: 10/03/2019
Aceitação/Acceptance: 23/06/2019

Modelos de ecosistemas de Datos Abiertos del Gobierno: un estudio comparativo

Andrés Rey Piedrahita[1], Laura Milena Cárdenas Ardila[2], Andrick Parra Valencia[3]

arey@uceva.edu.co, lauram.cardenas@udea.edu.co, japarra@unab.edu.co

[1] Universidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, Colombia.

[2] Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

[3] Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

Pages: 386–398

Resumen: En este trabajo se revisa la literatura sobre modelos de ecosistemas de datos abiertos del gobierno con el propósito de estudiar los modelos existentes. La revisión de los modelos identificados muestra que al momento no se dispone de un modelo integral que brinde comprensión de la complejidad y la dinámica que presentan los programas OGD, esto dificulta la formulación de políticas y estrategias que resulten adecuadas para mejorar el logro de los beneficios esperados, como son mayor transparencia y rendición de cuentas, y la creación de empresas y servicios innovadores centrados en el ciudadano que estimulen el crecimiento económico.

Palabras-clave: Datos Abiertos; Gobierno Abierto; Datos Abiertos del Gobierno; Modelos de Ecosistema de Datos Abiertos del Gobierno; Comparación de Modelos.

Open Government Data ecosystem models: a comparative study

Abstract: This paper reviews the literature on government open data ecosystem models for the purpose of studying existing models. The review of the models identified shows that at the moment there is no comprehensive model that provides understanding of the complexity and dynamics of the OGD programs, this makes it difficult to formulate adequate policies and strategies to improve the achievement of benefits expected, such as greater transparency and accountability, and the creation of innovative citizen-centered businesses and services that stimulate economic growth.

Keywords*:* Open Data; Open Government; Open Government Data; Open Government Data Ecosystem models; Comparison of models.

1. Introducción

La investigación generada alrededor de los programas de Datos Abiertos del Gobierno (Open Government Data, OGD) está conformando un nuevo campo de investigación

que se encuentra en un estado inicial donde se requiere trabajo orientado a formular teorías que brinden comprensión acerca de lo que sucede con los programas OGD; en esta área de investigación el desarrollo teórico ha ido construyéndose más lentamente que el desarrollo práctico que ha sido el impulsor dadas las necesidades de apertura de los actores clave (Oliveira, Lima, & Lóscio, 2019).

Algunos autores plantean que para poder llegar a generar impactos importantes con los datos abiertos se requiere desarrollar mayor comprensión de la complejidad y la dinámica que presentan los programas OGD. Para desarrollar comprensión algunas investigaciones han utilizado la perspectiva de ecosistema y en la literatura actualmente se dispone de algunos modelos formulados para ecosistemas de datos abiertos que brindan un panorama de los elementos, actores y sus interacciones (Dawes, 2016). No obstante, el problema que se aborda en este trabajo es que el conocimiento al respecto se encuentra fragmento y no se dispone de un modelo integral que facilite ganar comprensión sobre la complejidad y la dinámica de los programas OGD.

El presente estudio indaga acerca de los modelos propuestos para ecosistemas OGD con el propósito de presentar un estudio comparativo de los modelos más relevantes que se encuentran en la literatura. El aporte brindado se tiene en que la comparación de los modelos se realiza a partir de la definición de ecosistema de datos propuesta en (Oliveira, 2018) que describe los elementos comunes de un ecosistema, los actores, roles y relaciones. Esta definición tomada como marco de referencia para guiar el análisis brinda precisión para la comprensión y entendimiento mutuo de lo que significa un ecosistema de datos. Por tal motivo, resulta muy adecuada al momento de estudiar similitudes y diferencias en los modelos más relevantes de ecosistemas OGD; se espera que los resultados presentados resulten útiles para la formulación de nuevos modelos que deben avanzar de la naturaleza cualitativa a la cuantitativa para habilitar el desarrollo de una mayor comprensión.

La estructura del documento es la siguiente: primero, en la sección 2 se brindan algunos fundamentos teóricos y acerca del trabajo relacionado; posteriormente, en la sección 3 se indica la metodología utilizada en la investigación; en la sección 4, se presentan y discuten los resultados obtenidos; y finalmente, en la sección 5 se ofrecen algunas conclusiones, las limitaciones del estudio y se describe el trabajo futuro.

2. Fundamentos

2.1. Programas OGD y complejidad de los ecosistemas de datos abiertos

De acuerdo con (Dawes, 2016) un programa OGD normalmente abarca un conjunto de directivas, reglas y prácticas formales que deben ser aplicadas por todas o un gran número de las entidades u organizaciones del gobierno para proveer sus datos a los ciudadanos a través de portales de Internet dedicados para tal fin, sin costo y siguiendo algunas especificaciones técnicas como utilizar preferiblemente formatos legibles por máquina para facilitar la reutilización, etc.

Los estudios alrededor de los programas OGD han encontrado que corresponden a fenómenos sociotécnicos que se presentan en entornos físicos e institucionales, donde convergen múltiples actores y diferentes aspectos (organizativos, humanos,

materiales y tecnológicos) que dan lugar al surgimiento de una interacción dinámica de interdependencias e influencias mutuas en un contexto dado (Sawyer, 2014).

Para desarrollar comprensión sobre los programas OGD algunos estudios han utilizado la perspectiva de ecosistema (Dawes, 2016) que permite observar y abordar la alta complejidad de los programas OGD que por lo general se conforman de múltiples niveles socio-técnicos que son interdependientes, presentan varias dimensiones, actores, elementos y componentes donde surgen interacciones dinámicas y ciclos de retroalimentación (Zuiderwijk, 2014). El estudio realizado alrededor de los programas OGD ha llevado a que en la literatura se disponga de algunos modelos formulados para ecosistemas OGD que brindan un panorama de los elementos, actores y sus interacciones (Dawes, 2016).

2.2. Definición ecosistema de datos

La literatura reporta que al momento no existe una definición ampliamente aceptada para el termino ecosistemas de datos abiertos, en la mayoría de trabajos las definiciones brindadas para este término presentan variaciones significativas (Oliveira, 2018). Esta situación ha constituido una dificultad para desarrollar mayor comprensión sobre los ecosistemas de datos. No obstante, recientemente reconociendo esta situación en (Oliveira, 2018) se ha propuesto una definición que intenta precisar el significado del término.

La definición en mención plantea que un ecosistema de datos puede definirse como: "un conjunto de redes compuestas por actores autónomos que directa o indirectamente consumen, producen, curan o proporcionan datos y otros recursos relacionados (por ejemplo, software, servicios e infraestructura). Cada actor desempeña uno o más roles y está conectado a otros actores a través de relaciones, de tal manera que la colaboración y la competencia de los actores promueven la autorregulación del ecosistema de datos" (Oliveira, 2018).

Elemento	Descripción
Recursos	Son activos valiosos del ecosistema. Toman la forma de algún producto, posesión o capacidad producida, proporcionada o consumida por los actores. (Oliveira, 2018) .
Roles	Corresponde a una función (actividad o deber) que realiza un actor en el ecosistema de datos. (Oliveira, 2018) .
Actores	Son entidades autónomas, con identidad propia y existencia distinta del ecosistema, que tienen capacidad para cumplir con roles en el ecosistema de datos. Su participación se da a partir de intereses que los motivan, poseen diferentes expectativas y usualmente se comprometen con el ecosistema y este les brinda incentivos para activar su participación (Oliveira, 2018) .
Relaciones	Son interacciones que surgen entre los actores del ecosistema de datos, ya sea por el papel que desempeñan los actores o a partir de algún interés común. Pueden seguir modelos de negocio y el intercambio de recursos se da mediante transacciones; diversos aspectos del contexto (económicos, políticos, culturales, tecnológicos, etc) hacen que las relaciones varíen entre ecosistemas de datos (Oliveira, 2018) .

Fuente: elaborado a partir de (Oliveira, 2018).

Tabla 1 – Descripción elementos que conforman la definición de ecosistema de datos

Más formalmente la definición anterior de ecosistema de datos se puede expresar de la siguiente forma: E = (Re, Ro, A, Rl), donde: E, es el nombre que se da al Ecosistema de Datos; Re, corresponde al conjunto de recursos relacionados con datos intercambiados, producidos o consumidos por los actores del ecosistema; Ro, indica el conjunto de roles que pueden realizar los actores del ecosistema; A, define el conjunto de actores que participan en el ecosistema; y Rl, indica el conjunto de relaciones comprometidas por los actores del ecosistema (Oliveira, 2018); en la Tabla 1 se describen los cuatro elementos o constructos principales que conforman esta definición.

La definición anterior de ecosistema OGD es tomada como marco de referencia en este estudio porque brinda precisión para la comprensión y entendimiento mutuo de lo que significa un ecosistema de datos como es el caso de los ecosistemas OGD.

2.3. Trabajo relacionado

Según nuestro conocimiento al momento la literatura solo disponible de un trabajo enfocado al estudio comparativo de los modelos de ecosistemas OGD, ver (Sanaei, 2017). Dicho trabajo brinda resultados de una revisión realizada que se estructura a partir de las diferencias que se identifican entre los modelos; en este trabajo se realiza un estudio similar, pero utilizando como marco de referencia para el análisis la definición de ecosistema de datos presentada en el apartado anterior.

3. Metodología

En este estudio se utiliza una estrategia de investigación secuencial basada en la combinación de métodos de investigación cualitativos y cuantitativos presentada en la Figura 1 (Creswell, 2017).

Figura 1 – Estrategia secuencial del estudio

Básicamente lo que se plantea en las diferentes etapas que conforman la estrategia secuencial del estudio es, en la primera etapa recoger datos cuantitativos sobre posibles publicaciones que traten el tema de modelos de ecosistemas OGD. Para ello se realiza la búsqueda en la base de datos referencial Scopus que goza de amplio reconocimiento en la comunidad científica y con los resultados que se obtienen se conforma un conjunto de datos al respecto. En la segunda etapa se realiza el análisis cuantitativo del conjunto de datos con información de posibles publicaciones sobre modelos de ecosistemas OGD, para ello se utiliza la métrica de acoplamiento bibliográfico de documentos visualizando los resultados en una red o mapa de conocimiento mediante el software VOSviewer.

La métrica de bibliometría en mención permite identificar los documentos que posiblemente presentan modelos y son los más sobresalientes en el tema; una vez

identificado cada documento, es revisado manualmente para seleccionar los trabajos que presentan lo que puede considerarse un modelo completo para los ecosistemas OGD. En la tercera etapa para la recolección de datos cualitativos se accede a los documentos completos de los trabajos identificados en la etapa previa extrayendo diferentes datos acerca del modelo, su estructura y características. Estos datos puntuales son tratados en la última etapa donde se procede a realizar el análisis de cada modelo utilizando el método cualitativo de análisis de contenido enfocado a encontrar diferencias entre los modelos, pero para este caso clasificando la información de acuerdo con el marco de referencia que brinda la definición de ecosistema de datos presentada en la sección 2.

4. Resultados y discusión

En la primera etapa para ubicar publicaciones que traten el tema de modelos para ecosistemas OGD se realizó una búsqueda mediante palabras clave en la base de datos Scopus. La cadena de búsqueda utilizada fue ("Open Government Data" OR "Open Data") AND (ecosystem OR models) definiendo el titulo como lugar de búsqueda en los trabajos. De esta búsqueda se obtienen un total de 161 documentos, con los cuales se conforma un conjunto de datos que contiene la información de citación de cada artículo y de los trabajos citados[1]. Al analizar de forma cuantitativa el conjunto de datos con la información de referencia de posibles publicaciones sobre modelos de ecosistemas OGD utilizando la métrica de acoplamiento bibliográfico de documentos y visualizando los resultados en una red o mapa de conocimiento mediante el software VOSviewer, se pueden identificar 30 trabajos que son los más destacados al ser referenciados desde otras publicaciones con mínimo 8 referencias.

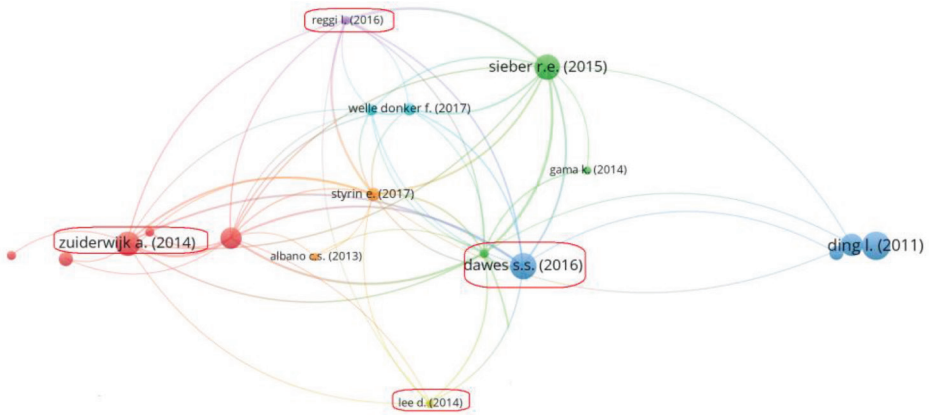


Figura 2 – Mapa de conocimiento para los modelos de ecosistemas OGD

En la Figura 2 se presenta el mapa de conocimiento generado mediante el análisis con VOSviewer. Todos los documentos identificados en el mapa son revisados manualmente y se seleccionan finalmente 4 trabajos (resaltados con un recuadro rojo) que presentan

[1] Este conjunto de datos es generado mediante una de las opciones que brinda Scopus, la búsqueda se realizó el 21 de agosto de 2019.

lo que puede considerarse un modelo completo de ecosistemas OGD, los trabajos en mención son: (Lee, 2014), (Zuiderwijk, 2014), (Dawes, 2016) y (Reggi, 2016). A este grupo final de modelos se suman dos modelos más, el primero es el de (Najafabadi, 2017) que es identificado del trabajo de revisión de modelos de ecosistemas de datos de (Sanaei, 2017) y por ser una publicación reciente no alcanza a ser incluido en el mapa que resulta del análisis de acoplamiento bibliométrico; este último modelo incluido extiende el modelo presentado previamente por uno de sus autores (Helbig, 2012) que también es incluido.

Al proceder con la recolección de datos cualitativos en la tercera etapa se accede a los documentos completos de los 6 trabajos identificados en la etapa previa que presentan modelos para ecosistemas OGD y se extraen diferentes datos acerca de cada modelo en relación a su estructura y características. Estos datos puntuales son analizados en la última etapa y los resultados se brindan a continuación presentando primero una descripción de cada modelo y posteriormente su comparación en la Tabla 2.

El primer modelo a presentar describe la dinámica de la apertura de datos del gobierno propuesta por (Helbig, 2012). Este modelo conceptual de ecosistema de datos abiertos fue elaborado al estudiar la apertura de datos de las ciudades de Nueva York (EE. UU) y Edmonton (Canadá). Dentro de las fortalezas de este modelo se pueden mencionar que en la representación del modelo se utiliza un diagrama casual que es una notación grafica utilizada en la técnica de modelado Dinámica de Sistemas que es útil al abordar sistemas complejos. El diagrama causal permite visualizar la estructura de un sistema y analizar su comportamiento.

Dentro de los recursos identificados en el modelo se tienen por un lado las fuentes de datos primarias (datos generados y gestionados al interior del gobierno) y secundarias (datos enriquecidos generados por los usuarios fuera del gobierno), y por otro los recursos de datos primarios (tecnologías de la información y la comunicación que soportan la labor cotidiana del gobierno) y secundarios (herramientas específicas que se crean para soportar la apertura de datos).

En cuanto a los actores en el modelo de (Helbig, 2012) se indican los proveedores de datos (encargados de mantener las fuentes y recursos de datos primarios), usuarios principales (encargados de los recursos secundarios y de los procesos de apertura) y usuarios secundarios (personas o grupos que acceden y utilizan los datos primarios). La estructura propuesta para este modelo de ecosistema OGD está conformada por diferentes relaciones entre variables y algunos ciclos de realimentación. Asociados a los roles de los usuarios se definen 5 procesos o actividades a realizar al interior del gobierno que son considerados claves para publicar datos contextualizados y reutilizables, estos son: (1) crear información de la labor del gobierno, (2) archivar información, (3) abrir información, (4) contextualizar información y (5) hacer que la información sea de fácil re-uso. Por fuera del gobierno los roles de los usuarios se asocian a 4 procesos o actividades: (1) desarrollar aplicaciones, (2) presionar por contextualización de información, (3) presionar por ocultar información y (4) presionar por apertura de información.

Entre las debilidades más importante del modelo de (Helbig, 2012) se tiene que es una explicación parcial que presenta solo un pequeño conjunto de relaciones casuales importantes y procesos de realimentación. No es un modelo de simulación completamente

desarrollado que permita experimentar para ganar mayor comprensión acerca del comportamiento del ecosistema OGD. También, en lo que respecta a los beneficios no específica ninguno solo se plantea que la apertura de datos genera valor público.

El segundo modelo es propuesto por (Lee, 2014) para la apertura de datos del gobierno en Irlanda. Este modelo conceptual de ecosistema de datos abiertos presenta una estructura simple, pero aborda la naturaleza multifacética inherente a los programas de datos abiertos, por ello cubre aspectos técnicos, sociales, legales, políticos, operacionales y económicos. La debilidad más importante de este modelo es que carece de una mirada completa como ecosistema dado que no establece relaciones entre componentes que definan la estructura del ecosistema; que podría exponer la existencia de ciclos y relaciones de realimentación, aspecto clave para la formulación y evaluación de políticas.

Dentro de lo positivo del modelo de (Lee, 2014) se cuenta que el modelo, básicamente, propone once elementos importantes que debe contener un ecosistema de datos los cuales son descritos más como funcionalidades o actividades a realizar, estos son: (1) auditar datos, (2) seleccionar datos, (3) liberar datos de direcciones y mapas, (4) cuidar privacidad de los datos, (5) asignar licencias a datos, (6) publicar datos, (7) descubrir datos, (8) apoyar organismos públicos, (9) involucrar usuarios de datos, (10) reutilizar y crear valor económico, y (11) evaluar. Por otro lado, dentro de los elementos se especifican algunos recursos del ecosistema. El principal recurso reconocido son los datos y se señala la necesidad de publicar datos relevantes (por ejemplo, referentes a direcciones y mapas) de calidad. Otros recursos mencionados son los Portales de Datos Abiertos (con manejo de URL para apuntar a los datos) y las API para facilitar el acceso a los desarrolladores. En último lugar, para los beneficios el modelo plantea la creación beneficios económicos, pero no establece elementos y relaciones específicas sobre cómo se pueden lograr.

El tercer modelo propuesto por (Zuiderwijk, 2014) trata los elementos que resultan esenciales en los ecosistemas de datos abiertos. Para este modelo conceptual es de resaltar que define veinte elementos esenciales de los ecosistemas de datos abiertos, los cuales se identifican a partir de la revisión de literatura relevante sobre el tema y aplicando la técnica de escenarios (utilizada en el desarrollo de sistemas interactivos).

Estas funciones identificadas del ecosistema de datos abiertos de (Zuiderwijk, 2014) se distribuyen en dos niveles, un primer nivel para la producción de datos y un segundo nivel para el uso de datos. En el primer nivel se tienen las funciones (1) crear o recolectar datos, (2) almacenar datos, (3) depurar conjunto de datos, (4) publicar conjunto de datos en internet, (5) satisfacer requerimiento de datos, (6) discutir sobre conjunto de datos y aprendizajes, (7) analizar uso de conjuntos de datos; y en el nivel de uso, (8) buscar datos, (9) registrarse, (10) seleccionar lenguaje y traducir metadatos, (11) buscar licencia de datos, (12) ver datos, (13) descargar datos, (14) tratar datos, limpiar, analizar, combinar, enriquecer y enlazar datos, (15) publicar datos tratados, (16) solicitar un cierto conjunto de datos, (17) usar tutoriales sobre la utilización de datos, (18) visualizar datos, (19) discutir sobre conjunto de datos y aprendizajes, y (20) valorar aspectos de calidad de los datos.

Entre las debilidades más importante del modelo de (Zuiderwijk, 2014) se tienen en las relaciones, dado que solo define de forma general una relación bidireccional entre el nivel de producción de datos y el nivel de uso de datos, y de una forma más puntual

relaciones directas entre las funciones (16) solicitar un cierto conjunto de datos y (5) satisfacer requerimiento de datos, y (6) -(19) que plantean discutir sobre conjuntos de datos y aprendizajes. También, por el lado de los beneficios al no especificar ninguno en particular y solo asumir que la apertura de datos genera algún tipo de beneficio ya sea económico o social.

El cuarto modelo es propuesto por (Dawes, 2016) para ayudar en la planificación y diseño de programas OGD. Este modelo conceptual de ecosistema de datos abiertos es uno de los más sobresalientes. Para la elaboración del modelo se utilizó la teoría de sistemas sociotécnicos, y se revisó la literatura científica disponible sobre el tema, estudiando también la apertura de datos de dos ciudades Nueva York (USA) y San Petersburgo (Rusia). Algo a resaltar del modelo es que abarca todos los sectores del ecosistema y define nueve elementos clave para los programas OGD: (1) la influencia global y local por la apertura, (2) la motivación para el desarrollo OGD, (3) las políticas y estrategias OGD, (4) la publicación y uso de datos, (5) los productos/servicios generados, (6) la comunicación y realimentación entre productores de datos, innovadores y usuarios (internos y externos), (7) los beneficios potenciales, (8) las características de la comunidad que utiliza los datos y (9) la movilización en favor de la apertura.

Otro de los aspectos más interesantes del modelo de (Dawes, 2016) es que define varias relaciones de influencia entre los diferentes elementos estableciendo una estructura bastante completa del ecosistema OGD a un alto nivel de agregación, donde se observan varios ciclos de realimentación claves. En la descripción de este modelo se identifican varios actores como son los productores de datos, los innovadores y usuarios (internos y externos). En cuanto a los recursos se mencionan las tecnologías y capacidades del gobierno, los datos abiertos, los productos y servicios de datos, la información de realimentación, las capacidades para el uso de los datos abiertos, la motivación que impulsa el desarrollo OGD y el marco normativo formulado para la apertura.

Además, dentro de las funciones que pueden ser identificadas en el modelo de (Dawes, 2016) se tienen: (1) formular políticas y estrategias para la apertura de datos, (2) asignar recursos, (3) gestionar, (4) monitorear desarrollo programas, (5) publicar datos, (6) solicitar nuevos conjuntos de datos, (7) brindar realimentación, (8) descargar datos, (9) desarrollar aplicaciones, (10) utilizar datos y aplicaciones, (11) crear beneficios y (12) solicitar mayor apertura. En último lugar, dentro de las debilidades más sobresalientes de este modelo se tiene en que no define de forma precisa las diferentes funcionalidades del ecosistema OGD (de la descripción del modelo se pueden identificar algunas importantes, pero otras quedan pendientes). De forma similar, se indica que la apertura de datos crea beneficios económicos y sociales, pero no establecen elementos y relaciones específicas sobre cómo se puede lograr.

Un quinto modelo que guarda similitud con el anterior es propuesto (Reggi, 2016) enfocándose en comprender como crear beneficios sociales en las iniciativas de datos abiertos. Los modelos anteriores por lo general se han enfocado en el objetivo de la creación de valor económico prestando poca atención a la creación de beneficios sociales como la transparencia, participación ciudadana y la rendición de cuentas del gobierno. Los autores realizan un estudio de caso exploratorio para la iniciativa OpenCoesione en Italia que permite formular un modelo conceptual preliminar integrado de ecosistema

de datos abiertos que comprende dos ciclos de influencia interrelacionados que surgen de la publicación de OGD.

En el modelo de (Reggi, 2016) un ciclo aborda el potencial de innovación de OGD, el otro aborda la forma en que OGD podría apoyar la transparencia y los valores democráticos de participación y responsabilidad. Dentro de los aportes realizados al modelo original de (Dawes, 2016) se tienen: para los recursos, (1) la colección de información de realimentación sobre resultados de las políticas del gobierno brindada por los ciudadanos y (2) la información que resulta al analizar dichos comentarios; en cuanto a los actores, uno nuevo denominado formulador de políticas; en los roles 3 nuevas funciones requeridas para apoyar la creación de beneficios sociales, (1) coleccionar información de realimentación sobre resultados de las políticas del gobierno, (2) analizar información brindada por los ciudadanos, y (3) formular políticas atendiendo opiniones de los ciudadanos.

Lo más importante a resaltar del modelo de (Reggi, 2016) es como se mencionó que brinda atención a la creación de beneficios sociales indicando elementos y relaciones clave al respecto. Por otro lado, dentro de las debilidades se tiene que el modelo constituye un primer acercamiento que plantea de forma general el camino hacia el logro de este tipo de beneficios, pero se necesita modelar con mayor detalle cómo se puede lograr específicamente cada uno de los beneficios sociales.

El último modelo a describir es propuesto por (Najafabadi, 2017). Se trata de un modelo de simulación para ecosistema de datos abiertos que fue formulado al llevar a cabo un estudio de caso para la apertura de datos del gobierno en la ciudad de Edmonton. En su elaboración se utilizó la técnica de Dinámica de Sistemas que resulta muy adecuada para estudiar sistemas sociotécnicos interdependientes como los que conforman los ecosistemas OGD. Dentro de los aspectos positivos a resaltar se tiene que el modelo de simulación de ecosistema OGD reproduce el comportamiento observado en las iniciativas de apertura de datos de los gobiernos, las cuales en general exhiben problemas se sostenibilidad (reportados de forma recurrente en la literatura). Dentro de las limitaciones de este modelo se tiene que no es completo, es decir no incluye todos los elementos y relaciones requeridas para representar un ecosistema real que debe estar dotado con mecanismos básicos de realimentación que representen la colaboración existente entre diferentes partes presentes en el ecosistema.

La estructura del modelo de ecosistema OGD de (Najafabadi, 2017) está conformada por diferentes relaciones y ciclos de realimentación en tres sectores gobierno, desarrolladores y sociedad. Se identifican como recursos del ecosistema de datos abiertos, los datos, datos abiertos del gobierno, capacidad OGD, experiencia OGD, aplicaciones desarrolladas y capacidad de desarrollo aplicaciones OGD. En lo que respecta a los actores se especifican de forma general encontrando tres tipos gobierno, desarrolladores y sociedad. Y en lo que respecta a los procesos se plantean siete así: sector gobierno, (1) generación de datos gubernamentales, (2) publicación de conjuntos de datos gubernamentales, (3) desarrollo capacidad OGD; sector desarrollador, (4) desarrollo de aplicaciones, (5) desarrollo

capacidad de los desarrolladores, (6) obsolescencia de las aplicaciones; y sector sociedad, (3) creación de beneficios. Finalmente, en lo que respecta a los beneficios no se específica ninguno y se asume que la apertura de datos y su uso generan beneficios per se.

En la Tabla 2 se presenta una comparación de los modelos anteriores (el símbolo X indica que el modelo no brinda soporte para la característica indicada o es muy débil al respecto, √ indica que si lo hace y ≅ indica que lo hace parcialmente). ≅

Modelo	Recursos	Actores	Roles	Relaciones	Beneficios
(Helbig et al., 2012)	≅ Identifica diferentes recursos como fuentes de datos primarias y secundarias, y recursos de datos primarios y secundarios	≅ Proveedores de datos, usuarios principales y usuarios secundarios	≅ Define 5 procesos al interior del gobierno (considerados claves para publicar datos contextualizados y reutilizables) y 4 actividades fuera del gobierno	√ Plantea la estructura del ecosistema conformada por diferentes relaciones entre variables y ciclos de realimentación.	X No específica ninguno, plantea que la apertura de datos genera valor público
(Lee, 2014)	≅ Datos, Portales de Datos Abiertos, URL -para apuntar a los datos- y API para acceso a los desarrolladores	≅ Usuarios (desarrolladores y finales) y el Gobierno.	√ Define funciones o actividades a realizar clasificadas en 11 categorías	X No se especifican, no presenta enfoque cíclico ni enfatiza lazos de realimentación	X Plantea beneficios económicos pero no establece elementos y relaciones específicas sobre cómo se puede lograr.
(Zuiderwijk et al., 2014)	√ Menciona recursos como herramientas y servicios para cada función del ecosistema. (Portales de Datos Abiertos, Programadores, API´s y diferentes herramientas o servicios)	≅ Productores de datos y usuarios de datos -ciudadanos y empresarios (intermediarios o infomediarios)	√ Define 20 funciones o actividades a realizar clasificadas en 2 niveles (Producción de datos y uso de datos).	≅ Plantea una relación general bidireccional entre el nivel de producción de datos y el nivel de uso de datos. Define dos relaciones directas entre funciones del ecosistema. No presenta enfoque cíclico ni enfatiza lazos de realimentación.	X No específica ninguno, asume que la apertura de datos y su uso generan beneficios per se

Modelo	Recursos	Actores	Roles	Relaciones	Beneficios
(Dawes et al., 2016)	√ Tecnologías y capacidades del Gobierno. Datos abiertos. Productos y servicios de datos. Información de realimentación. Capacidades de uso. Motivación desarrollo OGD. Marco normativo para la apertura	≅ Productores de datos, innovadores y usuarios (internos y externos)	≅ Define 12 funciones o actividades a realizar asociadas al gobierno y usuarios de los datos	√ Plantea una estructura general de ecosistema conformada por diferentes relaciones de influencia entre 10 elementos que conforman el ecosistema contemplando algunos ciclos de realimentación.	≅ Indica que la apertura de datos crea beneficios económicos y sociales, pero no establece elementos y relaciones específicas sobre cómo se puede lograr.
(Reggi & Dawes, 2016)	√ Agrega al modelo original de (Dawes, 2016), la colección de información de realimentación sobre resultados de las políticas del gobierno brindada por los ciudadanos, y la información que resulta al analizar dichos comentarios.	√ Con respecto al modelo original de (Dawes, 2016) agrega un nuevo tipo de actor denominado formulador de políticas	≅ Agrega 3 nuevas funciones al modelo original de (Dawes,2016) requeridas para apoyar la creación de beneficios sociales.	√ Agrega a la estructura del ecosistema (Dawes, 2016) elementos y relaciones que conforman un nuevo ciclo que podría apoyar la transparencia y los valores democráticos de participación y responsabilidad	√ Indica elementos y relaciones clave para apoyar la creación de beneficios sociales.
(Najafabadi & LunaReyes, 2017)	√ Datos. OGD. Capacidad OGD del Gobierno. Experiencia OGD. Aplicaciones desarrolladas Capacidad desarrollo aplicaciones OGD	≅ Gobierno. Desarrolladores y sociedad.	≅ Define 7 procesos en total, 3 para el sector gobierno, 3 para los desarrolladores y 1 para la sociedad.	√ Plantea una estructura del ecosistema conformada por diferentes relaciones y ciclos de realimentación en tres sectores (Gobierno, desarrolladores y sociedad).	X No específica ninguno, asume que la apertura de datos y su uso generan beneficios per se.

Tabla 2 – Comparación de modelos de ecosistema de datos abiertos del gobierno

La comparación presentada en la Tabla 2 permite señalar similitudes y diferencias importantes entre los diferentes modelos de ecosistemas OGD encontrados. Asimismo, se puede indicar que cada modelo brinda una forma de ver el ecosistema y presenta fortalezas al describir alguno de los elementos que conforman el ecosistema.

Por ejemplo, los modelos de (Helbig, 2012) y de (Najafabadi, 2017) tienen su principal fortaleza al describir la estructura del ecosistema que está conformada por diferentes relaciones entre variables y ciclos de realimentación. Por su parte el modelo de (Lee, 2014) sobresale en la definición de los roles del ecosistema y el de (Zuiderwijk, 2014) por definir no solo los roles del ecosistema sino también asociar los recursos requeridos para su realización. Y los modelos de (Dawes, 2016) y (Reggi, 2016) sobresalen por definir las relaciones y recursos, y abordar para el caso de este último modelo los beneficios (no solo económicos) para lo cual incorpora también un nuevo actor denominado formulador de políticas que resulta clave para el ecosistema, porque son los requisitos y el marco legal los que establecen responsabilidades y limitaciones claras sentando las bases esenciales para un programa de apertura de datos del gobierno (Dawes, 2016).

En último lugar, cabe señalar que en su mayoría los modelos encontrados corresponden a modelos conceptuales, a excepción del modelo propuesto por (Najafabadi, 2017) que corresponde a un modelo de simulación. Esta diferencia señalada sobre la naturaleza de los modelos es bastante importante en relación al trabajo de formulación de políticas porque la utilidad de los modelos conceptuales se ve limitada al brindar poca comprensión y seguimiento en el tiempo, de las consecuencias o efectos de las decisiones políticas y estrategias adoptadas. Limitación que puede ser superada, como propone (Najafabadi, 2017), con el uso de modelos de simulación que permiten generar información sobre los efectos y resultados de las políticas a largo plazo, facilitando la identificación de las causas del comportamiento presentado.

5. Conclusiones

En este trabajo se revisó la literatura formulada para modelos de ecosistemas OGD con el propósito de estudiar los modelos existentes que presentan conocimiento sobre el tema, pero de forma fragmentada. Para realizar esta labor se planteó una estrategia de investigación secuencial basada en la combinación de métodos de investigación cualitativos y cuantitativos (Creswell, 2017), que permitieron llegar a identificar fácilmente seis modelos relevantes propuestos en la literatura que presentan lo que puede considerarse un modelo completo de ecosistemas OGD. Al revisar y estudiar los modelos identificados se encontró que cada modelo brinda una forma de ver el ecosistema, y presenta fortalezas y debilidades al describir alguno de los elementos que conforman el ecosistema (recursos, actores, roles y relaciones) o su estructura. De igual forma, se encontró que al momento no se dispone de un modelo integral que brinde comprensión de la complejidad y la dinámica que presentan los programas OGD, esto dificulta la formulación de políticas y estrategias que resulten adecuadas para mejorar el logro de los beneficios esperados con la apertura del gobierno.

Dentro de las limitaciones del estudio se tiene que solo se incluyeron principalmente las publicaciones sobre modelos de ecosistemas OGD que se encuentran en Scopus por lo cual pueden existir algunos modelos publicados útiles que no hayan sido incluidos. El trabajo futuro podría abordar la formulación de un modelo conceptual más integral de ecosistemas OGD que sea elaborado a partir de una revisión que abarque diferentes bases de datos y recoja los aportes más valiosos de los diferentes modelos existentes. De igual, forma se debe trabajar en formular nuevos modelos avanzando de lo cualitativo

a la cuantitativo, por ejemplo, modelos de simulación computacional que habiliten el desarrollo de experimentos de simulación para ganar mayor comprensión sobre el tema.

Referencias

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage publications.

Dawes, S S, Vidiasova, L., & Parkhimovich, O. (2016). Planning and designing opengovernment data programs: An ecosystem approach. Government Information Quarterly, 33(1), 15–27. https://doi.org/10.1016/j.giq.2016.01.003

Helbig, N., Cresswell, A. M., Burke, G. B., & Luna-reyes, L. (2012). The Dynamics of Opening Government Data. Center for Technology in Government.

Lee, D. (2014). Building an Open Data ecosystem - An Irish experience. ACM International Conference Proceeding Series, 2014-Janua, 351–360. https://doi.org/10.1145/2691195.2691258

Najafabadi, M., & Luna-Reyes, L. (2017). Open Government Data Ecosystems: A ClosedLoop Perspective. Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Science (HICSS-50), 2711–2720. https://doi.org/http://hdl.handle.net/10125/41483

Oliveira, M. I. S., Barros Lima, G. de F., & Farias Lóscio, B. (2019). Investigations into Data Ecosystems: a systematic mapping study. In Knowledge and Information Systems. 1–42. https://doi.org/10.1007/s10115-018-1323-6

Oliveira, M. I. S., & Lóscio, B. F. (2018). What is a data ecosystem? Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age, 74.

Reggi, L., & Dawes, S. (2016). Open Government Data Ecosystems: Linking Transparency for Innovation with Transparency for Participation and Accountability. International Conference on Electronic Government and the Information Systems Perspective, 74–86.

Sanaei, M., Policy, T., Taslimi, M. S., Faculty, M., Abdolhoseinzadeh, M., Tabatabaei, A., & Khani, M. H. (2017). A Study and Analysis of the Open Government Data Ecosystem Models.

Sawyer, S., & Jarrahi, M. H. (2014). Sociotechnical Approaches to the Study of Information Systems.

Zuiderwijk, Anneke, Janssen, M., & Davis, C. (2014). Innovation with open data: Essential elements of open data ecosystems. Information Polity, 19(1, 2), 17–33

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

Recebido/Submission: 16/04/2019
Aceitação/Acceptance: 25/07/2019

Análisis temporal y pronóstico del uso de las TIC, a partir del instrumento de evaluación docente de una Institución de Educación Superior

Alexandra E. Jácome-Ortega[2], Erick P. Herrera-Granda[1], Israel D. Herrera-Granda[1], Jorge A. Caraguay-Procel[1], Andrea V. Basantes-Andrade[3], MacArthur C. Ortega-Bustamante[1]

ajacome@utn.edu.ec, epherrera@utn.edu.ec, idherrera@utn.edu.ec, jacaraguay@utn.edu.ec, avbasantes@utn.edu.ec, mc.ortega@utn.edu.ec

[1] Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

[2] Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

[3] Facultad de Educación Ciencia y Tecnología, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

Pages: 399–412

Resumen: Los instrumentos de evaluación docente que se han aplicado desde septiembre del 2015 en la Universidad Técnica del Norte, han incorporado preguntas referentes al uso de las TIC en la práctica docente. Sin embargo, las preguntas relacionadas con esta actividad no fueron categorizadas con un subcriterio en la estructura de evaluación original, por lo que se diseñó una nueva estructura factorial que permitió extraer los puntajes del uso de las TIC para cada periodo académico, cuya validez y fiabilidad fue demostrada mediante Análisis Factorial Confirmatorio. Los valores promedio de este nuevo componente, se organizaron en una serie temporal, mediante la que se realizó un pronóstico por redes neuronales NNF de los puntajes que se tendrá en los próximos periodos académicos empleando perceptrones multicapa MLP. Los resultados reflejan una tendencia creciente en el uso e incorporación de las TIC en la práctica docente y ratifican esta tendencia para los próximos periodos.

Palabras-clave: Evaluación docente; Pronóstico por redes neuronales; Análisis factorial confirmatorio.

Algorithm customization to audit database in Higher Education Institutions

Abstract: The teaching evaluation tests, that have been applied since September 2015 at Técnica del Norte University, have incorporated questions regarding the use of ICT in teaching practice. However, the questions related to this activity were not categorized with a sub-criterion in the original evaluation structure, so a new factorial structure was designed, which allowed us to extract the ICT use scores for each academic period, whose validity and reliability was demonstrated

by Confirmatory Factor Analysis. The average values of this new component were organized in a time series, through which a neural network forecast NNF for the next academic periods scores was made using multilayer perceptrons MLP. The results reflect a growing trend in the use and incorporation of ICTs in teaching practice and ratify this trend for the upcoming periods.

***Keywords**:* teacher evaluation; factorial confirmatory analysis; neuronal network forecast.

1. Introducción

En consecuencia, a los estudios previos realizados en (Jácome et al., 2016) donde se presentó el proceso de implementación de un Sistema Integrado de Información (SIIU) que se efectuó en la Universidad Técnica del Norte Ibarra-Ecuador. Dicho instrumento de evaluación se ha venido aplicando para cada docente durante los últimos siete periodos académicos y está integrada por los componentes: autoevaluación (realizada por el mismo docente), coevaluación de pares (realizada por un par ciego de docentes evaluadores), coevaluación de directivos (realizada por el directivo con cargo inmediato superior al evaluado) y heteroevaluación (realizada por los estudiantes). De los componentes antes mencionados, es de especial importancia el instrumento de heteroevaluación realizado por los estudiantes a quienes el docente imparte sus cátedras para cada periodo académico, debido a que constituye una gran base de datos ya que la universidad cuenta con más de 10 000 estudiantes entre sus programas de grado y postgrado.

Es así que como caso de estudio se tomó a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales FICAYA, donde cada base de datos para cada periodo académico supera las 7000 observaciones debido a que cada estudiante debe evaluar a todos los docentes que le imparten cátedra en cada periodo académico.

La implementación del instrumento de evaluación en la UTN se realizó a partir del periodo septiembre 2015 – febrero 2016 debido a las normativas vigentes (UTN, 2015) y la estructura factorial del instrumento de evaluación, así como las preguntas que constituyen al mismo se han venido modificando acorde con las necesidades de la institución y la reglamentación vigente.

Desde su implementación el instrumento de evaluación se creó a partir de una estructura factorial que es resultado de los criterios de evaluación que determina la normativa vigente, los cuales se dividen en subcriterios que son los factores de la estructura simple que permite cuantificar el desempeño de cada docente. Por los criterios y subcriterios que constituyen la estructura factorial a partir de la que se generaron los ítems del cuestionario de evaluación docente para el periodo septiembre 2017 – febrero 2018, como se muestran en la tabla1.

Criterio	Subcriterio	Objetivo
Planificación académica (Saber)	Planificación microcurricular	Determinar la existencia de una planificación previa, que identifique los resultados de aprendizaje esperados acorde al perfil de egreso del estudiante.

Experiencias de Aprendizaje (Saber hacer)	Didáctica	Identificar la aplicación de técnicas y métodos de enseñanza utilizados por los docentes.
	Conocimiento	Valorar el criterio del estudiante sobre el conocimiento del docente en el desarrollo de la asignatura.
	Recursos	Valorar la utilización de los recursos y la calidad del ambiente para generar conocimiento.
Evaluación y seguimiento (Saber hacer)	Evaluación	Determinar el uso de herramientas de evaluación y seguimiento de las actividades académicas.
Actitud y compromiso (Saber ser)	Cumplimiento	Establecer el cumplimiento del docente con base en la normativa de la UTN
Proceso enseñanza aprendizaje	Satisfacción del estudiante	Determinar el nivel de satisfacción del proceso de enseñanza – aprendizaje por parte de los estudiantes, mediante la heteroevaluación.

Tabla 1 – Criterios y subcriterios utilizados para la actividad Docencia

A pesar de que la estructura factorial y los criterios y subcriterios se han venido modificando a través para los diferentes periodos, todos los cuestionarios empleados incluyeron preguntas referentes al uso de las TIC que permiten proponer un nuevo componente referente para ellas en la estructura factorial de cada periodo.

Sin embargo como se detalla en (Batista, Coenders y Alonso, 2004), (Toland y De Ayala, 2005), (Martínez et al., 2011), (Zambrano y Gutiérrez, 2018) y (Jácome et al., 2019) la implementación de una estructura factorial mediante un cuestionario de evaluación docente SET (Students Evaluation of Teaching), requiere de la determinación de su validez y fiabilidad, la misma que típicamente se solía realizar mediante el uso paralelo de técnicas como el Análisis Factorial Exploratorio AFE y la determinación de su validez por medio del alfa de Cronbach. Sin embargo el $\alpha\alpha$ de Chronbach (basado en el promedio de las correlaciones), solo estima correctamente la fiabilidad si los ítems son al menos tau-equivalentes, en cualquier otro caso proporciona un límite inferior de fiabilidad, además de presentar problemas de errores no aleatorios en las encuestas y correlación excesiva del sesgo. Además, el modelo del AFE permite que cada ítem dependa de todos los factores comunes, con lo que es imposible demostrar la validez de que cada indicador mida únicamente el factor que se supone debe medir. De esta manera como se demuestra en (Batista et al., 2004) el análisis factorial confirmatorio AFC es la técnica que permite demostrar efectivamente validez y fiabilidad en los constructos.

Uno de los principales objetivos de la creación de una estructura factorial es la reducción de dimensión de los sets de datos en estructuras más simples de variables no correlacionadas con puntuaciones que representen la varianza total de la estructura. Es así que mediante estos componentes o factores se puede extraer información de interés en función de las preguntas que lo componen, por lo que si el nuevo constructo demuestra validez y fiabilidad el puntaje para las TIC puede ser extraído para cada estructura factorial, y su evolución en el transcurso del tiempo, así como el pronóstico de los resultados esperados para los próximos periodos es objeto de estudio del presente trabajo.

Según (Kourenzes el al., 2014) y (Ord, Fildes y Kourenzes, 2017), las redes neuronales como metodología de pronóstico poseen poderosas cualidades de aproximación y modelado autoadaptativo a diferentes tipos de datos, le que les otorga flexibilidad y capacidad de adaptarse a series temporales de tipo lineal y no lineal. Adicionalmente (Kourenzes el al., 2014) demostró que combinando modelos ajustados en datos muestreados a diferentes frecuencias se puede alcanzar mayor precisión de pronóstico en pronósticos de corto, mediano y largo plazo y se encontró pequeñas diferencias entre el empleo de la media o la mediana para el pronóstico, así como se expone las ventajas de la combinación de diferentes modelos para mejorar la precisión y variabilidad de error, sin embargo una metodología para combinarlos efectivamente no ha sido determinada. En (Crone y Kourentzes, 2010), se propone una metodología para la especificación automática de la red neuronal por medio de la variación de los patrones en los datos y frecuencias de tiempo, además se propone un filtro neuronal iterativo que por medio de envoltorios crea modelos candidatos para un determinado número de capas ocultas, nodos ocultos y funciones de activación. Esta metodología automática de modelado MLP demostró sus capacidades en la competencia de pronóstico ESTP 2008 alcanzando la segunda posición basada en los bajos resultados de error medio cuadrado MSE obtenidos en sus predicciones frente a diversas bases de datos, demostrando que una metodología conducida de manera netamente automática no requiere de la intervención humana de un experto para especificar su estructura y ejecutarse correctamente. En (Herrera et al. 2019) se empleó una metodología de pronóstico por redes neuronales multicapa MLP para ejecutar el pronóstico de demanda de agua embotellada para un pequeño manufacturador de agua embotellada, donde se verificó inicialmente la descomposición multiplicativa de la serie temporal para analizar su tendencia, aleatoriedad y estacionalidad. Posteriormente, se propuso un modelo de pronóstico aplicando una selección automática de la estructura de la red neuronal. Luego se diseñó una estructura multicapa mejorada en función de varias etapas experimentales de adición de neuronas en las capas ocultas del MLP, y finalmente se compararon los resultados obtenidos con las MLP propuestas y los métodos clásicos de pronóstico, mostrando una considerable reducción del MSE.

2. Materiales y Métodos

Como se detalló previamente la evaluación del desempeño de los docentes en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales en la Universidad técnica del norte se ha venido desarrollando una vez por semestre desde el segundo periodo académico del año 2015. Sin embargo, el instrumento de evaluación con sus preguntas y componentes ha venido modificándose acorde con la reglamentación vigente y las necesidades de la institución.

De esta manera las preguntas, así como su estructura factorial ha sufrido diferentes modificaciones y en el presente trabajo se desea indagar sobre la evolución del uso de las TIC en el transcurso del tiempo. A demás, teniendo en cuenta que en ninguno de los periodos se dispuso de un criterio o subcriterio en la estructura factorial encargado exclusivamente de cuantificar un puntaje referente al uso de las TIC, y se tuvieron

diversas preguntas relacionadas con este componente de la estructura factorial, se tuvo que diseñar una nueva estructura factorial para cada periodo y evaluar estadísticamente su puntaje, validez y fiabilidad.

Las diversas preguntas relacionadas con este factor, que se tuvieron en los diferentes instrumentos de evaluación empleados en los periodos académicos, se detallan a continuación:

- El/La docente utilizó tecnologías de la información y la comunicación TIC en el proceso de aprendizaje (Internet, aula virtual, proyector, otros)
- El/La docente interactuó con los estudiantes en el aula virtual y/o el office 365
- El/La docente en sus clases utilizó recursos de aprendizaje de su autoría como diapositivas, modelos, esquemas, guías docentes, libros, entre otros
- EL docente durante el curso recomendó bibliografía actualizada de la biblioteca virtual o de la biblioteca física para ejecutar actividades de aprendizaje

Teniendo como componentes a los ítems antes detallados, es importante verificar que se encuentren presentes en cada evaluación para cada periodo, luego se efectuó un análisis factorial confirmatorio, mediante el cual se verificó que el nuevo componente para las TIC en la estructura factorial no afecta la validez del instrumento.

2.1. Análisis Factorial Confirmatorio

Inicialmente al ser el Análisis Factorial Confirmatorio (ACF) un test paramétrico, debe cumplir con los supuestos de aditividad, linealidad, normalidad, homogeneidad y homocedasticidad. La aditividad hace referencia a que cada diseño experimental posee un modelo lineal aditivo, donde la varianza de cada observación que pertenece a una estructura factorial es función de la media poblacional más los efectos de las diferentes clasificaciones y error residual. Para verificar que se cumpla este supuesto se determinó el valor de todas las correlaciones bivariadas en todas las variables relevantes. Los análisis estadísticos para el AFC aplicado se desarrollaron empleando el lenguaje de programación R por medio de la librería lavaan, previo a un tratamiento de datos para eliminar los valores atípicos basado en distancias de mahalanobis y cuantiles χ^2 con un valor de corte para $p < 0.001$. Por ejemplo, para el instrumento de evaluación docente correspondiente al periodo septiembre 2017 – febrero 2018, se obtuvo la matriz de correlación que se muestra en la figura 1.

Para que se cumpla el supuesto de aditividad se debe verificar que ninguna de las variables esté perfectamente correlacionada, es por esto que como se visualiza en la figura 1 ninguna de las correlaciones bivariadas alcanzó un valor de más de 0,9. Adicionalmente al ser el AFC un test paramétrico los demás supuestos se verificaron con base en un análisis de falsa regresión, empleando valores aleatorios y estandarizados generados para cada pregunta mediante la distribución χ^2. Una prueba de normalidad multivariada que es aplicable en el AFC consiste en verificar que los valores obtenidos para la regresión a partir de los puntajes aleatorios χ^2 de cada pregunta tengan una distribución normal. La figura 2 muestra de manera gráfica los resultados obtenidos mediante un histograma.

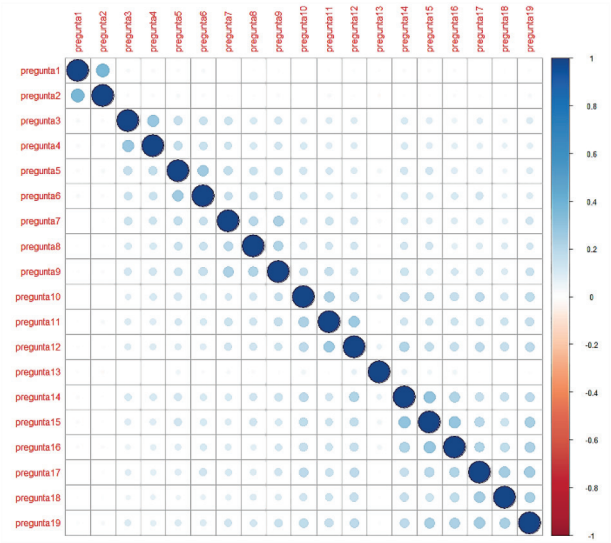


Figura 1 – Matriz de correlación bivariada "*corrplot*"

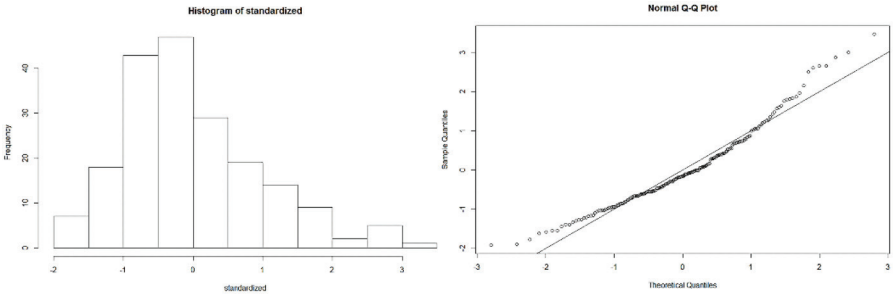


Figura 2 – Histograma y QQ-Plot de los puntajes estandarizados para cada pregunta obtenidos por regresión lineal a partir de valores aleatorios χ^2

Como se puede visualizar en la figura 2 el supuesto de normalidad multivariada se aceptó ya que la distribución de los valores estandarizados a partir de la regresión se ajusta a una distribución normal centrada en cero. Además, el supuesto de linealidad se aceptó para cada caso ya que como se recomienda en (Jácome et al., 2019) los cuantiles deben cumplir con una tendencia lineal en un intervalo de -2 a 2 para los puntajes estandarizados. Finalmente, los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad se verifican por criterio de esfericidad mediante un diagrama de dispersión como se muestra en la figura 3.

A partir del ejemplo mostrado en la figura 4 para el periodo septiembre 2017 – marzo 2018, se puede aceptar homogeneidad de los datos ya que la mayoría de valores de el gráfico de dispersión se distribuyen de manera similar en los 4 cuadrantes con ligeros

problemas en de simetría en los cuadrantes superiores. De la misma manera se acepta el supuesto de homocedasticidad ya que no se observa patrones ni tendencias de distribución en los residuos. Una vez verificados los supuestos se procede a evaluar la estructura factorial que se modifica de manera que presente el componte para las TIC en el cual se incluirán las preguntas referentes a esa temática en cada una de las evaluaciones realizadas, por ejemplo para el periodo septiembre 2017 – febrero 2018, la base de datos estuvo compuesta de 7767 encuestas aplicadas de las cuales 699 fueron excluidas por ser datos atípicos, y 19 preguntas de las cuales 4 corresponden al uso de las TIC por lo que la estructura factorial fue modificada como se muestra en la figura 4.

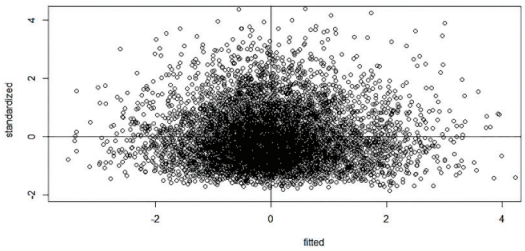


Figura 3 – Scatter plot de los puntajes estandarizados de cada pregunta respecto a los residuos ajustados para cada observación

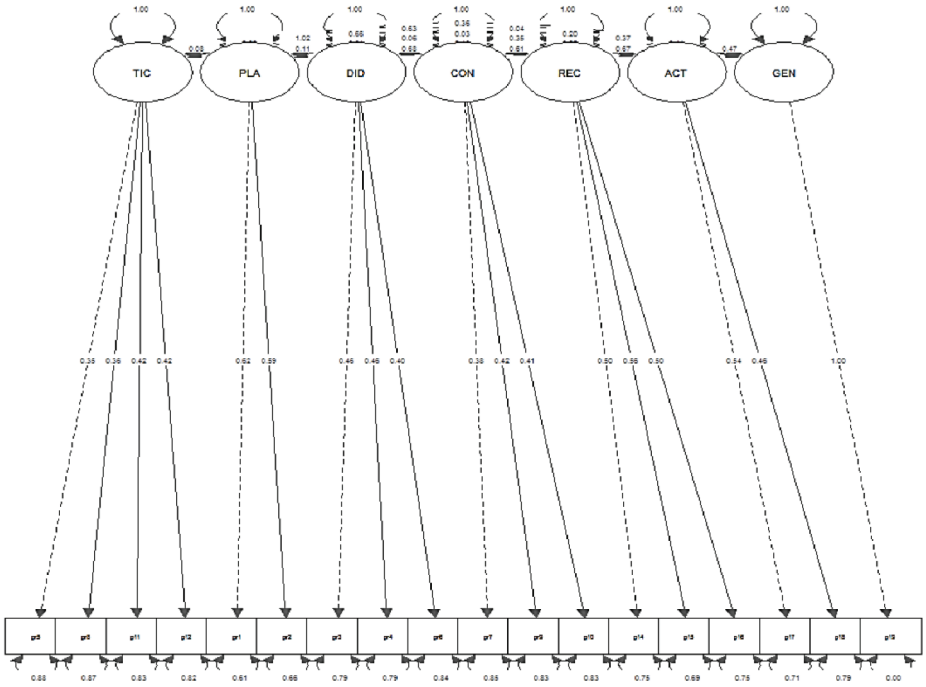


Figura 4 – Estructura factorial (Path diagram) de la estructura factorial implementado el componente TIC

El Análisis Factorial Confirmatorio se puede ejecutar ya que como se detalla en (Batista et al, 2004) todas las saturaciones entre factores e ítems superan a 0.3 y las correlaciones entre factores tienen valores que no se acercan a la unidad. Para demostrar validez y fiabilidad de la estructura propuesta para cada periodo se obtienen los índices de bondad de ajuste mediante la función fitMeasures del paquete lavaan. Por ejemplo, para el periodo septiembre 2017 – febrero 2018 se obtuvieron los índices que se detallan en la figura 5.

```
                npar               fmin              chisq                 df             pvalue
              54.000              0.048            685.400             99.000              0.000
     baseline.chisq        baseline.df     baseline.pvalue                cfi                tli
           10305.406            136.000              0.000              0.942              0.921
               nnfi                rfi                nfi               pnfi                ifi
              0.921              0.909              0.933              0.680              0.943
                rni               logl   unrestricted.logl                aic                bic
              0.942         -117499.485        -117156.785         235106.970          235477.590
             ntotal               bic2              rmsea      rmsea.ci.lower      rmsea.ci.upper
           7068.000            235305.991              0.029              0.027              0.031
       rmsea.pvalue                rmr          rmr_nomean               srmr        srmr_bentler
              1.000              0.015              0.015              0.024              0.024
srmr_bentler_nomean               crmr         crmr_nomean          srmr_mplus   srmr_mplus_nomean
              0.024              0.026              0.026              0.024              0.024
               cn_05              cn_01                gfi               agfi               pgfi
           1271.726           1389.455              0.988              0.982              0.639
                mfi               ecvi
              0.959              0.112
```

Figura 5 – Ejemplo de índices de bondad de ajuste para el periodo septiembre 2017 – febrero 2018

El índice de ajuste no normado NNFI (Non Normed Fit Index) así como el índice de Tucker y Lewis TLI (Tucker-Lewis Index) alcanzaron un valor de 0.921 lo que entra en el rango de aceptable, el índice comparativo de ajuste CFI (Comparative Fit Index) alcanzó un valor de 0.42 que está en el rango aceptable bordeando el límite de excelente. En cuanto a los estadísticos residuales de ajuste se obtuvo un RMSEA (Root Mean Square Error of Aproximation) de 0.029 y un SRMR de 0.024 valores que se encuentran por debajo de 0.06 lo que los posiciona en el rango de excelente. De esta manera ante los índices obtenidos se puede concluir que no existe indicios de invalidez en la estructura factorial y su fiabilidad queda demostrada.

2.2. Pronóstico por redes neuronales

Una vez validadas las nuevas estructuras factoriales para cada periodo, se obtuvieron las puntuaciones medias de desempeño de los docentes para cada periodo a partir de las preguntas que componen al factor TIC en el modelo. Los valores de los puntajes obtenidos y su calificación a manera de porcentaje se detallan en la tabla 2.

Periodo	Puntaje	Porcentaje
Septiembre 2015 – Febrero 2016	3.954	79.08
Marzo 2016 – Agosto 2016	3.817	76.34
Septiembre 2016 – Febrero 2017	4.283	85.66
Marzo 2017 – Agosto 2017	4.490	89.8
Septiembre 2017 – Febrero 2018	4.176	83.51
Marzo 2018 – Agosto 2018	4.355	87.09
Septiembre 2018 – Febrero 2019	4.324	86.48

Tabla 2 – Puntajes promedio del desempeño de los docentes en el componente TIC para cada periodo

Los datos obtenidos para el componente referente al uso de las TIC en la práctica docente muestran valores en general elevados en la puntuación obtenida permitiendo entender en primera instancia un amplio uso y aceptación de las TIC en la práctica docente cotidiana. Sin embargo, como se observa en la figura 6 el comportamiento de los datos en estos primeros siete periodos de evaluación no es lineal por lo que no es sencillo inferir directamente su tendencia o valores esperados para los próximos periodos mediante el uso de métodos de pronóstico estadísticos clásicos. Es por esto que como siguiente etapa de análisis se realizó un pronóstico para los próximos dos periodos, que permitirá tener un criterio más sólido respecto a la evolución de esta variable en el tiempo. Como metodología de pronóstico se seleccionó un pronóstico por redes neuronales multicapa por encima de métodos estadísticos clásicos como ARIMA y suavizamiento exponencial (Crone y Kourentzes, 2010), (Lorente et al., 2019), debido a su buen desempeño y robustez utilizando variables de entrada cuantitativas continuas, además de su capacidad de adaptación a patrones de series temporales determinísticas, estocásticas, de simple o múltiple estacionalidad, tendencias, ciclos, entre otros, en general las redes neuronales son modelos no lineales flexibles que tienen importantes propiedades para aplicaciones de pronóstico y son capaces de encajar en casos lineales y no lineales de diferentes formas (Kourentzes, 2014). A continuación, en la figura 6 se muestra la serie temporal de los puntajes obtenidos en la puntación en cada semestre, del componente TIC desde mediados del año 2015 hasta mediados del año 2018. Los cuales constituyen la base de datos o variable de entrada cuantitativa continua, a partir de la cual se realiza el modelo de pronóstico.

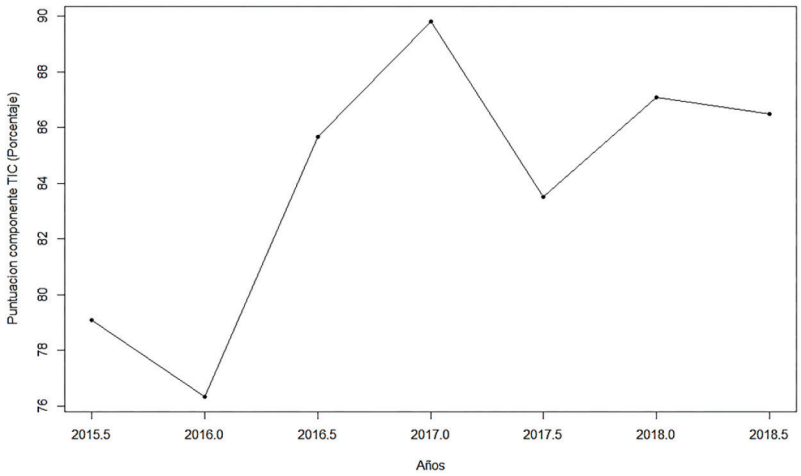


Figura 6 – Serie temporal de los puntajes promedio obtenidos para el componente uso de las TIC obtenidos a partir de la heteroevaluación docente

El modelo empleado para el pronóstico fue desarrollado en el lenguaje de programación R iniciando con una descomposición multiplicativa de la serie temporal que permite visualizar su tendencia, estacionalidad y aleatoriedad. La figura 7 presenta los resultados de la descomposición multiplicativa de la serie temporal.

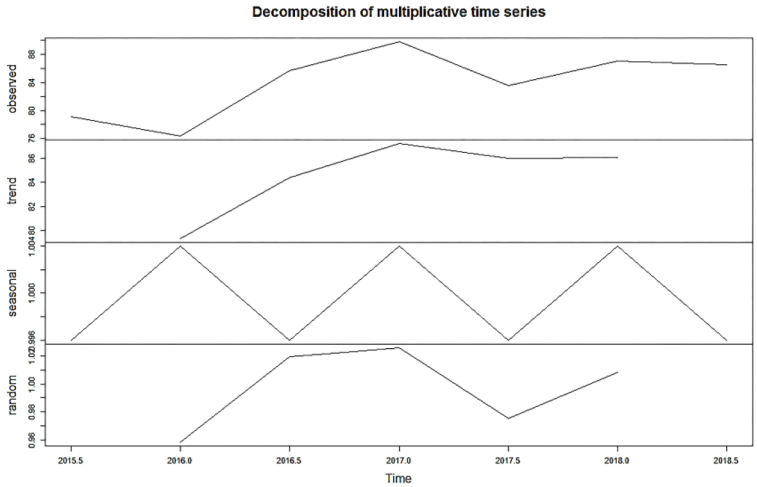


Figura 7 – Descomposición multiplicativa de la serie temporal

Como se puede visualizar en la figura 7, la serie temporal tiene una tendencia creciente que inicia desde el primer periodo del 2016 y posee una estacionalidad que se repite para cada año iniciando desde el segundo periodo de 2015.

2.3. Diseño de la red neuronal

La siguiente etapa consiste en el diseño de la red neuronal que ejecutará el pronóstico. Inicialmente empleando el paquete *nnfor* en RStudio se ejecutó un modelo de red neuronal con ajuste automático. En (Crone y Kourentzes, 2010), se demostró que a pesar de la gran variedad de configuraciones y ajustes que se pueden realizar sobre una red neuronal para aplicaciones de pronóstico, una metodología para el modelado automático MLP para series temporales con frecuencias de tiempo arbitraria, brinda excelentes resultados por medio de la ejecución de filtros neurales iterativos para la evaluación de características que permita detectar automáticamente las frecuencias de la serie temporal, coberturas embebidas para construcción de características, transformación de características y selección de características.

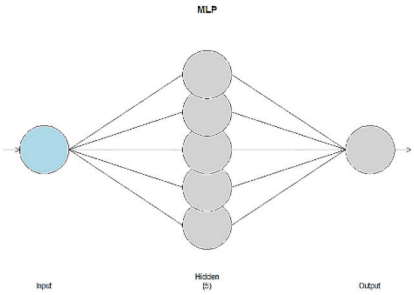


Figura 8 – Estructura de la MLP en configuración automática

De esta manera, mediante la función *mlp* sin rezagos de diferenciación, y diferenciación estacional automática, la red neuronal en configuración automática entregó un modelo multicapa con 5 nodos en una capa oculta, 1 regresor y ejecutada con 20 repeticiones, la cual entregó un error cuadrático medio de 0.5139. La estructura de la red neuronal se presenta en la figura 8, si bien el MSE obtenido es aceptable, este se puede mejorar mediante técnicas de reconfiguración en las capas ocultas de la red neuronal, reentrenamiento y mejoramiento (Herrera et al. 2019).

3. Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestran las pruebas y modificaciones experimentales efectuadas en las capas ocultas de la red neuronal multicapa se efectúan añadiendo neuronas en la capa 1 hasta el punto donde la reducción del MSE deja de ser considerable, en ese momento se avanza a modificar la capa 2 añadiendo neuronas y finalmente se procede con la capa 3. Cabe recalcar que la adición de neuronas mejora la precisión de la MLP pero provoca mayor costo computacional y tiempo de ejecución por lo que se procede hasta que la disminución del MSE deja de ser considerable, como se muestra en la tabla 3.

Capa oculta 1			**Capa oculta 2**			**Capa oculta 3**		
Código entrenamiento	**Nº. de neuronas**	**MSE**	**Código de entrenamiento**	**Nº. de neuronas**	**MSE**	**Código de entrenamiento**	**Nº. de neuronas**	**MSE**
Fit01_1	2	8.8832	Fit02_1	1	0.0503	Fit03_1	1	0.0176
Fit01_2	2	8.4191	Fit02_2	2	0.0308	Fit03_2	2	0.0070
Fit01_3	3	7.9281	Fit02_3	3	0.0218	Fit03_3	3	0.0056
Fit01_4	4	0.1561	Fit02_4	4	0.0288	Fit03_4	4	0.0028
Fit01_5	5	0.1268	Fit02_5	5	0.0227	Fit03_5	5	0.0028
Fit01_6	6	0.0667	Fit02_6	6	0.0164	Fit03_6	6	0.0017
Fit01_7	7	0.0976	Fit02_7	7	0.0188	Fit03_7	7	0.0017
Fit01_8	8	0.0949	Fit02_8	8	0.0179	Fit03_8	8	0.0009
Fit01_9	9	0.0673	Fit02_9	9	0.0210	Fit03_9	9	0.0008
Fit01_10	10	0.0560	Fit02_10	10	0.0176	Fit03_10	10	0.0007
Fit01_11	11	0.0618	Fit02_11	11	0.0248	Fit03_11	11	0,0003
Fit01_12	12	0.0639	Fit02_12	12	0.0284	Fit03_12	12	0,0006

Tabla 3 – Experimentos para mejorar la configuración de las capas ocultas

De los experimentos efectuados mediante la adición de neuronas en las capas ocultas se logró una reducción del MSE hasta 3×10^{-3}, con un modelo de 3 capas ocultas con 10, 10 y 11 neuronas respectivamente con retrasos univariados cada 2 periodos y ejecutada con 200 repeticiones. Una vez alcanzada esta estructura mejorada, se procede a reentrenar a la red durante 7 etapas con 20 repeticiones cada una. Los resultados de la etapa de reentrenamiento se muestran en la tabla 4.

Etapa	Fit 1	Fit 2	Fit 3	Fit 4	Fit 5	Fit 6	Fit 7
MSE	0.0003	0.0003	0.0006	0.0001	0.0002	0.0005	0.0005

Tabla 4 – Etapas de reentrenamiento de la red neuronal multicapa

Finalmente la estructura de la red neuronal del modelo Fit_4 obtuvo un MSE de 1×10^{-3} y su estructura así como el pronóstico para los 2 próximos periodos y su serie temporal se muestran en las figuras 9 y 10.

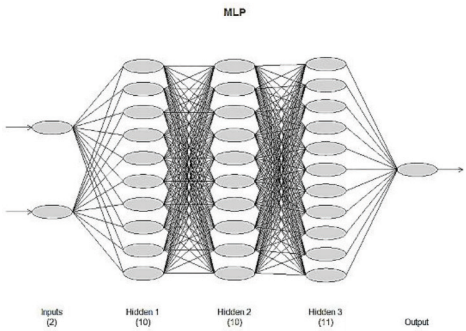


Figura 9 – Estructura del perceptrón multicapa MLP reentrenado empleado para el pronóstico

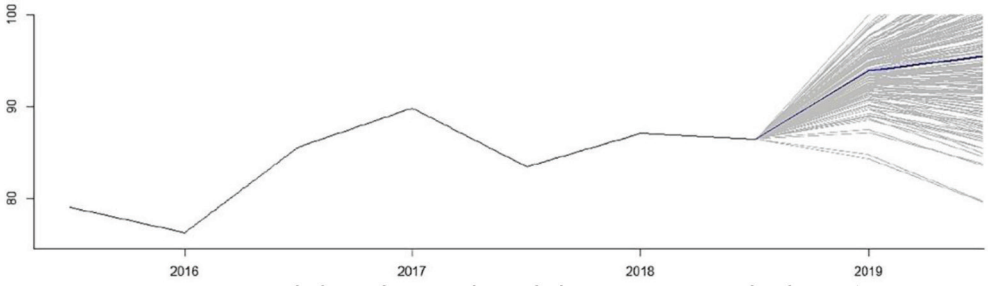


Figura 10 – Serie temporal obtenida para el uso de las TIC incorporado el pronóstico para los periodos marzo 2019 - agosto 2019 y septiembre 2019 – febrero 2020

Finalmente, los valores del pronóstico correspondientes a los puntajes en el uso de las TIC por parte de los docentes y sus correspondientes porcentajes se detallan en la tabla 5.

Periodo	Puntaje	Porcentaje
Marzo 2019 - Agosto 2019	4.691	93.82
Septiembre 2019 – Febrero 2020	4.767	95.34

Tabla 5 – Pronóstico de puntajes promedio del desempeño de los docentes en el componente TIC para los próximos periodos académicos

3. Conclusiones

La construcción de una estructura factorial permite reducir la dimensionalidad de un constructo ya sea en componentes principales PCA o factores AFE dependiendo del caso. En el caso del instrumento de evaluación docente de la UTN se aplicó una estructura de factores ya que a partir de estos se diseñan las preguntas que compondrán al constructo. Sin embargo, al disponer de las bases de datos con las respuestas completas de cada una de las más de 7000 encuestas obtenidas en cada periodo se pueden proponer nuevas estructuras factoriales que permitan extraer nuevos componentes que sean de interés en la investigación, o incluso sugerir modificaciones para que el constructo existente vaya mejorando, lo que se puede verificar a través de sus fit índices.

En este caso de estudio se diseñaron nuevas estructuras factoriales para cada periodo que permitieron emplear un nuevo constructo que incorpore el componente de las TIC, demostrando que esto no afecta la validez ni la fiabilidad del instrumento, y permitiendo extraer los puntajes para el uso de las TIC en cada periodo.

Una vez obtenidas las puntuaciones promedio de los promedios de las puntuaciones de los docentes de la FICAYA en el uso de las TIC, se creó una serie temporal que, mediante su descomposición multiplicativa, permitió analizar su estacionalidad, aleatoriedad y tendencia. El objetivo principal de la presente investigación fue verificar la tendencia de la puntuación de uso de las TIC que los docentes obtuvieron en el transcurso del tiempo para las evaluaciones realizadas, notándose una tendencia creciente que se ha ratificado incluso mediante un pronóstico por redes neuronales multicapa de los puntajes que se esperan para los próximos dos periodos donde se obtuvieron valores de 93.82 y 95.34 respectivamente con un MSE de 0.0001 lo que permite inferir que la tendencia de crecimiento de este puntaje se mantendrá en los próximos periodos.

Finalmente, se puede concluir que la implementación y uso de las TIC en la práctica docente en la UTN ha mejorado y mantiene su tendencia creciente guardando estrecha relación con la implementación del sistema de evaluación docente, ya que en la serie temporal inicialmente se presentaba una tendencia decreciente que pasó a convertirse en creciente a partir de la implementación de dicho sistema.

Referencias

A. Jácome, J. Caraguay y J. García, «Portafolio electrónico integrado, gestor de evidencias para cumplimiento de indicadores de calidad,» de Sexta Conferencia de Directores de Tecnología de Información, TICAL2016, Buenos Aires, 2016.

U. T. d. Norte, «Reglamento de evaluación integral de desempeño del personal académico de la UTN,» Ibarra, 2015.

M. Toland y R. De Ayala, «A MULTILEVEL FACTOR ANALYSIS OF STUDENTS' EVALUATIONS OF TEACHING,» Educational and Psychological Measurement, vol. 65, nº 2, pp. 272 - 296, 2005.

A. Zambrano y E. Gutiérrez, «Análisis multivariado de la evaluación docente estudiantil. Un caso de estudio,» Comunicaciones en Estadística, vol. 11, nº 1, pp. 129 - 150, 2018.

M. Martínez, J. Carot, J. Jabaloyes y M. Zarzo, «A multivariate method for analyzing and improving the use of student evaluation of teaching ques-tionnaires: a case study,» Qual Quant (2011) Springer Science+Business Media B.V. , nº 45, pp. 1415 - 1427, 2010.

J. Batista, G. Coenders y J. Alonso, «Análisis Factorial Confirmatorio. Su utilidad en validación de cuestionarios relacionados con la salud,» Med. Clin., vol. 1, nº 122, pp. 21 - 27, 2004.

Ord K., Fildes R., Kourentzes N. (2017) Principles of Business Forecasting 2e. Wessex Press Publishing Co., Chapter 10.

Kourentzes N., Barrow B.K., Crone S.F. (2014) Neural network ensemble operators for time series forecasting. Expert Systems with Applications, 41(9), 4235-4244.

Kourentzes, N., Petropoulos, F., Trapero, J. R., 2014. Improving forecasting by estimating time series structural components across multiple frequencies. International Journal of Forecasting 30 (2), 291–302.

Crone S.F., Kourentzes N. (2010) Feature selection for time series prediction – A combined filter and wrapper approach for neural networks. Neurocomputing, 73(10), 1923-1936.

Herrera I., Chicaiza J., Herrera E., Lorente L., Caraguay J., Santillán I. & Peluffo D. (2019), Artificial Neural Networks for Bottled Water Demand Forecasting: A Small Business Case Study. *Advances in Computational Intelligence*. Springer cham. DOI: 10.1007/978-3-030-20518-8_31

Lorente L., Pavón J., Montero Y., Herrera I., Herrera E., Peluffo & D. (2019), Artificial Neural Networks for Urban Water Demand Forecasting: A Case Study. *Journal of Physics Conference Series* DOI: 10.1088/1742-6596/1284/1/012004

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

Recebido/Submission: 24/03/2019
Aceitação/Acceptance: 29/06/2019

Factores determinantes de la retención universitaria: Un caso de estudio en el Ecuador a partir del modelo de Tinto

Alban Mayra[1], Veloz Marco[2], Vizcaíno Gloria[3]

mayra.alban@utc.edu.ec, marco.veloz@utc.edu.ec, gloria.vizcaino@utc.edu.ec

[1] Universidad Técnica de Cotopaxi,050150, Latacunga, Ecuador

Pages: 413–424

Resumen: La deserción estudiantil en las universidades ecuatorianas se ha convertido en la última década en un problemática que genera efectos negativos que afectan a las universidades y al alumno. Determinar mecanismos que permitan el incremento de las tasas de retención de los estudiantes universitarios se ha convertido en un reto para los administradores de las instituciones de educación superior. El objetivo de la presente investigación es medir el impacto que tienen los factores identificados en la retención estudiantil universitaria a través de la evaluación del nivel de rendimiento académico como variable dependiente. Se utilizó el método de regresión lineal a través mínimos cuadrados ordinarios, los datos se obtuvieron mediante una encuesta en línea a 288 estudiantes de una universidad pública del Ecuador. Los resultados obtenidos permiten identificar 7 factores que influyen positivamente y negativamente en la retención de los estudiantes en las universidades.

Palabras-clave: retención de estudiantes; regresión lineal; mínimos cuadrados ordinarios.

Determinants of university retention: A case study in Ecuador

Abstract: Student desertion in Ecuadorian universities has become in the last decade a problem that generates negative effects that affect the universities and the student specifically. Determining mechanisms that allow the increase of retention rates of university students has become a challenge for administrators of higher education institutions. The objective of this research is to measure the impact of the factors identified in the university student retention through the evaluation of the level of academic performance as a dependent variable. We used the linear regression method through ordinary least squares, the data was obtained through an online survey of 288 students from a public university in Ecuador. The results obtained allow identifying 7 factors that positively and negatively influence the retention of students in universities.

Keywords*: student retention; linear regression; ordinary least squares.*

1. Introducción

Los cambios económicos en los sectores de la producción de bienes disminuyen su prevalencia en relación al sector de servicios, dado que su expansión basada en el conocimiento demandan de una mayor cualificación académica y profesional (Drucker, 2002), siendo éste uno de los factores clave en el amplio crecimiento de la educación superior en el mundo y particularmente en América Latina, en el que se registra un crecimiento importante de la matrícula en la educación terciaria. Este crecimiento de matrícula también genera una serie de dificultades y limitaciones al interior de las Instituciones de Educación Superior (IES). Siendo la permanencia o retención estudiantil un fenómeno presente en las IES, que ha tenido gran interés de estudio y que ha sido considerado como un fenómeno multicausal en el que se desenvuelven una serie de factores personales e institucionales (Bethencourt, J.T., Cabrera, L. Hernández, J.A., Álvarez, P., & González, M, 2008).

La permanencia estudiantil universitaria es una problemática compleja que se deriva de un conjunto de factores cuyo origen es variado. Hasta el momento, los estudios sobre tal problemática dan cuenta de varios modelos predictivos con variables que podrían interrelacionarse, como los modelos de Spady (1970), Astin (1984), Ethington (1990), Pascarella y Terenzini (1991), Tinto (1975, 1993, 2014). Siendo el modelo de Vicent Tinto el de mayor aceptación alcanzada en la comunidad académica y a partir del cual varios estudios se han realizado. En general, el Modelo de Tinto sugiere que la permanencia de un estudiante en la institución educativa está mediada por el grado de integración académica y social alcanzado con sus pares y con la institución. En otras palabras, Tinto propone que en dependencia del tejido social y académico que el estudiante haya logrado con su entorno y por tanto con los agentes institucionales como profesores, alumnos, actividades extracurriculares, éste definirá su permanencia o no en la institución.

La retención estudiantil universitaria cobra importancia en el contexto de educación superior, debido a la necesidad de las instituciones y los alumnos de terminar con éxito los programas de educación terciarios en el tiempo oficial de estudios (Báez, 2011). Sin embargo, a pesar de que en la literatura existe diversas investigaciones para tratar de solucionar el problema de la deserción, existen limitadas investigaciones que indaguen procesos de retención basados en vivencias de los estudiantes que son los actores principales (Báez, 2009). Así como también se puede señalar que al igual que en la deserción estudiantil universitaria no existe un consenso en la literatura respecto a la definición de la retención y su manera de medirla (canales, 2009). Por esta razón se considera importante analizar el nivel de impacto de las factores identificados en la retención de los estudiantes universitarios a través de un caso de estudia aplicado a 288 estudiantes de una universidad pública en el Ecuador, con la finalidad de obtener una herramienta de ayuda que permita a los administradores de las universidades establecer estrategias y políticas que permitan el incremento de las tasas de retención universitaria.

El documento se encuentra organizado en cuatro secciones, la sección 2 muestra el método aplicado para el proceso experimental de la investigación, en la sección 3 se presenta los resultados y finalmente en la sección 4 se presentan las conclusiones del estudio.

2. Metodología de Investigación

En esta etapa se presenta el método utilizado para el desarrollo del proceso experimental de la investigación, que consta de:

a. Conjunto de datos a través de una encuesta aplicada a estudiantes universitarios.
b. Analítica descriptiva de la población
c. Modelado de los datos a través de la técnica regresión lineal mediante mínimos cuadrados ordinarios.

2.1. Conjunto de datos

Para la obtención de los datos se aplicó una encuesta a 288 estudiantes de las carreras de ciencias humanas y ciencias técnicas de una universidad pública del Ecuador, que tuvo como objetivo determinar factores de retención estudiantil. La encuesta estuvo distribuida en cuatro secciones, la primera a conocer las características demográficas de los estudiantes encuestados, la segunda sección elaborada para conocer datos sobre temas de discapacidad de estudiantes, la tercera sección para conocer factores de retención estudiantil y la última sección para obtener preguntas que contribuyan al estudio.

La encuesta estaba distribuida con preguntas elaboradas a través de la escala de Likert en un rango de 1 a 5, en donde 1 es considerado como el menor valor de la escala y 5 el máximo valor.

2.2. Analítica descriptiva de la población

Los estudiantes que contestaron la encuesta corresponden a las carreras de Diseño Gráfico 12,85%, Sistemas de Información 70,83%, Electricidad 0,35%, Pedagogía de los Idiomas 15,97%. La población de género masculino encuestada corresponde a 59.38% mientras que la población femenina corresponde al 40.62%. Las edades con mayor porcentaje están en un rango de 17-21 años con el 48,96 % y los de 22-26 años con el 51,04 %.

Por otro lado, se puede identificar que la mayoría de los estudiantes provienen de colegios fiscales con un 76,74% y un 10,76% que provienen de colegios particulares y el 12.5 restante de colegios fiscomisionales. Respecto al estado civil de los alumnos se identifica que el 85,76% son solteros y el un 5,90% son casados, un 8,34% viven en unión libre. Respecto a la etnia, los estudiantes que se identificaron como mestizos corresponden al 88,89%, mientras que el 6,25% se identificaron como indígenas y el 4.86 se identificó con etnia montubio. Con relación a datos de discapacidad se pudo identificar que el 96,18 % de los estudiantes que completaron la encuesta señalaron no tener problemas de discapacidad, mientras que el 3,82% señalan presentar discapacidad.

3. Resultados y Discusión

En esta etapa se presenta los resultados del proceso de investigación, el cual consta de las siguientes etapas:

a. Análisis de fiabilidad de la encuesta
b. Modelado de los datos y discusión de los resultados

3.1. Análisis de fiabilidad de la encuesta

Se procede a determinar a través del estadístico Alfa de Cronbach el análisis de fiabilidad del instrumento aplicado. Este proceso fue realizado con el objetivo de determinar la validez y precisión de las preguntas planteadas, los resultados del proceso realizado a través del software SPSS se presentan en la Tabla 1.

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	Número de elementos
,899	,910	37

Tabla 1 – Estadísticos de fiabilidad

Como se puede evidenciar en la Tabla 1, el resultado obtenido corresponde 0,899, lo que indica que el instrumento utilizado presenta un alto grado de confiabilidad o fiabilidad de los datos.

3.2. Modelado de los datos

3.2.1. Codificación de las variables

Los factores analizados para el proceso de investigación se presentan en la Tabla 2, las cuales servirán como variables de ingreso al modelo de regresión lineal.

Cod	Factor
V26	Nivel de satisfacción con la educación universitaria recibida
V29	Experiencia académica adquirida en la educación media
V36	Actitud del docente con el estudiante
V41	Nivel de integración social con el grupo de estudiantes
V43	Satisfacción con mecanismos de motivación estudiantil
V49	Actitud de seguridad respecto al grupo
V51	Pertinencia con la universidad

Tabla 2 – Descripción de los factores

3.2.2. Estimación de las variables

Es un método de estimación muy utilizado cuando se realiza un ajuste del modelo de regresión lineal simple, permite obtener un hiperplano para poder minimizar la suma de los cuadrados de las distancias entre las observaciones de la variable y el mismo hiperplano (residuos). Además, de que este método permite sumar las distancias al cuadro y define como otro supuesto razonable que es arbitrario cuando se trata de acumular las distancias que deben ser manejadas y entendidas (Chirivella Gonzáles 2019).

El método de ajuste por mínimos cuadrados o regresión lineal permite obtener la pendiente de la recta y la ordenada del origen, correspondientes a la recta y=ax+b que mejor se ajusta a los n datos (x_i, y_i) es decir, permite establecer una relación funcional entre dos variables; donde (x) es la variable independiente y, (y) es la variable dependiente. En otras palabras (y) depende de (x) (Catarina 2006), ver Tabla 3.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
V26	0.229385	0.064203	3.572806	0.0004
V1	-0.010153	0.075786	-0.133964	0.8936
V18	-0.000124	0.018478	-0.006715	0.9946
V27	0.005307	0.063166	0.084012	0.9331
V28	0.034645	0.032200	1.075940	0.2831
V29	0.098684	0.032460	3.040163	0.0026
V31	-0.071265	0.048732	-1.462370	0.1450
V32	0.070217	0.045295	1.550216	0.1225
V34	0.040511	0.049203	0.823327	0.4112
V35	0.056608	0.061897	0.914552	0.3614
V36	-0.108561	0.053321	-2.035986	0.0429
V37	0.017577	0.060821	0.288998	0.7728
V38	0.041612	0.044716	0.930600	0.3531
V39	0.002584	0.052487	0.049239	0.9608
V40	-0.000763	0.061679	-0.012371	0.9901
V41	-0.163962	0.049597	-3.305909	0.0011
V42	0.085383	0.080178	1.064923	0.2881
V43	0.162834	0.065196	2.497607	0.0132
V44	0.051155	0.053335	0.959123	0.3385
V45	0.012749	0.066843	0.190728	0.8489
V46	-0.034052	0.048474	-0.702490	0.4831
V47	0.013287	0.033113	0.401264	0.6886
V48	0.027776	0.041299	0.672558	0.5019
V49	0.180535	0.050646	3.564645	0.0004
V50	-0.003144	0.045525	-0.069066	0.9450
V51	-0.157935	0.061855	-2.553328	0.0113
V52	0.000999	0.046389	0.021546	0.9828
V53	-0.026346	0.027741	-0.949706	0.3433
V54	-0.024217	0.053973	-0.448689	0.6541
V55	0.013158	0.036100	0.364488	0.7158
V57	0.057369	0.051833	1.106807	0.2696
C	1.291498	0.391661	3.297490	0.0011

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R-squared	0.439924	Mean dependent var		3.701550
Adjusted R-squared	0.360269	S.D. dependent var		0.660207
S.E. of regression	0.528054	Akaike info criterion		1.679720
Sum squared resid	62.73934	Schwarz criterion		2.134168
Log likelihood	-183.6839	Hannan-Quinn criter.		1.862456
F-statistic	5.522855	Durbin-Watson stat		1.962405
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 3 – Modelo inicial a través Regresión lineal

Hurtado (2016) menciona que el método de mínimos cuadrados se aplica para ajustar rectas a una serie de datos presentados como punto en el plano. En la tabla 3 se presenta el resultado del proceso de estimación de las variables. Se utilizó el factor rendimiento académico (V30) como variable dependiente, mientras que los factores satisfacción con la educación universitaria recibida (V26), experiencia académica adquirida en la educación media (V29), actitud del docente con el estudiante (V36), integración social (V41), satisfacción con mecanismos de motivación estudiantil (V43), actitud de seguridad respecto al grupo de compañeros (V49), pertinencia con la universidad (V51) corresponden a las variables independientes.

3.2.3. Comprobación del modelo

Dependent Variable: V30 **Method: Least Squares** **Date: 07/02/19 Time: 13:08** **Sample: 1 279** **Included observations: 272**				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
V26	0.281497	0.048032	5.860599	0.0000
V29	0.108030	0.028384	3.806053	0.0002
V36	-0.025837	0.042362	-0.609920	0.0429
V41	-0.127460	0.038652	-3.297636	0.0011
V43	0.229691	0.049307	4.658418	0.0000
V49	0.190973	0.034395	5.552404	0.0000
V51	-0.085055	0.045688	-1.861645	0.0638
C	1.518677	0.216723	7.007470	0.0000
R-squared	0.406553	Mean dependent var		3.691176
Adjusted R-squared	0.390818	S.D. dependent var		0.665599
S.E. of regression	0.519501	Akaike info criterion		1.557073

Dependent Variable: V30			
Method: Least Squares			
Date: 07/02/19 Time: 13:08			
Sample: 1 279			
Included observations: 272			
Sum squared resid	71.24853	Schwarz criterion	1.663126
Log likelihood	-203.7619	Hannan-Quinn criter.	1.599649
F-statistic	25.83696	Durbin-Watson stat	1.960612
Prob(F-statistic)	0.000000		

En la Tabla 4, se presenta el resultado del modelo de ajuste en el cual se eliminan las variables que no son estadísticamente significativas. Como se puede observar el resultado del corrido del modelo a través del software Eviews determina que las variables más significativas corresponden a V26, V29, V36, V41, V43, V49, V51 con un nivel de significancia de *p.value (prob)*< 0.005.

Como se puede observar la Figura 1, presenta los residuos del modelo que presentan una distribución normal, lo que da mayor validez al modelo propuesto.

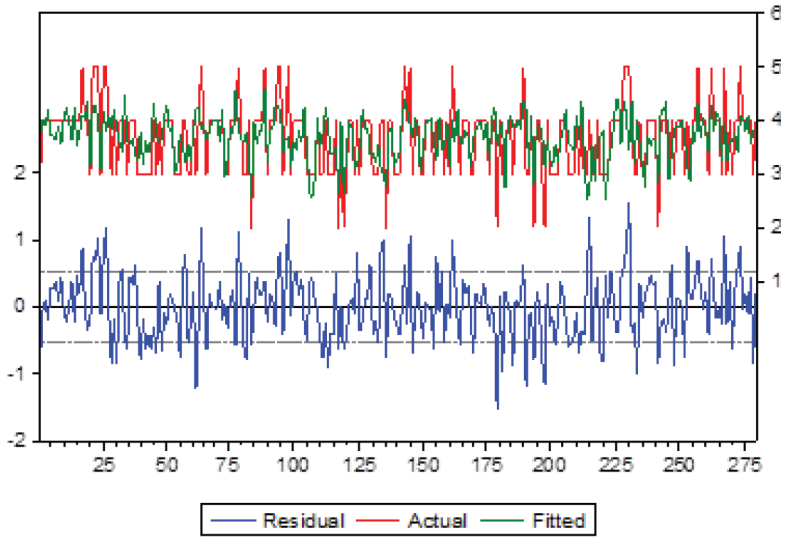


Figura 1 – Residuos del modelo propuesto

Supuesto de Normalidad de los datos

A través del Test Jarque-Bera basada en la asimetría clásica y el coeficiente de kurtosis (Gel, 2008), permite establecer la bondad de ajuste de los datos para determinar que los mismos pertenecen a una distribución normal, tal como se muestra en la Figura 2.

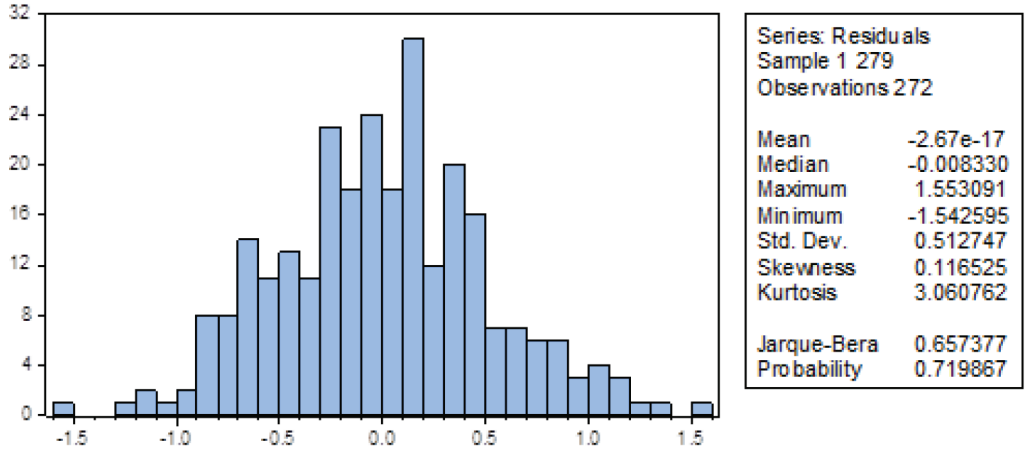


Figura 2 – Resultados del Test de normalidad de los datos

Supuesto de Heterocedasticidad

En esta etapa del procesamiento de datos se aplica el Test de Breusch Pagan Godfrey, que permite determinar si los datos son homogéneos a través de determinar la regresión de los residuos cuadrados en los regresores por defecto considerando la siguiente ecuación: Variable Dependiente = Resid ^2 y los regresores las v26 v29 v36 v41 v43 v49 v51 c. Las hipótesis planteadas fueron consideradas bajo las siguientes opciones:

Ho= no existe heterocedasticidadad

H1= existe heterocedasticidadad

Como se puede observar en la Tabla 4, el valor de R-squared corresponde a 0.032, el número de observaciones igual a 272 y el valor de F corresponde a 9.068. Entonces:

$$0.032*272 < 9.068, \text{ en donde } 8{,}7004 < 9.068$$

Con base a los resultados obtenidos en donde 8,7004 < 9.068, se acepta la Ho y se rechaza la H1, es decir, el proceso experimental permitió determinar que no existe heterocedasticidad en los datos presentados.

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey			
F-statistic	1.300809	Prob. F(7,264)	0.2500
Obs*R-squared	9.068800	Prob. Chi-Square(7)	0.2478
Scaled explained SS	8.802737	Prob. Chi-Square(7)	0.2671
Test Equation:			
Dependent Variable: RESID^2			
Method: Least Squares			

Date: 07/02/19 Time: 13:26				
Sample: 1 279				
Included observations: 272				
Variable	**Coefficient**	**Std. Error**	**t-Statistic**	**Prob.**
C	0.501812	0.156552	3.205405	0.0015
V26	-0.012656	0.034697	-0.364764	0.7156
V29	-0.024387	0.020503	-1.189437	0.2353
V36	-0.026085	0.030601	-0.852448	0.3947
V41	0.000191	0.027921	0.006855	0.9945
V43	0.004500	0.035617	0.126330	0.8996
V49	0.048126	0.024845	1.937034	0.0538
V51	-0.045834	0.033003	-1.388770	0.1661
R-squared	0.033341	Mean dependent var		0.261943
Adjusted R-squared	0.007710	S.D. dependent var		0.376722
S.E. of regression	0.375267	Akaike info criterion		0.906611
Sum squared resid	37.17782	Schwarz criterion		1.012664
Log likelihood	-115.2991	Hannan-Quinn criter.		0.949188
F-statistic	1.300809	Durbin-Watson stat		2.042140
Prob(F-statistic)	0.250050			

Tabla 5 – Resultado del supuesto de heterocedasticidad

3.2.4. Explotación o Interpretación de los datos

Los resultados del modelo final se presentan en las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. El comando de estimación corresponde a: LS V30, V26, V29, V36, V41, V49, V51 C.

Estimación de la ecuación:

V30 = C(1)*V26 + C(2)*V29 + C(3)*V36 + C(4)*V41 + C(5)*V43 + C(6)*V49 + C(7)*V51 + C(8) (1)

Peso de los coeficientes:

V30 = 0.281497082121*V26 + 0.108030349162*V29 - 0.025837411498*V36 - 0.127459745194*V41 + 0.229690923038*V43 + 0.190973144777*V49 - 0.0850550333712*V51 + 1.51867703932 (2)

Como se puede evidenciar en la formula (2) los valores de β *son* estadísticamente significativos dentro del modelo, muestran en muchos casos el impacto positivo o negativo de la variable rendimiento académico, tal como se pude comprobar en la Grafica 3, en donde la nube de puntos los factores identificados resultado de la aplicación de los instrumentos determina el comportamiento directo e indirecto de cada una de los factores.

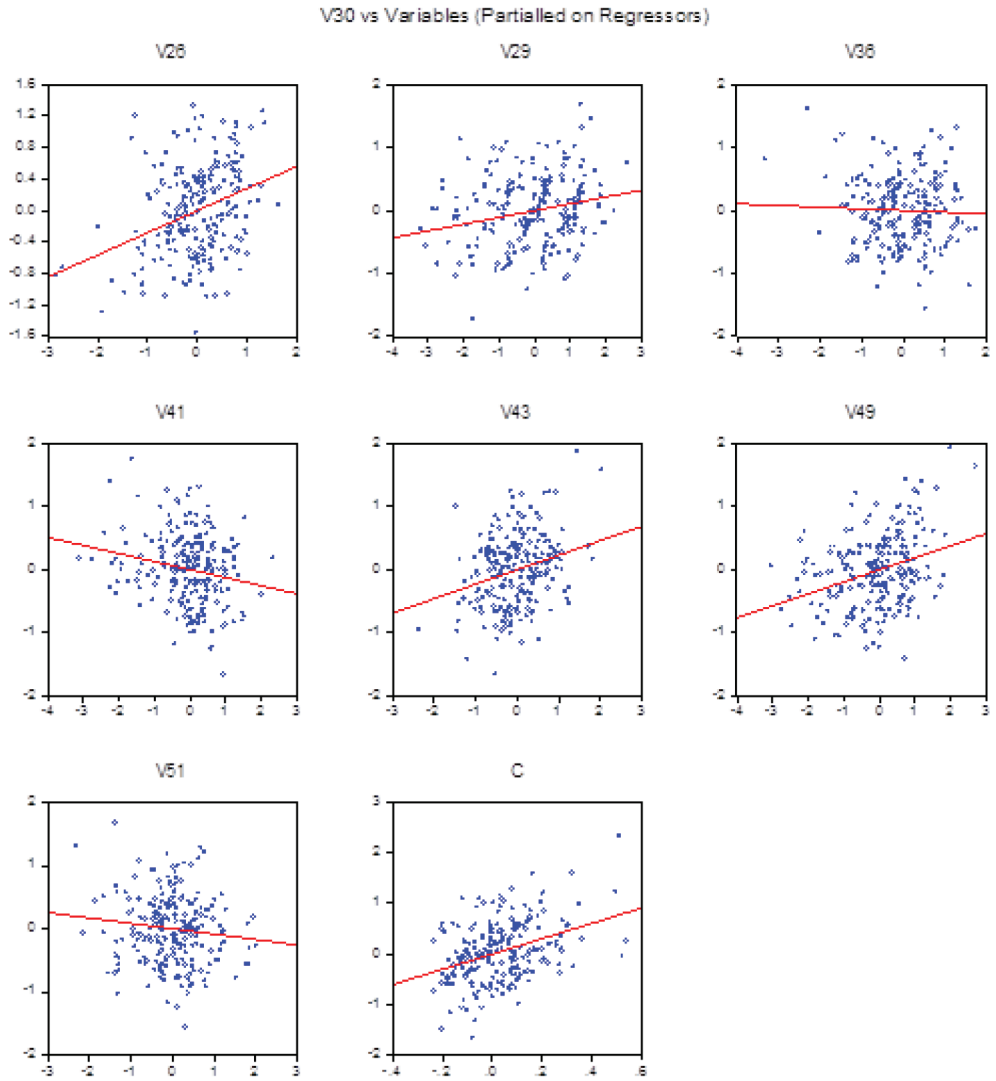


Figura 2 – Resultados aplicación de mínimos cuadrados

Los resultados permiten evidenciar que los factores V26, V29, V36 y V51 tienen una relación inversa como se puede visualizar en la gráfica y en los coeficientes β. Lo que indica que a menor satisfacción del alumno con la educación recibida en la universidad, una menor experiencia académica adquirida en la educación secundaria, un disminución en el compromiso del docente con los estudiantes y una disminución en la pertinencia del alumno hacia su institución de formación universitaria, conlleva a la disminución del rendimiento académico y como resultado se obtendría una disminución en la permanencia

de los alumnos en las universidades. Por el contrario los valores de β de signo positivo para las variables V41, V43 y V49 podría ser interpretados como el incremento de la integración social del alumno con su grupo de compañeros, el incremento del nivel de satisfacción respecto a los mecanismos implementados por la universidad para que el alumno se sienta motivado y un en la actitud de seguridad del alumno para expresarse frente a sus compañeros podría aumentar el rendimiento académico del alumno y por lo tanto la permanencia estudiantil.

4. Conclusiones

La retención de los estudiantes debería ser considerada como un elemento de prioridad en las instituciones de Educación Superior, debido a que a permanencia estudiantil universitaria es una problemática compleja que se deriva de un conjunto de factores cuyo origen es variado. Del proceso de análisis se puede concluir que la base de datos puede estar sujeta a criterios de subjetividad. Sin embargo al aplicar Alpha de Cronbach se puede establecer el nivel de validez y confianza de la recolección y procesamiento de la información. La regresión lineal a través de mínimos cuadrados permite determinar el impacto que existe entre la variable explicada (rendimiento académico) y las variables explicativas (V26, V29, V36, V41, V43, V49, V51), por lo que se puede asumir mediante la estadística y econometría que la teoría de Tinto tiene un razonamiento lógico en este tipo de estudios. De igual manera, se pudo establecer que los factores nivel de satisfacción con la educación universitaria recibida (V26), experiencia académica adquirida en la educación media (V29), actitud del docente con el estudiante (V36), integración social (V41), satisfacción con mecanismos de motivación estudiantil (V43), actitud de seguridad respecto al grupo de compañeros V(49), pertinencia con la universidad (V51) fueron las variables estadísticamente significativas, lo que indica que influyen positiva y negativamente en la permanencia estudiantil.

Referencias

Acosta, Carina. 2016. “La Deserción Universitaria Bordea El 40%.” Retrieved June 28, 2019 (https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/la-desercion-universitaria-bordea-el-40).

Astin, H. S. (1984). The Meaning of Work in Women’s Lives A Sociopsychological Model of Career Choice and Work Behavior. *The counseling psychologist*, *12*(4), 117–126.

Báez, C. P., & Ortiz, A. P. (2009). Programas exitosos de retención estudiantil universitaria: las vivencias de los estudiantes. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (28), 1–30.

Báez, C. P., Ortiz, A. P., & Moreno, I. D. (2011). Efectividad de las estrategias de retención universitaria: la función del docente. *Educación y educadores*, *14*(1), 7.

Bethencourt J.T., Cabrera, L. Hernández, J.A., Álvarez, P., & González, M. (2008). Variables psicológicas y educativas en el abandono universitario. *Revista electrónica de Investigación Psicoeducativa*, *6*(3), 603–622

Carvajal, Rosa Arancibia, Carmen Trigueros Cervantes, Rosa Arancibia Carvajal, and Carmen Trigueros Cervantes. 2017. "Aproximaciones a La Deserción Universitaria En Chile." *Educação e Pesquisa* 44(0).

Canales, A., & De los Ríos, D. (2009). Retención de estudiantes vulnerables en la educación universitaria. *Calidad en la Educación*, (30), 50–83.

Catarina, Ivonne. 2006. "Método de Los Mínimos Cuadrados Ordinarios." *Universidad de La Américas Puebla* 1:41–44.

Chirivella Gonzáles, Vicente. 2019. "Hipótesis En El Modelo de Regresión Lineal Por Mínimos Cuadrados Ordinarios." *Univeridad Politécnica de Valencia* 8.

Climent Hernández, José Antonio, Luis Fernando Hoyos Reyes, and Marissa Rosario Martínez Preece. 2017. "Formulación de Un Modelo Híbrido Alfa-Estable Para Mercados Con Operación de Alta Frecuencia." *Contaduría y Administración* 63(4):58.

Drucker, P. (2012). *Managing in the next society*. Routledge.

Ethington, C. A. (1990). A psychological model of student persistence. *Research in higher education*, *31*(3), 279–293.

Gel, Y. R., & Gastwirth, J. L. (2008). A robust modification of the Jarque–Bera test of normality. *Economics Letters*, *99*(1), 30–32.

Heredia Alarcón, Manuel, Marcelino Andía Ticona, Helder Ocampo Guabloche, José Ramos Castillo, Amado Rodríguez Caldas, Catalina Tenorio, and Karim Pardo Ruiz. 2015. "Deserción Estudiantil En Las Carreras de Ciencias de La Salud En El Perú." *Anales de La Facultad de Medicina* 76:57.

Hurtado Crúz, Esteban Rubén. 2016. "El Método de Mínimos Cuadrados." *Facultad de Ciencias UMAN* 1:2–5.

Londoño Ardila, Luis Felipe. 2013. "Factores de Riesgo Presentes En La Deserción Estudiantil En La Corporación Universitaria Lasallista Risk." *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte* 38:183–94.

Novales, Alfonso. 2010. "Análisis de Regresión." Universidad Complutense.

Pascarella, E. T., & Terenzini, P. T. (1983). Predicting voluntary freshman year persistence/withdrawal behavior in a residential university: A path analytic validation of Tinto's model. *Journal of educational psychology*, *75*(2), 215.

Spady, W. G. (1971). Dropouts from higher education: Toward an empirical model. *Interchange*, *2*(3), 38-62.into, V., & Pusser, B. (2006). Moving from theory to action: Building a model of institutional action for student success. *National Postsecondary Education Cooperative*, 1–51.

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

Recebido/Submission: 20/04/2019
Aceitação/Acceptance: 17/07/2019

Personalización de algoritmo para auditar base de datos en Instituciones de Educación Superior

Henry Recalde[1], Paúl Francisco Baldeón Egas[1], Miguel Alfredo Gaibor Saltos[1], Renato Toasa[1]

hrecalde@uisrael.edu.ec, pbaldeon@uisrael.edu.ec, canciller@uisrael.edu.ec, rtoasa@uisrael.edu.ec

[1] Universidad Tecnológica Israel

Pages: 425–436

Resumen: Entre los principales problemas que enfrentan los sistemas académicos en Instituciones de Educación Superior (IES) está la seguridad de información, los procesos que se llevan a cabo generan datos sensibles y en muchos casos, estos sistemas carecen de una correcta auditoría de eventos en sus registros. Existen soluciones para realizar auditoría, pero permiten una implementación genérica, que no es muy clara al momento de hacer un control de cambios. En este trabajo proponemos el desarrollo de un algoritmo personalizado para recolectar datos relevantes y generar tablas logs, para posteriormente, auditar y mostrar cambios que se generan con los registros de la tabla. La ejecución del algoritmo fue muy satisfactoria, se generaron tablas log que muestran información completa de cambios en un registro de la tabla o tablas seleccionadas. Con esta información los administradores del sistema, toman oportunamente decisiones evitando que la información sea alterada, garantizando la integridad de la misma.

Palabras-clave: Institución de Educación Superior; auditoria; algoritmo personalizado; log; información

Temporal analysis and forecast of the ICT use, employing teaching evaluation data of a Higher Education Institution

Abstract: Among the main problems faced by academic systems in Higher Education Institutions (HEI) is information security, the processes carried out generate sensitive data and in many cases, these systems lack a correct audit of events in their records. There are solutions for auditing, but they allow a generic implementation, which is not very clear at the time of making a change control. In this work we propose the development of a customized algorithm to collect relevant data and generate logs tables, to later audit and show changes that are generated with the records of the table. The execution of the algorithm was very satisfactory, log tables were generated that show complete information of changes in a record of the selected table or tables. With this information, the system administrators make timely decisions avoiding that the information is altered, guaranteeing its integrity.

***Keywords**:* Higher Education Institution; audit; personalized algorithm; log; information.

1. Introducción

La auditoría de Base de Datos (BDD) es un factor muy importante en la mayoría de los sistemas que utilizan las empresas del mundo, indiferentemente del área de negocio en el que se encuentren, la información que se almacena es sustancial y la mayoría de veces es crítica, que al ser afectada puede ocasionar que la empresa deje de funcionar de forma correcta (Orman, 2001). Con el gran avance tecnológico en el área de las BDD, se crearon poderosas herramientas para gestionar y controlar grandes cantidades de información, pero también crecieron las vulnerabilidades, que al no ser controladas pueden ocasionar grandes pérdidas para las empresas.

La auditoría, en cualquier área de negocio, es una herramienta muy importante que permite identificar los riesgos o problemas presentados en una entidad, y a su vez, permite dar una pronta solución a los problemas encontrados. En el ámbito educativo, específicamente en las IES, poco se conoce de auditorías enfocadas en el área académica que evidencian las fallas en la gestión y el proceso enseñanza–aprendizaje (Méndez-Aguirre & Oliveros-Vargas, 2016).

La mayoría de sistemas de auditoría se han enfocado principalmente en sistemas financieros y bancarios (Rus, 2015), actualmente estos sistemas no deben ser considerados un lujo sino una necesidad que tienen todas las empresas de cualquier área.

La necesidad de manejar grandes volúmenes de información de una manera rápida y segura han obligado a los directivos de Tecnologías de Información (IT) a recurrir a soluciones informáticas muy costosas, pero necesarias. Los sistemas implementados con BDD disponen de diversas herramientas que permiten el manejo eficaz de los datos importantes de una empresa, pero cuando se trata de auditoría de datos las herramientas degradan su rendimiento (García, 2006).

Diversos estudios han demostrado la importancia de realizar auditorías académicas en IES, en los cuales las técnicas y procedimientos óptimos que se debe utilizar son: la recolección de información y evidencia, análisis y estudio de políticas.

Por otro lado Rogelio (2012) proponen “los aspectos que deben considerarse en una auditoría académica para estudios a nivel de postgrado en especialidades médicas como la planeación de actividades académicas, funcionamiento de los sistemas de control, cumplimiento a las leyes, entre otras importantes consideraciones”.

En el caso específico de las IES, es necesario desarrollar una estrategia que permita realizar una correcta aplicación de la auditoría para salvaguardar la información, varias IES ya han implementado técnicas de auditoría con el objetivo de garantizar la integridad de su información y generar indicadores para la correcta toma de decisiones en sus actividades académicas.

Según Ortega, Avendaño, Gonzales, & Zúñiga (2010) “realizan un estudio en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Perú, en donde mencionan el

impacto de la auditoria académica y concluyen que las acciones de control permiten una correcta administración en los procesos". Adicionalmente en la Universidad de los Andes en Venezuela consideran a la auditoría como un medio de evaluación para sus personal (Docentes, investigadores, administrativos, estudiantes) (Huaman, 2016).

En Ecuador varias universidades han recibido ataques informáticos, se intentó violentar la seguridad del registro de calificaciones para alterar notas(El Diario EC, 2013), se identificó a tiempo los cambios en los datos gracias a las herramientas de auditoría que brindan los gestores de BDD, pero el análisis de esta información llevo algo de tiempo ya que los datos que generan estas herramientas son genéricas, es decir un informe global de toda la base de datos.

En base a lo mencionado anteriormente, en este documento abordamos el problema de auditoria a los datos que se relaciona con la toma de decisiones académicas de las IES, por lo tanto lo que proponemos es desarrollar un algoritmo personalizado que permita la generación de tablas de auditoría para guardar los cambios que un determinado registro tuvo desde su creación, modificación o eliminación, además de la generación de desencadenadores(triggers) para las operaciones de CRUD antes mencionadas, a las que un registro de una tabla puede experimentar a través del tiempo. Esta información recolectada de forma estructurada será útil para un posterior análisis de su auditoría.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe brevemente el problema abordado en este trabajo, a continuación, en la sección 3 se detalla la estructura de la propuesta, en la sección 4 se muestra el caso de estudio en donde se implementó la propuesta, en la sección 5 se realiza los test y resultados para validar el éxito de la propuesta, y finalmente en la sección 6 se detallan las conclusiones y trabajo futuro.

2. Definición Formal del Problema

El objetivo principal de este trabajo es proponer una alternativa libre y de fácil uso, que ayude a las instituciones de educación superior a realizar óptimas auditorías en sus bases de datos y le permita tomar decisiones acertadas en sus procesos académicos, para esto hemos definido las entidades principales que intervienen en el proceso de auditoría BDD académicas en IES.

2.1. Organización

La Institución de Educación Superior a la cual está enfocada el algoritmo propuesto se aplicó en una Universidad de Ecuador, de Quito Ecuador. El trabajo propuesto se implementó en la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL).

2.2. Tecno-estructura

La UISRAEL a partir de julio 2017 inicia con un proyecto de investigación, basado en el desarrollo de un sistema complejo de gestión mediante el levantamiento de los procesos académicos y administrativos, denominado Sistema Integrado de Gestión Estratégica (SIGE), en el cual se realiza la gestión de la universidad (Baldeón,2019).

Para la presente investigación se trabajó con el Módulo de Gestión Académica (MGA), concretamente con las tablas críticas relacionadas con registro de notas. La información que contiene las tablas seleccionadas son las que determinan la validez de aprobación o pérdida de las asignaturas, y que no deben ser modificadas por ningún motivo por personas no autorizadas.

2.3. Aspecto Legal

Toda persona jurídica del Ecuador en el ámbito legal está sujeto al Código Orgánico Integral Penal (COIP), en el cual en el caso de la investigación realizada sobre el tema de auditoría informática se basa en el Art. 232, que menciona sobre "El Ataque a la integridad de sistemas informáticos".

> *La persona que destruya, dañe, borre, deteriore, altere, suspenda, trabe, cause malfuncionamiento, comportamiento no deseado o suprima datos informáticos, mensajes de correo electrónico, de sistemas de tratamiento de información, telemático o de telecomunicaciones a todo o partes de sus componentes lógicos que lo rigen, será sancionada con pena privativa de libertad de tres a cinco años.*
>
> *Con igual pena será sancionada la persona que:*
>
> 1. Diseñe, desarrolle, programe, adquiera, envíe, introduzca, ejecute, venda o distribuya de cualquier manera, dispositivos o programas informáticos maliciosos o programas destinados a causar los efectos señalados en el primer inciso de este artículo.
> 2. Destruya o altere sin la autorización de su titular, la infraestructura tecnológica necesaria para la transmisión, recepción o procesamiento de información en general.
>
> Si la infracción se comete sobre bienes informáticos destinados a la prestación de un servicio público o vinculado con la seguridad ciudadana, la pena será de cinco a siete años de privación de libertad (Ministerio de Defensa del Ecuador, 2018).

3. Descripción de la Estructura del Algoritmo

La estructura del algoritmo propuesto se compone de 5 módulos*: i) Modulo de Definición de tablas*: Este módulo se encarga de definir las tablas a auditar, las cuales en base a un análisis previo se determinará qué tablas son importantes y criticas para la institución en estudio y que contienen la información sensible a ser auditada, *ii) Modulo de Verificación de Campos*: este módulo verifica los campos de las tablas a auditar, con la verificación para almacenar información de procesos mediante aplicaciones de clientes, se actualiza la estructura de las tablas para poder almacenar información necesaria del Front End para almacenar información importante de cambios a nivel del cliente, *iii) Modulo de creación de tablas log:* Una vez creada preparada la información de las tablas base se procede a verificar y generar tablas de log de las tablas base que

se definió para ser auditadas, este proceso genera un script el cual permite generar las tablas log en la base de datos tomando en cuenta los permisos y esquemas de seguridad definidos en la base de datos, *iv) Generación de desencadenadores:* Permite generar el script para la creación de los desencadenadores(triggers) para insertar, actualizar y borrar de las tablas definidas para auditar, se toma en cuenta los esquemas y roles de seguridad los cuales podrán ejecutar dichos desencadenadores es necesario controlar el orden de ejecución para lograr un resultado deseado para la auditoría de los datos, *v) Verificación de Información:* Es necesario realizar una ejecución del código y verificación de desencadenadores(triggers) este proceso se realiza en un ambiente de pruebas previo a la ejecución en una base de datos de producción, la siguiente figura muestra en detalle el proceso descrito, la Figura 1 muestra el proceso de auditoria propuesto.

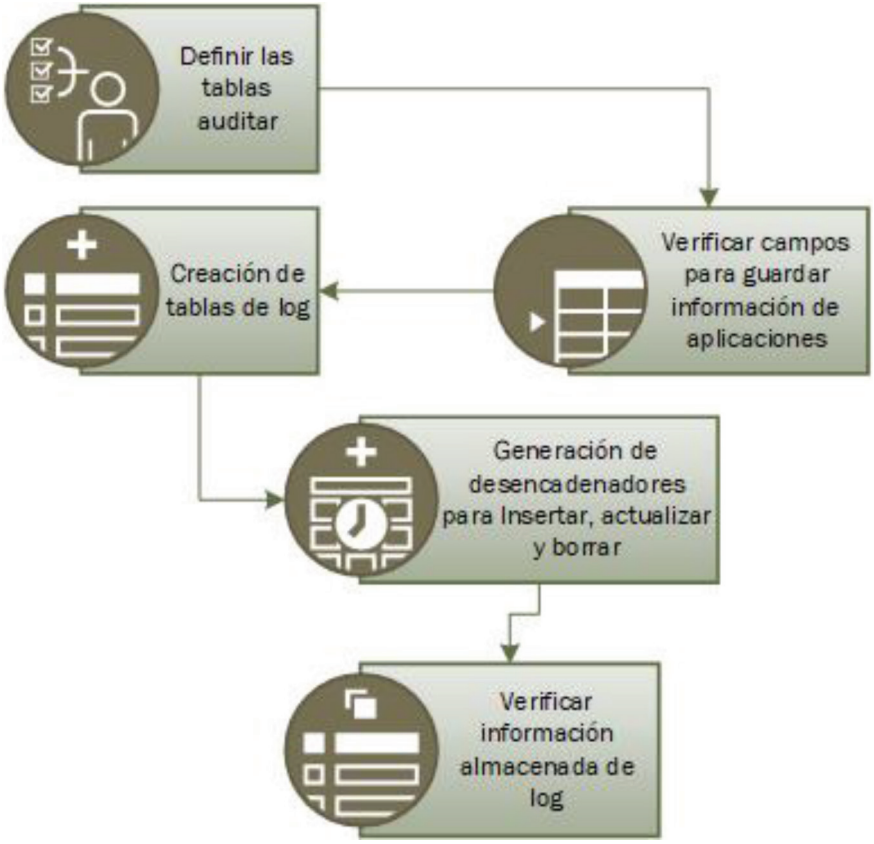


Figura 1 – Proceso de auditoria propuesto

El flujo necesario para la implementación del proceso se detalla en la Figura 2.

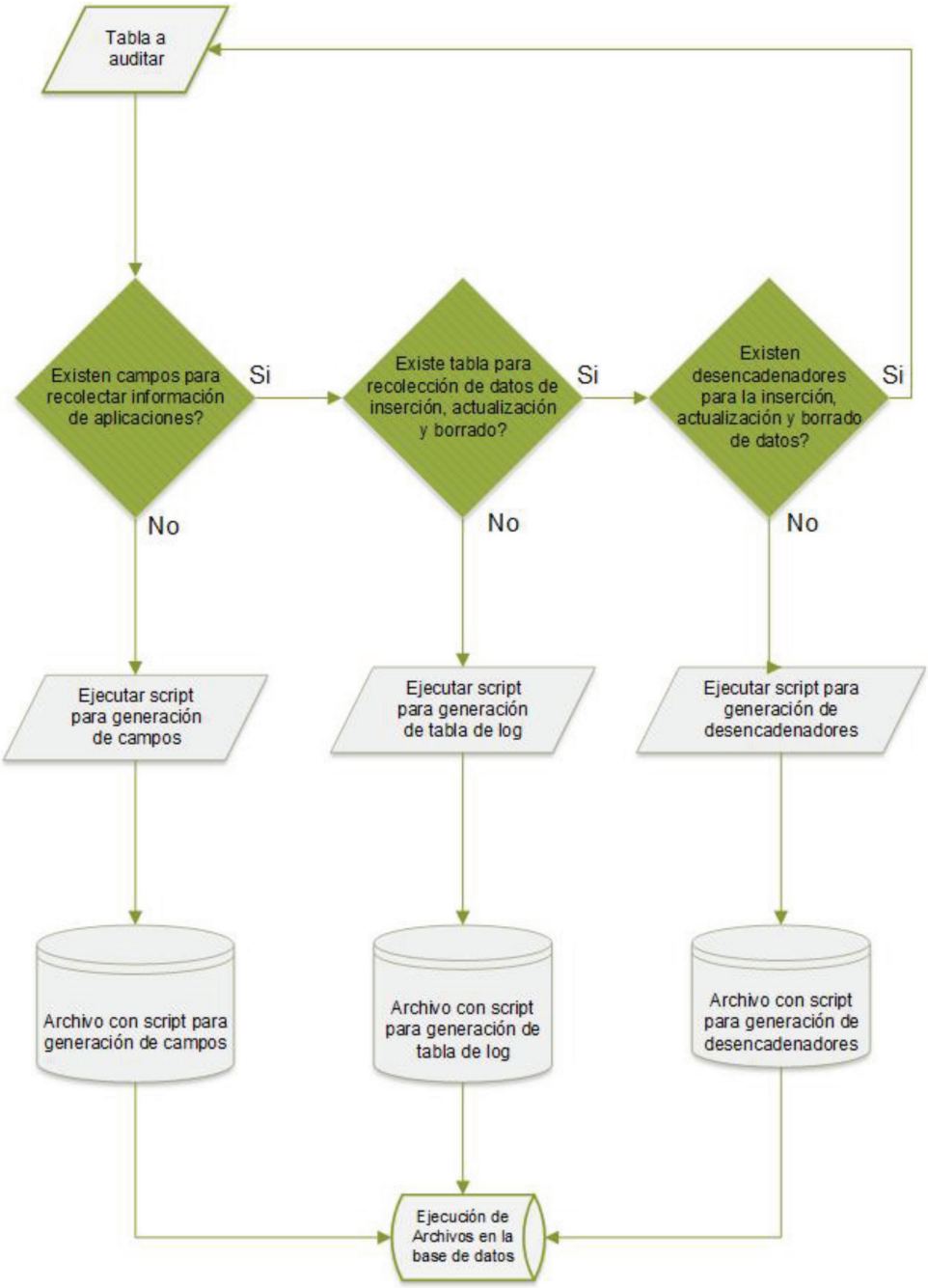


Figura 2 – Flujo de algoritmo de auditoria

4. Caso de Estudio

Para el presente caso de estudio se realizó un análisis mediante el estado del arte sobre los riesgos de vulnerabilidades en sistemas académicos, desde el enfoque a nivel mundial y sobre todo los casos suscitados en las IES de Ecuador. Basado en lo mencionado la investigación tiene como objetivo la prevención de ataques cibernéticos en la modificación de información académica, como los sucedidos en varias IES, que se encuentran estipulados en los registros de la Fiscalía ecuatoriana.

Según Baldeón, Gaibor & Toasa (2019) el SIGE "es un sistema que integra la mayoría de sus procesos de la UISRAEL, en el cual su función primordial en el ámbito directivo es la toma de decisiones, basado en las características de software como la eficiencia, la fiabilidad, la interactividad, la optimización del tiempo y diversos beneficios para todos los usuarios". Este sistema nace de un proyecto de investigación de la carrera de Sistemas de Información de la Universidad, el cual posee una generación relevante de

```
IF EXISTS
(
    SELECT *
    FROM sysobjects
    WHERE name = 'log_NOTAS_ACADEMICAS'
)
    DROP TABLE log_NOTAS_ACADEMICAS;
CREATE TABLE log_NOTAS_ACADEMICAS
(NA_CODIGO        NUMERIC NULL,
 MTD_CODIGO       NUMERIC NULL,
 TNA_CODIGO       NUMERIC NULL,
 NA_VALOR         NUMERIC NULL,
 NA_ESTADO        CHAR(10) NULL,
 NA_FECHA_INICIAL DATETIME NULL,
 NA_FECHA_FINAL   DATETIME NULL,
 NA_OBSERVACION   VARCHAR(500) NULL,
 usr_fch_cmb      DATETIME NULL
                           DEFAULT GETDATE(),
 usr_cmb          VARCHAR(80) NULL
                              DEFAULT SUSER_NAME(),
 usr_hos          VARCHAR(80) NULL
                              DEFAULT HOST_NAME(),
 usr_app          VARCHAR(80) NULL
                              DEFAULT APP_NAME(),
 usr_tpo          CHAR(1) NULL
);
GO
```

Figura 3 – Script que implementa el algoritmo – creación de tablas log

producción científica, como artículos de impacto, capítulos de libro, ponencias nacionales e internacionales y la institucionalización del Simposio Internacional Apropiación, Generación y Uso Edificador del Conocimiento (SIAGUEC).

En este contexto, el algoritmo propuesto fue validado en el mencionado sistema, utilizando la BDD para implementar el modelo propuesto. La base de datos esta en SQL SERVER, y el MGA consta de 121 tablas, de las cuales se utiliza para la presente investigación 5 tablas relacionadas con notas académicas. En un estudio previo realizado, se identifica que el número de estudiantes que aprueban y reprueban es un dato crítico para la universidad, ya que se puede tomar decisiones oportunas según estos datos, en base a esto se decidió utilizar las tablas de notas académicas, que inicialmente se trabajó con ellas, pero el algoritmo al ser personalizado permite seleccionar las tablas que se desee de la BDD, que va a depender de la necesidad que se presente para auditar.

En algoritmo fue implementado en varios scripts con Transact-SQL, se dividió el script en creación de tablas log para la auditoria (Ver figura 3), creación de triggers para gestionar las acciones sobre las tablas y finalmente su visualización de datos para la toma de decisiones.

Inicialmente se coloca el nombre de la tabla a auditar y lo ejecutamos, primero se van a crear las tablas log de la tabla a auditar y se van a generar los triggers que se encargaran de administrar las acciones de auditoria en la tabla seleccionada, la Figura 4 detalla los cambios que se dan en la tabla con la creación de la tabla para la auditoria y de los triggers para capturar las acciones de insertar, eliminar y modificar que sufra la tabla.

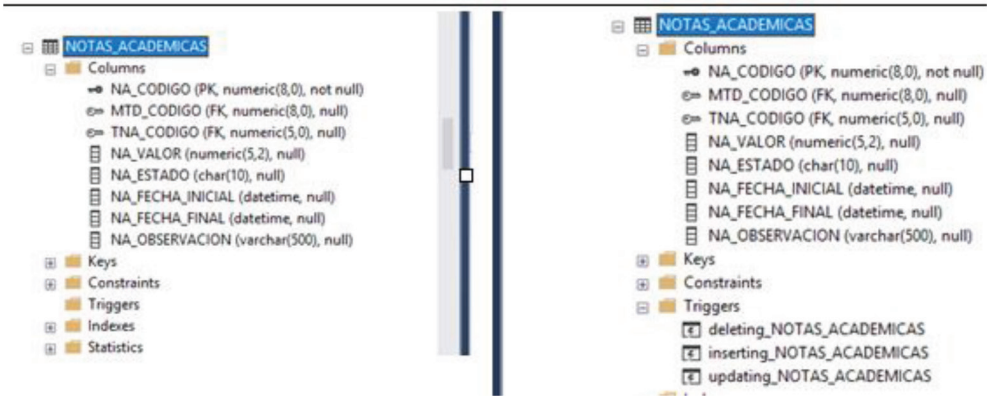


Figura 4 – Tabla antes de la ejecución del script – Después de la ejecución del script

Este proceso se puede realizar en cualquier tabla y va a generar información relevante sobre los cambios que se den en la información, esto permite a los administradores del

sistema tomar decisiones correctivas rápidas y oportunas para evitar que se manipulen los datos y se afecte a la integridad de la información con la que trabaja el sistema de la Universidad Tecnológica Israel.

Inicialmente se va a evaluar el volumen de registros ente los años 2012 y 2018 en el Módulo de Gestión Académica (MGA) del SIGE en la Uisrael, el cual cuenta con un estimado de 1'300.000 datos nos indica que es un volumen de datos considerable, el 70% de los datos son relacionados con los registros de calificaciones, estos datos experimentan cambios como la actualización por parte de los docentes en diferentes parciales académicos. Este volumen de cambios obliga a que exista una correcta auditoría para garantizar que la información haya sido actualizada solo por el MGA del SIGE.

5. Test y Resultados

Una vez que se ha ejecutado el script, se va a tener los triggers siempre activos para capturar cualquier cambio que se de en la tabla o tablas seleccionadas. La tabla log esta vacía, pero cuando se altera algún dato en la tabla seleccionada automáticamente guarda información sobre el cambio que se dio en la tabla (Ver Figura 5).

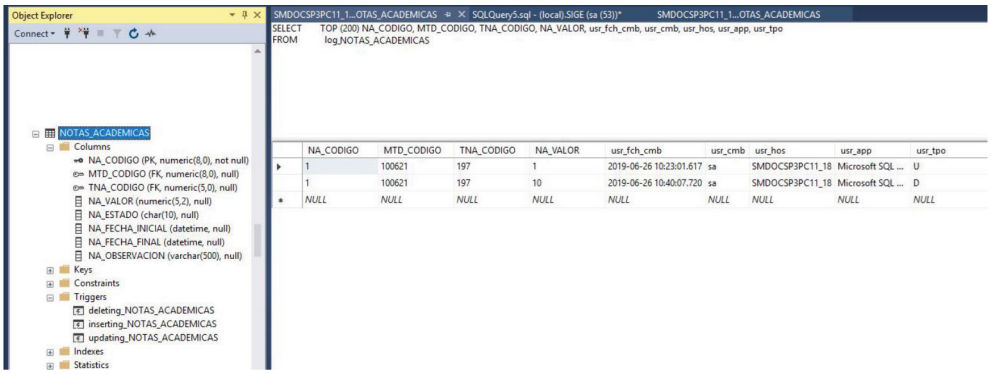


Figura 5 – Registros de la tabla log

En esta tabla se puede evidenciar los datos de actualización y borrado los cuales se guardan en la tabla de auditoria con datos de usuario, host, fecha, aplicación que ejecuto y el tipo de cambio (inserción I, actualización U o borrado U).

Al conocer el usuario que alteró la información los administradores de la base de datos van a actuar de manera oportuna para evitar que estos datos sean validados por el sistema.

En la Tabla 1 se muestra las amenazas que los sistemas de información académicos de las IES están expuestos, esto en base a la revisión de trabajos relacionados que se realizó en esta investigación.

Amenaza	Descripción	Causa(s)	Efecto(s)	Análisis de riesgo
Modificación de Información académica	Personas que acceden al sistema modifican la información con fines ajenos a los objetivos del sistema.	Falta medidas de seguridad en los sistemas académicos	Violación a la integridad de información	El riesgo es alto, ya que afectaría directamente con la toma de decisiones
Inyección por SQL	Acceso sin restricciones a una base de datos completa.	En el proceso de desarrollo no se toma en cuenta: Validación de caracteres Tipos de datos incorrectamente manejados No se utiliza codificación UNICODE	Espionaje a los datos de los sistemas, acceso indebido, alteración de información. Perdida de información académica.	El riesgo es alto, puede haber una manipulación de datos a través de los Identificadores de las tablas
Suplantación de identidad	En los sistemas académicos puede suceder que los estudiantes accedan a las cuentas de docentes y alteren sus registros de notas.	Contraseñas débiles. Sesiones no cerradas.	Alterar la integridad de la información académica.	El Riesgo es alto, los registros de evaluación de estudiantes no son reales y esto afecta la calidad de la educación.
Auditorias débiles o nulas	Las IES no dan mucha importancia a las auditorias hasta que sucede algún ataque.	No existen registros de que información fue alterada No se genera un historial de acontecimientos que experimenta la información a través del tiempo.	No se puede identificar qué información fue alterada.	El riesgo es alto, los administradores del sistema no pueden realizar el seguimiento de los cambios en la información.

Tabla 1 – Amenazas en sistemas académicos de las IES.

6. Conclusiones y trabajo Futuro

Mediante la implementación de la auditoria de tablas clave de un sistema de gestión académica se logró detectar los cambios no autorizados en los registros, esto permitió al administrador del sistema tomar decisiones preventivas y correctivas de los datos alterados.

Al implementar un log de auditoria personalizado permite al administrador del sistema tener el control de los datos relevantes, el cual permite la recolección de información para su posterior análisis.

Con la auditoria propuesta aplicada al MGA, se identificó los datos críticos de un record académico, donde se detectan los datos alterados de las calificaciones de los

estudiantes, y con el análisis de log poder validar si fue un cambio permitido o alterado por algún usuario o aplicación externa, ya que en el log se almacenan los valores anteriores al cambio.

La importancia del desarrollo de la producción científica basada en un proyecto de investigación como el SIGE, ha sido un puntal importante para la consolidación del sistema en sí y la generación de estrategias tecnológicas para la prevención de riesgos mediante una visión predictiva, como la planteada en el presente artículo.

De acuerdo a los resultados iniciales de la presente investigación, se realizará un trabajo futuro con la implementación del algoritmo en el módulo de gestión académica de la UISRAEL siendo fundamental para el correcto análisis y toma de decisiones académicas.

Referencias

Baldeón, P., Gaibor, M., & Toasa, R. (2019). Integrated strategic management system: Decision making for Higher Education Institutions. Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) - IEEE., 1-6.

Baldeón Egas, P. F., Albuja Mariño, P. A., & Rivero Padrón, Y. (2019). Las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la gestión estratégica universitaria: experiencias en la Universidad Tecnológica Israel. Revista Conrado, 15(68), 83-88. Recuperado a partir de https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/987

Egúsquiza Pereda, C. A. (2014). Técnicas y Procedimientos Aplicables a la Auditoria Academica. *Quipukamayoc*, *12*(23), 17. https://doi.org/10.15381/quipu.v12i23.5454

El Diario EC. (2013). Hackers violaron sistema informático | El Diario Ecuador. Retrieved June 26, 2019, from http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/255113-hackers-violaron-sistema-informatico/

García, M. L. V. (2006). *Las Auditorias de informaciónen las organizaciones. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portuga* (Vol. 37). Instituto de Documentación e Información Científica y Técnica. Retrieved from https://www.redalyc.org/html/1814/181418190001/

Huaman, F. (2016). *Auditoria Académica para el Fortalecimiento de la calidad Educativa de la Universidad Nacional del centro del Peru*. Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1599/AUDITORIA ACADEMICA PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA CALIDAD EDUCATIVA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Medina Ortega, M., Avendaño, W. M., Gonzales, B., & Arce Zúñiga, F. (2010). *La auditoría académica y las acciones de control para la buena administración de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" 2007-2008. Rev. Aporte Santiaguino* (Vol. 3). Retrieved from http://www.scielo.org.pe/pdf/as/v3n2/a06v3n2.pdf

Méndez-Aguirre, A. C., & Oliveros-Vargas, I. L. (2016). SIS, A Support Tool for Academic Audit. *Repositorio Universidad Dsitrital Francisco José de Caldas*.

Ministerio de Defensa del Ecuador. (5 de Febrero de 2018). *Código Orgánico Integral Penal*. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/COIP_feb2018.pdf

Orman, L. V. (2001). Database audit and control strategies. *Inf. Technol. and Management*, *2*(1), 27–51. https://doi.org/10.1023/A:1009930720090

Rogelio, C., Argüelles, A. F., Alma, M. O., Rojas García, R., Martha, M. C., Marentes, E. C., & Parra, A. Z. (2012). *Auditorias Académicas ¿Futuro para las especialidades médicas de la Universidad Autónoma de Nayarit? Revista Fuente Año* (Vol. 4). Retrieved from http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/793/Auditorias Académicas, Futuro para las especialidades médicas de la Universidad Autónoma de Nayarit.pdf?sequence=1

Rus, I. (2015). Technologies and Methods for Auditing Databases. *Procedia Economics and Finance*, *26*, 991–999. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00921-1

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

aisti

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