



ISSN: 1646-9895

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

A g o s t o 2 0 • A u g u s t 2 0



©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

Nº E33

Edição / Edition

N.º E33, 08/2020

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 Lisboa, PT

Coordenadores da Edição / Issue Coordinators

Carmelo Márquez Domínguez, Independiente, ES

Francklin Rivas Echeverría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra, EC

Glenda Beatriz Da Silva, Universidad de Los Andes, VE

Venus Medina Maldonado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, EC

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

Alberto Flórez. Predictiva S.A.S. Colombia

Alejandro Fruto. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Alexandro Vinicio Cruz Mariño. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Alfredo Calderón. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Alvaro Rocha. Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información. Portugal

Ana Cecilia Vaca Tapia. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador

Ana Umaquinga. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador

Andrea Lizethe Manzano Pasquel. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Andrea Valeria Araujo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Andrea Vásquez. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile

Andrés Merino-Viteri. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
 Anita Villacis. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
 Anna Gabriela Perez. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Arián Aladro. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
 Astrid Uzcátegui. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Bartolomé Gil Osuna. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra
 (PUCESI). Ecuador
 Carlos Castro. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile
 Carlos Cevallos. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
 Carlos Kiyán Tsunami. Instituto de Medicina Tropical de Amberes (IMT). Bélgica
 Carlos Rivas Echeverría. Evington Medical Centre, NHS. Inglaterra
 Carmelo Márquez Domínguez. Independiente. España
 Cesar Bravo. Honeywell. Estados Unidos de América
 Ciro Saguay. Universidad UTE. Ecuador
 Cristian García. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.
 Danilo Figueroa. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Diego Ordóñez-Camacho. Universidad UTE. Ecuador
 Diego Riofrío-Luzcando. Universidad Internacional SEK. Ecuador
 Dulce Rivero. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra
 (PUCESI). Ecuador
 Edgar Camargo. Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA). Venezuela
 Edison Loza Aguirre. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
 Edmundo Recalde. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra
 (PUCESI). Ecuador
 Eduardo Chaso. Universidad Técnica de Ambato (UTA). Ecuador
 Efstathios Stéfos. Universidad Nacional de Educación (UNAE). Ecuador
 Eliezer Colina Morles. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Elva Arias Terán. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
 Ernesto Ponsot. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Estevan Gómez. Universidad UTE. Ecuador
 Francisco Hidrobo. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Francisco José Rodríguez Mejías. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
 Francisco Rodríguez Clavijo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador

(PUCE). Ecuador

Francklin Rivas Echeverría. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile

Franklin Camacho. Yachay Tech University. Ecuador

Franklin Sánchez E. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador

Gabriela Cevallos. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador

Galo Mauricio López Sevilla. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato (PUCESA). Ecuador

Geovanny Danilo Chávez García. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador

Gerlyn Duarte. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela

Glenda Beatriz Da Silva Quiroz. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela

Gloria Acosta-Vargas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Guido Ochoa. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Guillermo Páez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Guillermo Terán. Universidad Central del Ecuador (UCE). Ecuador

Gustavo Molina. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Héctor Javier Montalvo Navarrete. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Henry N. Roa. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Hugo Miranda. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Hugo Pereira. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Iván García-Santillán. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador.

Jackeline Chiriboga. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Jaime Falconi. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Javier Martinez-Gómez. Universidad Internacional SEK. Ecuador

Jenny Paola Estévez Chávez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador

Jorge Uquillas. Eindhoven University of Technology. Holanda

José Antonio Quiña Mera. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador

José Julio Villalba. Secretaría de Salud - Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Ecuador

José Luis Ibarra Estévez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador

Jose O. Valderrama. Universidad de La Serena (ULS). Chile
José Segnini. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador
Juan Chafila. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Juan Stuardo Yazlle Rocha. Universidad de São Paulo (USP). Brasil
Juan Valladolid. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.
Judith Francisco-Pérez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Laura Guerra. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador
Leoncio Fernández. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Perú
Lorena Recalde. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Luis David Narváez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador
Luis De La Fuente Valentín. Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). España
Marco Herrera. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Marco Oswaldo Santorum Gaibor. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Marco PUSDÁ. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ecuador
María Alejandra Noguera. WSP. Chile
María Clara Gómez Álvarez. Universidad de Medellín. Colombia
María de Fátima León. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
María Hallo. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Marilena Coromoto Asprino Salas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI). Ecuador
Mary Vergara. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.
Marysela Coromoto Morillo Moreno. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
Mauricio Solar. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Chile
Mónica López Golán. Universidad de Santiago de Compostela (USC). España
Montserrat Hernández-López. Universidad de La Laguna (ULL). España
Nelly Guadalupe Sarmiento Sarmiento. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Néstor Rivera. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.
Oscar Camacho. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Oswaldo Moscoso. Universidad UTE. Ecuador

Palmira Chavero. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO). Ecuador
Paloma Lima. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Pamela Flores. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Paola Ordóñez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra
(PUCESI). Ecuador
Patricia Acosta-Vargas. Universidad de las Américas. Ecuador
Priscila Maldonado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Rafael Melgarejo Heredia. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE).
Ecuador
Rosa Navarrete. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador
Rosa Terán Terán. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Rubén Pérez. Gas Energy Latin America. Venezuela
Ruud Duvekot. CL3S - Centre for Lifelong Learning Services. Holanda
Samara dos Santos Sampaio. Universidad de São Paulo (USP). Brasil
Samaria Muñoz. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
Silvia Pineda Cruz. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Stalin Arciniegas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra
(PUCESI). Ecuador
Susana Masapanta. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Susana Patiño. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas
(PUCESE). Ecuador
Teresa Freire Aillón. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede
Ambato (PUCESA). Ecuador.
Venus Medina Maldonado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
(PUCE). Ecuador
Verónica Crespo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra
(PUCESI). Ecuador
Verónica Espinoza. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Ecuador
Vicente Rolando Merchán Rodríguez. Universidad de Otavalo. Ecuador
Víctor Bravo. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela
Vladimir Robles-Bykbaev. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.
Wilson Chango. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas
(PUCESE). Ecuador
Xavier Quiñonez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede

Esmeraldas (PUCESE). Ecuador

Ximena Coronado Otavalo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede
Ibarra (PUCESI). Ecuador

Yadira Morejon Terán. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
(PUCE). Ecuador

Yadira Ordóñez. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede
Ibarra (PUCESI). Ecuador

Yalitza Ramos Gil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede
Ibarra (PUCESI). Ecuador

Yaroslava Robles-Bykbaev. Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Ecuador.

Yohn García. Universidad de Los Andes (ULA). Venezuela

Yolis Campos. Universidad Internacional SEK. Ecuador

Editorial

Salud, sistemas y tecnología: la necesaria interdisciplinariedad de las próximas décadas

Health, systems and technology: the necessary interdisciplinarity of the next decades

Carmelo Márquez-Dominguez¹, Francklin Rivas Echeverría^{2,3,4},
Glenda Beatriz Da Silva³, Venus Medina-Maldonado⁵

**carmelomarquez@gmail.com; firivas@inf.utfsm.cl; beadasilvaq@gmail.com;
vemedinam@puce.edu.ec**

¹ Independiente, 11100, San Fernando, España.

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

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

⁴ Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

⁵ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170143, Quito, Ecuador.

Pages: ix-xi

La llegada del coronavirus a nuestra cotidianeidad ha acelerado una –ya existente y desarrollada– tendencia interdisciplinar entre las áreas de la salud, de los sistemas complejos y de las nuevas tecnologías. Las grandes multinacionales tecnológicas han ido añadiendo paulatinamente lo sanitario a su diversa producción.

No resulta extraño pensar que, relativamente pronto, estas empresas, además de desarrolladoras de motores de búsqueda, de gestoras de la big data y la inteligencia artificial, de constructoras de novedosos microchips, serán corporaciones sanitarias que cubran completamente y/o colaboren con las instituciones públicas (ya dependientes de estos entes transnacionales) ante las necesidades de una ciudadanía que observa atentamente los avances tecnológicos en su comparación calidad-precio respecto a modernas prótesis, cirugía robótica, programas de rehabilitación y terapia asistidos por computadora y robot, monitoreo constante de datos, atención profesional telemática 24/7 y conexión directa con resultados instantáneos y medibles a un simple clic en una micropantalla, entre otras experiencias.

Especialmente en el sector salud, es bien conocido que las intervenciones digitales y los avances tecnológicos no sustituyen la interacción entre profesionales sanitarios y usuarios de este sector, pero todos estos procedimientos basados en eHealth y mHealth, son complementos que han impactado positivamente a nivel global la estrategia de acceso universal a los servicios de asistencia aportando grandes beneficios para la conservación de la salud y su restauración. En términos de creación de condiciones, existen diversas realidades a nivel mundial, algunos países más adelantados y dispuestos que otros para la capacitación del talento humano que ha servido para incrementar su competencia digital, la disponibilidad de una infraestructura tecnológica adecuada, así como una articulación organizada de estos procesos al sistema de salud en sus tres niveles de atención.

De igual manera, se ha observado que el gasto sanitario en la mayoría de los países occidentales está aumentando hasta llegar a cifras del producto interior bruto impensables en épocas pretéritas, particularmente por ciertos resortes ideológicos. Por supuesto, todas las innovaciones científicas y tecnológicas tendrán que pasar por los limitantes y necesarios filtros de los derechos humanos, seguridad de los pacientes y de las Constituciones soberanas de cada territorio, fundamentalmente en relación a la privacidad, la información, la dignidad, la intimidad, la libertad y la igualdad. Claramente, todo dependerá de la voluntad de las y los servidores públicos en las Cámaras representativas ante la facilidad con la que las personas entregan sus datos personales, usados por las compañías internacionales para venderles bienes y servicios que no sabían que querían y que posiblemente no necesitaban. Hoy se perciben tambaleantes a las democracias en estos asuntos regulables, en tanto los gobiernos gestionan Estados en quiebra que necesitan toda la inversión privada posible, como se está observando en la aplicación de rastreo del coronavirus. De modo que, ese aumento del gasto en salud por parte de los Estados será dirigido probablemente a empresas tecnológicas gigantes. Se agregan indudablemente las ciencias sociales a la discusión intelectual y científica sobre salud y tecnología.

Unos de los ambiciosos objetivos de la sociedad internacional –sobre todo, la parte menos apocalíptica y más integrada– es la construcción y desarrollo de una unión total y global de datos que otorgue a la humanidad la calidad de vida anhelada y que disminuya notablemente los costos actuales mediante la definitiva aplicación de la inteligencia artificial, aprendiendo de cada paciente y logrando certeros diagnósticos. Esta sería la base de una colaboración sanitaria mundial, ajena a las fronteras jurídicas y administrada algorítmicamente por y para los pueblos. Compleja y complicada tarea –imposible, para los colectivos más críticos que ven riesgo y explotación donde otros ven éxito y rendimiento–, aunque si hay alguna materia que puede lograrlo, ésa es la salud, en tanto la vida –como oposición a la muerte– aúna a todas las realidades posibles insertas en la actual sociedad metamoderna.

Más allá de la realidad construida en torno al coronavirus, la salud pública y privada seguirá cabalgando protagonicamente en los territorios industriales tecnológicos no exclusivos de Silicon Valley. Lo virtual lo ha cambiado todo. Esta es la problemática a resolver por parte de una Academia obligatoriamente de enfoque interdisciplinario y carácter internacional. Así, pues, sígase investigando y publicando, preguntando,

respondiendo y discutiendo. Es, al fin y al cabo, la forma de eliminar el eterno miedo ante lo desconocido.

Agradecimientos

Es importante destacar el trabajo y dedicación por parte de los miembros del comité científico internacional de este número de la revista, lo que permitió tener una revisión rigurosa, clara, precisa y apropiada de los trabajos sometidos a revisión y de los cuales se seleccionó los mejores para su publicación en esta edición. Este comité de expertos fue postulado a través de la cooperación internacional entre diversos organismos internacionales como: Universidad Católica del Ecuador (PUCE), la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) - Chile, la Universidad de Los Andes (ULA) – Venezuela, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra (PUCESI) - Ecuador, Edwardsville Southern Illinois University (Estados Unidos), la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador), la Universidad Tecnológica Equinoccial (Ecuador), la Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (Portugal) y la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) – Ecuador.

Índice / Index

EDITORIAL

Salud, sistemas y tecnología: la necesaria interdisciplinariedad de las próximas décadas	ix
<i>Carmelo Márquez-Domínguez, Francklin Rivas Echeverría, Glenda Beatriz Da Silva, Venus Medina-Maldonado</i>	

ARTIGOS / ARTICLES

Estudio preliminar de la distribución de presiones en posición bípeda mediante uso de baropodometría óptica y sensores de fuerza resistivos	1
<i>Dagoberto Mayorca-Torres, Edna M. Moncayo-Torres, Daniel M. Burbano-Martínez, Marco A. Chamorro-Lucero, Jaime A. Riascos-Salas, Jose A. Salazar-Castro</i>	
Sistema IoT para el seguimiento del ritmo cardíaco y la predicción de afecciones cardíacas	14
<i>Gabriel Elías Chanchí G, Luz Marina Sierra M, Julio Cesar Rodríguez R</i>	
Hospitalización en 2018 debido a diabetes mellitus en Ecuador: un estudio de regresión geométrica	28
<i>Ernesto Ponsot-Balaquer</i>	
Analytic study on the performance of multi-classification approaches in case-based reasoning systems: Medical data exploration	40
<i>David Bastidas, Camilo Piñeros, Diego H. Peluffo-Ordóñez, Luz Marina Sierra, Miguel A. Becerra, Ana C. Umaquinga-Criollo</i>	
Prototipo para la adquisición y caracterización de señales electromiográficas superficiales del movimiento de flexión-extensión de los dedos de la mano.....	52
<i>Carlos D. Ortega, Alejandro Ibarra-Piandoy, Edison Viveros-Villada, Dagoberto Mayorca-Torres</i>	
Stochastic- and Neuro-Fuzzy-Analysis-based characterization and classification of 4-Channel Phonocardiograms for Cardiac Murmur Detection.....	65
<i>Miguel A. Becerra, Edilson DelgadoTrejos, Cristian Mejía-Arboleda, Diego H. Peluffo-Ordóñez, Ana C. Umaquinga-Criollo</i>	
Hacia una aplicación no-invasiva de análisis inmediato de los movimientos generales de bebés.....	79
<i>Wilmer Danilo Esparza, Lucía Fernanda Flores Santy, David Pozo-Espín, Karina-Beatriz Jimenes-Vargas, Jorge-Luis Pérez-Medina</i>	
Aumento da performance de modelos de detecção de Estrabismo através da síntese de imagens fotorrealistas da região dos olhos	93
<i>Jonathan Silva Santos, Ismar Silvera Frango</i>	

Asistente de voz autónomo: un soporte de adherencia a tratamientos médicos	105
<i>Elizabeth Vidal, Jefry Acuña, Danny Rosas, Eveling Castro</i>	
Implementación de un guante como interfaz hombre computador para personas con discapacidad motriz	114
<i>Santiago Criollo-C, Jean Andres García, Ángel Jaramillo-Alcázar</i>	
Novus Spem, 3D printing of upper limb prosthesis and geolocation mobile application	127
<i>Joe Llerena-Izquierdo, Melissa Barberan-Vizueta, Jéssica Chela-Criollo</i>	
Evaluación e implementación de técnicas de clustering para un sistema de recuperación de documentos judiciales	141
<i>Cristian Camilo Ordoñez, José Armando Ordoñez, Cristian Méndez, Hugo Armando Ordoñez</i>	
Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano con técnicas de prototipado rápido	152
<i>Roberto Moya-Jiménez, Teresa Magal-Royo</i>	
La realidad virtual para educación en cáncer de mama: Una oportunidad de innovar en Latinoamérica	164
<i>Claudia J Uribe, Norma C Serrano, Andrea Carolina Ortiz-Badillo, María Luna-González, Nicolás Contreras Contreras, Eduardo Carrillo</i>	
An eHealth web platform based on linear-programming models for scheduling intervention plans for children with developmental delays	175
<i>Javier Cornejo-Reyes, Paola Suquilanda-Cuesta, Vladimir Robles-Bykbaev, Yaroslava Robles-Bykbaev, Katherine González-Arias</i>	
Design of an IoT Architecture in Medical Environments for the Treatment of Hypertensive Patients	188
<i>Maikel Yelandi Leyva Vazquez, Bianca Salinova Morán Arteaga, Jordy Andrés Muñoz López, Miguel Angel Quiroz Martinez</i>	
A rehabilitation system based on robotic gloves, mobile apps, and non-relational databases for patients with partial paralysis	201
<i>Nathalia Peralta-Vasconez, Cristian Cajamarca-Ludizaca, Julio Cabrera-Hidalgo, Marco Amaya-Pinos, Vladimir Robles-Bykbaev</i>	
A robotic assistant based on fuzzy logic and kinesthetic stimuli for gross motor rehabilitation of children with disabilities.....	213
<i>Brian Pinos-Chuya, Víctor Uguña-Uguña, Angel Pérez-Muñoz, Paola Suquilanda-Cuesta, Vladimir Robles-Bykbaev, Katherine González-Arias</i>	
Estudio de la carga cognitiva del usuario para una plataforma de telerehabilitación: el instrumento Nasa-TLX	225
<i>Verónica Amparo Guerrero Bolaños, Britany Astryd Enríquez Rea, Karina-Beatriz Jimenes-Vargas, Jorge-Luis Pérez-Medina</i>	

Sistema de monitoreo cardiovascular utilizando tecnología IoMT	238
<i>Hamilton Lugmaña, Milton Román-Cañizares, Iván Sánchez Salazar</i>	
Fine motor skills stimulation in children: a proposal based on stuffed robots and rules-based reasoning	250
<i>Luis Serpa-Andrade, Sandro González-González, Angel Pérez-Muñoz, Gabriela Vásquez-Álvarez, Paul Mata-Quevedo, Diana Pérez-Muñoz</i>	
Diseño, construcción e implementación de una herramienta para el soporte para ejercicios de grafo-motricidad en niños de cuatro a seis años	263
<i>Isaac Ojeda-Zamalloa, Luis Serpa-Andrade, Roberto García, Diego Quisi-Peralta, Gabriela Vásquez-Álvarez, Sebastián Quevedo-Sacoto</i>	
Alzheimer's disease diagnosis system using electroencephalograms and machine learning models	275
<i>Paola Martínez-Arias, Rigoberto Fonseca-Delgado, Graciela Salum, Isidro Amaro-Martín</i>	
Diseño inclusivo de una prótesis de rodilla para pacientes con grado de movilidad II.....	289
<i>José M. Segnini Maizo, Mary J. Vergara, Luis Camuendo</i>	
Gait Dual-task activities and Mild Cognitive Impairment in the elderly analyzed through a Tele-rehab platform	302
<i>Ricardo Xavier Proaño Alulema, Verónica Cobo Sevilla, María Augusta Latta</i>	
Conductas sustentables sobre el marco de evaluación SAFA - FAO: un aporte para poblaciones rurales vulnerables de la Amazonía.....	312
<i>Marco Heredia-R, Karina Falconí A., Deniz Barreto, Katherine Amores, Jamil H-Silva, Bolier Torres</i>	
La WebQuest en el aprendizaje de enfermería: evaluación de su uso desde la percepción de los estudiantes	327
<i>Venus Medina-Maldonado, Judith Francisco-Pérez, Priscila Maldonado</i>	
Diseño y desarrollo de un videojuego Educativo mediante una metodología ágil, como herramienta orientada a niños de 7 a 11 años para la prevención de la enfermedad de Chagas.....	338
<i>Diana Mantilla, Francisco Rodríguez, Anita G. Villacís</i>	
Promoting organ donation on the Twitter platform: an exploratory analysis in Ecuador	351
<i>Sueny Paloma Lima dos Santos, Gabriel Francisco Cevallos Martínez</i>	
Clasificación de hogares pobres en la Región Andina de Venezuela usando redes neuronales	361
<i>Gustavo Mora Ramírez, Anna Gabriela Pérez, Francklin Rivas-Echeverría</i>	

Salud y nuevas tecnologías de la información y la comunicación: caracterización del objeto del derecho a la salud en la era digital.....	374
<i>Marilena Asprino Salas, Carmelo Márquez-Domínguez, Luz Marina Pereira González, Gabriela Aguirre Hernández, Carmen Marieta Bayas Zambrano, Juan Carlos Suárez Villegas</i>	
Una aproximación a la desigualdad en servicios comerciales a través de sistemas de información geográfica	388
<i>Luis Manuel Cerdá Suárez, Susana Quirós y Alpera, Martín García Vaquero</i>	

Estudio preliminar de la distribución de presiones en posición bípeda mediante uso de baropodometría óptica y sensores de fuerza resistivos

Dagoberto Mayorca-Torres¹, Edna M. Moncayo-Torres¹, Daniel M. Burbano-Martínez¹, Marco A. Chamorro-Lucero¹, Jaime A. Riascos-Salas², Jose A. Salazar-Castro²

gomay1069@gmail.com; edmmoncayo@umariana.edu.co; danielmburbano@umariana.edu.co; marcochamorro@umariana.edu.co; jaime.riascos@aunar.edu.co; jose.salazar@aunar.edu.co

¹ Grupo de investigación GRIM, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, 520001, Nariño, Colombia.

² Grupo de investigación SEDMATEC, Corporación Universitaria Autónoma, 520001, Nariño, Colombia.

Pages: 1–13

Resumen: La huella plantar es la estructura anatómica que soporta y transmite las fuerzas de reacción del suelo en los procesos de bipedestación y locomoción humana. Su estudio es importante para el diagnóstico de diferentes patologías y su medida es fundamental para la selección del plan terapéutico y suministra información sobre posibles riesgos lesionales. Este artículo describe en etapa preliminar el desarrollo del sistema óptico para la medición dinámica de las presiones plantares. La población fueron dos sujetos sanos hombre y mujer con los que se realizaron mediciones de presiones media en talón, mediopié y antepié en repeticiones de en posición bipedestal. Los resultados preliminares evidenciaron una diferencia significativa en las medidas de presión entre las técnicas de baropodometría óptica y electrónica, sin embargo, el grado de correlación de las medidas permite concluir que ésta pueda ser usada para evaluar la distribución de la carga en el pie.

Palabras clave: baropodometría óptica; sensores de presión; distribución de presiones; huella plantar.

A preliminary study of the pressure distribution in bipedal position using optical baropodometry and resistive force sensors

Abstract: The footprint is the anatomical structure that supports and transmits the soil's reaction forces in the standing and human locomotion processes. Its study is essential for diagnosing different pathologies as well as its measurement is fundamental for selecting therapeutic plans and providing information on possible injury risks. This article describes the development of an optical system for the dynamic estimation of plantar pressures. We assessed the mean pressure in the heel and midfoot areas from two healthy subjects (male and female). The preliminary results show a correlation between the pressure measurements of

the optical and electronic baropodometry techniques, concluding that our approach can be used to evaluate the distribution of the load on foot, under some limitations.

Keywords: optical baropodometry; pressure sensors; pressure distribution; footprint.

1. Introducción

El pie es la estructura anatómica más distal de las extremidades inferiores conformada por huesos, ligamentos y tendones; juega un papel importante en la estabilidad del cuerpo humano en reposo y durante la marcha (Goffar et al., 2013; González et al., 2017; Hernández et al., 2016; Viladot, 2003). Su bóveda plantar es deformable y se adapta a las irregularidades del suelo, su propósito es reducir el efecto de la carga sobre el sistema musculoesquelético (Bonnel & Teissier, 2013; Geng et al., 2019).

La mayoría de patologías presentes en la huella plantar se encuentran generalmente asociados a aspectos como: el índice de masa corporal, el sexo y a patrones biomecánicos alterados (Nakajima et al., 2019). Existen también algunos factores externos que pueden llevar a modificaciones o alteraciones transitorias de la biomecánica del pie; como el uso de calzado no ergonómico, la obesidad, la diabetes y rotura parcial de ligamentos o tendones del pie (Peroni, 2004; Pourghasem et al., 2016). Para la valoración y obtención de la huella plantar se sugieren la aplicación de una serie de métodos dentro de los que se encuentran: Inspección visual no cuantitativa, valoración antropométrica, cálculo de índices morfológicos, medición de distribución de presiones plantares y evaluación radiográfica (Menz & Munteanu, 2005; Shahabpoor & Pavic, 2017).

El análisis de la distribución de presiones plantares es de suma importancia para la identificación de factores de riesgo de lesiones deportivas (Pifarré et al., 2016; Ramírez-Bautista et al., 2017; Wafai et al., 2015). Además, algunos estudios sugieren la existencia de una alta relación entre la distribución de presiones y la estructura biomecánica del pie (Oh et al., 2013). Las medidas de presiones plantares pueden ser obtenidas mediante el uso de plataformas de fuerza; generalmente estos dispositivos incorporan sensores piezoeléctricos que miden la fuerza total de reacción entre el suelo y el sujeto con una alta resolución y repetibilidad (Merker et al., 2018). La fuerza total de reacción tiene tres componentes: vertical, cizallamiento anteroposterior y medio lateral. La mayoría de las plataformas de fuerza están diseñadas para medir la fuerza total de los pies en contacto con el suelo y no pueden registrar distribución de la carga sobre la superficie plantar.

Para la medición de distribución de presiones se usan diferentes tipos de tecnologías dentro de los que se destacan las matrices de sensores de fuerza resistivos (SFR) y los baropodógrafos ópticos. Las matrices de sensores tienen la apariencia similar a la de plataforma de fuerza convencional, pero cuenta con un mayor número de sensores (Hussein et al., 2019; Rickard Hellstrom et al., 2018). Estos dispositivos son de alta resolución y precisión, la desventaja radica en el alto costo, por ello el uso de baropodógrafos ópticos se ha incrementado dado que es posible la obtención de una medida semi-cuantitativa de las presiones en la huella plantar.

Los baropodógrafos ópticos utilizan el fenómeno de reflexión total interna frustrada (RTIF), que ocurre cuando los rayos de luz son dispersados en todas las direcciones

luego de atravesar un medio de índice de refracción menor a otro mayor con un ángulo de incidencia determinado. Este fenómeno fue descrito ampliamente por Franks & Betts (1988), y existen muchas investigaciones que han intentado registrar y cuantificar de manera fiable la información de la luz dispersada en relación a la presión aplicada, a esto se le ha denominado baropodometría óptica.

Para el desarrollo de este estudio se realiza la implementación de dos dispositivos basado en las técnicas de baropodometría óptica y electrónica. Para la segunda técnica se usaron 3 sensores resistivos ubicados en tres zonas en el pie: El principal objetivo de este estudio es realizar una comparación estadística mediante el análisis de varianza entre las medidas de presión en las zonas de talón (ZT), mediopié (ZM) y antepié (ZA). Este artículo está estructurado de la siguiente manera: La sección 2 describe el desarrollo de un baropodómetro óptico y un prototipo para la medición con sensores de fuerza resistivos. La sección 3 presenta los resultados de la investigación y la discusión de los mismos. Finalmente, en la sección 4 se dan las conclusiones y se proyecta el trabajo futuro.

2. Materiales y métodos

Esta sección describe los métodos usados para la adquisición, calibración, procesamiento y visualización de los datos de presiones plantares del baropodómetro óptico y prototipo de sensores FSR como se puede observar en el diagrama de bloques de la Fig. 1.

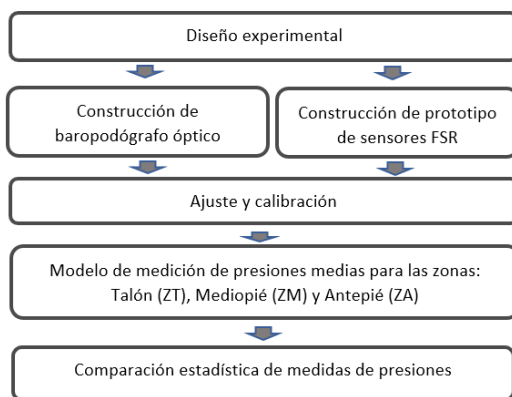


Figura 1 – Diagrama de bloques de la metodología.

2.1. Prototipo de medición con sensores resistivos

El prototipo desarrollado para la obtención de las medidas de presión utilizó un Arduino Nano Board (ATmega328P), 3 Sensores de fuerza A-201 y un módulo de comunicación Bluetooth HC-06. Los sensores A-201 cuentan con una superficie de contacto de diámetro 9.53 mm de diámetro y con un rango de operación entre 0-100 lbs, lo que permite que esta información pueda ser transformada en unidades de presión. Esta información es enviada a un Raspberry pi 3, mediante el módulo Bluetooth, para su visualización y registro. La arquitectura propuesta puede observarse en la Fig. 2.

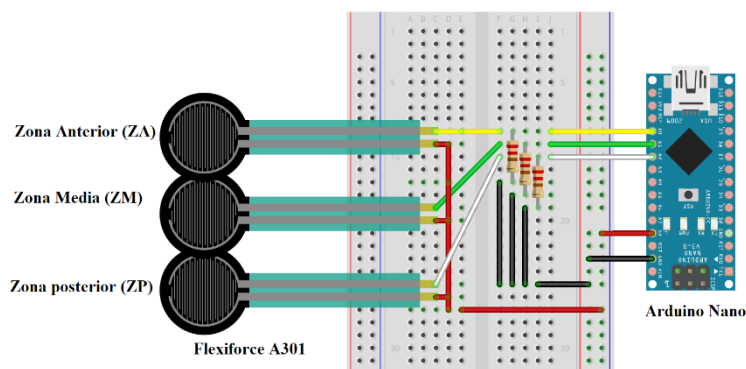


Figura 2 – Configuración de componentes electrónicos del prototipo.

El prototipo requiere un proceso de calibración de los sensores de fuerza, con el fin de establecer la curva que relaciona la fuerza en función del voltaje. El diseño del experimento consistió en la colocación de pesos entre 5 y 100 lbs con variaciones de 5 lbs para cada uno de los sensores y el registro del voltaje. Dado que adicional a esta información se conoce el área de contacto del sensor es posible conocer la presión en ese punto como se puede ver en Eq. 1. y Eq. 2.

$$F = k (V_o - 0.3) \text{ [Newton]} \quad (1)$$

$$P = 6.245 * (V_o - 0.3) \text{ [Newton/cm}^2\text{]} \quad (2)$$

Donde F representa la fuerza, P presión, V_o el voltaje de salida y k la constante de calibración. Para determinar la constante de calibración k se utilizó regresión lineal. La frecuencia de muestreo para los sensores de fuerza fue de (1/30) segundos. Estos datos de presión son enviados por Bluetooth al Raspberry pi 3.

2.2. Prototipo de baropodómetro óptico

El prototipo está constituido de los siguientes componentes: Estructura mecánica, sistema de iluminación, caracterización del material transductor de presión, un sistema de cámaras, unidad de procesamiento de las imágenes y módulo de comunicación con PC (Ver Figura 3). La estructura tiene dimensiones de 50cm x 50cm x 22 cm (ancho, largo y alto) y soporta un peso máximo de 120kg. En relación a la base de acrílico este tiene un espesor de 9mm con una resistencia máxima de flexión de 28600 Kg/cm² y una transmisión de luz en el espectro visible del 89%. La medición de presiones se obtiene bajo el esquema de RTIF, siguiendo las recomendaciones para la elaboración de baropodógrafos ópticos. Adicionalmente se incluyó una hoja de papel fotográfico con el objetivo de independizar la humedad del pie de la superficie de contacto que genera el patrón de iluminación.

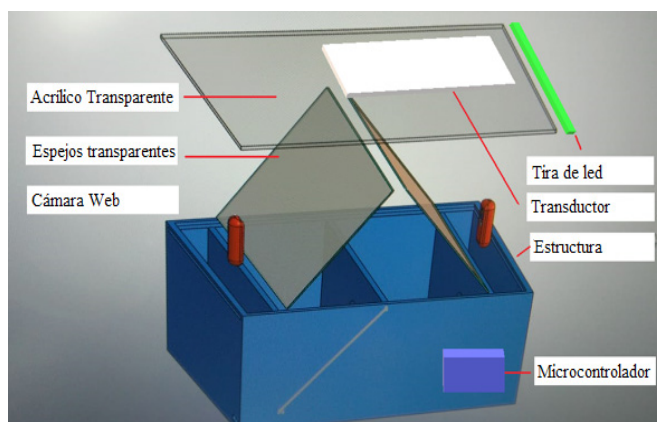


Figure 3 – Principales componentes de Baropodógrafo óptico.

La asignación de la medida cuantitativa de la presión se realiza a partir del nivel de gris $I(x,y)$ dispersado por el contacto de los pies con el acrílico, para tal propósito se aplica un proceso de calibración colocando pesos conocidos sobre áreas de superficie conocidas. En la Eq. 3 es posible encontrar el valor de presión $P(x,y)$ en función de la ubicación espacial de coordenadas en píxeles (x,y) .

$$P(x,y) = k I(x,y) + P_o \quad (3)$$

Donde k es una constante de proporcionalidad, $I(x,y)$ es la intensidad del nivel de gris y P_o está relacionado a un valor de iluminación residual debido a la adhesión e imperfección existente entre el material transductor y el acrílico. El modelo matemático depende en gran medida del peso, la homogeneidad de la iluminación y la velocidad del movimiento a realizar con el pie. Con el fin de garantizar homogeneidad en el patrón de iluminación se implementó un sistema de control para una tira de leds 3528SMD de 24W de potencia y una luminosidad dentro del rango de 220 - 360 Lúmenes/Metro. La retroalimentación del control se realiza a partir de las medidas de la luminosidad obtenidas por un fotorresistor. Para el sistema de captura se usó una cámara cuyo campo de visión estaba orientado hacia un espejo con un ángulo de 45° que tenía como función principal capturar la imagen de la huella de ambos pies. Las cámaras web usadas son de referencia Logitech C525 que capturan imágenes con una resolución de 1920×1080 píxeles, con un campo de visión de 76° y a una tasa de muestreo de 30 Hz.

Las cámaras se conectan al Raspberry pi 3 vía protocolo USB, en donde se procede a la digitalización, filtrado y procesamiento de las imágenes. El sistema operativo usado fue Debian Raspbian y los algoritmos computacionales fueron desarrollados en Python junto a las bibliotecas de visión artificial OpenCV 3.4. Para la realización de medidas sobre las imágenes digitales es necesario conocer las características ópticas del sensor de la cámara, esto debido a que las lentes producen distorsiones geométricas de tipo radial y tangencial (Margallo et al., 2010). Adicionalmente se requiere conocer su ubicación

respecto al objeto de interés, haciendo referencia a la colocación física de la cámara que viene definida por la posición y orientación de ésta respecto al sistema global de coordenadas del mundo (Cabezos Bernal & Cisneros Vivó, 2012; Simposio De Tecnología Avanzada & México, 2008). Al proceso anterior se le conoce como calibración de cámara y en la actualidad existen varios métodos para realizarla, siendo el método de Zhang uno de los más usados en el mundo por su precisión (Burger, 2016; Wang et al., 2019). Este método utiliza las coordenadas de los puntos situados en una plantilla bidimensional (ajedrez o matriz de puntos) capturada desde diferentes posiciones y orientaciones para el cálculo de homografías entre la plantilla y su proyección en la imagen. Para la calibración de la cámara se utilizó una plantilla tipo ajedrez de 8x7 cuadros de 2.5cm de lado y un total de 50 imágenes. Adicionalmente se requiere realizar una corrección de perspectiva dado que la ubicación de los espejos que redireccionan los rayos de luz formando un punto de vista diferente respecto al objeto real (Yu & Morel, 2011). La ubicación de un total de cuatro puntos de la imagen es necesario para realizar esta transformación sobre las imágenes capturadas.

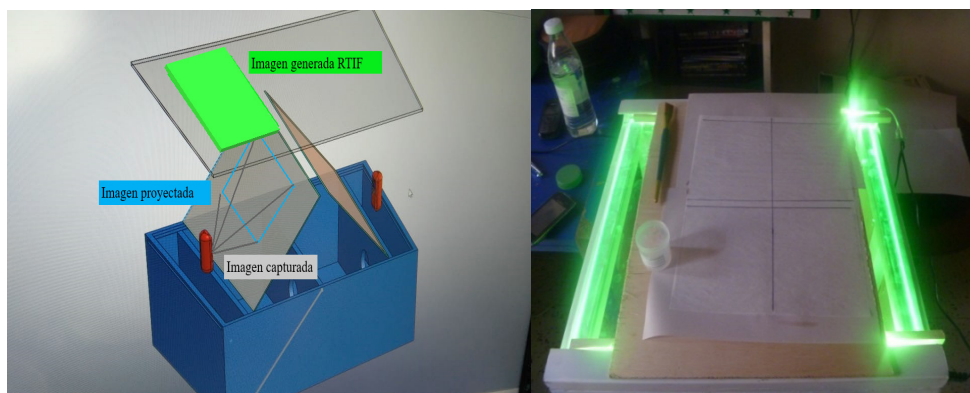


Figure 5 – Montaje de fenómeno de Reflexión Total Interna frustrada.

2.3. Filtrado y procesamiento de las imágenes

Teniendo en cuenta que la superficie del pie es continua y suave, no deberían existir cambios bruscos de presión máxima respecto a los píxeles vecinos. Sin embargo, dado la naturaleza del fenómeno y las irregularidades del material transductor el patrón de iluminación dispersado presenta un comportamiento no uniforme, dando como resultado pequeñas variaciones en los niveles de gris en ciertas zonas de la imagen. Un proceso de suavizado es suficiente para atenuar este tipo de variaciones, sin olvidar que siempre es necesario evaluar los efectos del suavizado de manera estadística. La segmentación y asignación del mapa de distribución de presiones utilizada corresponde al método propuesto por Buchelly et al. (2016). La segmentación total de la huella plantar se logra mediante una operación lógica AND de dos segmentaciones $Seg_1(x,y)$ y $Seg_2(x,y)$. La segmentación $Seg_1(x,y)$ se realiza mediante una operación aritmética de los planos de color $R(x,y)$, $G(x,y)$ y $B(x,y)$ obtenidos de la imagen $I(x,y)$ de 3 canales como se describe en la Eq. 4.

$$Seg_1(x, y) = G(x, y) - 0.5 * R(x, y) - 0.5 * B(x, y) \quad (4)$$

Adicionalmente es necesario una conversión al espacio de color HSV (*Hue- Saturation- Value*) para el cálculo de la segmentación $Seg_2(x, y)$ a partir de $H(x, y)$, $S(x, y)$ y $V(x, y)$ como se muestra en Eq. 5.

$$Seg_2(x, y) = V(x, y) - \left(\frac{1}{3}\right) * \{R(x, y) + G(x, y) + V(x, y)\} \quad (5)$$

Un umbral de binarización se estableció a través de un valor ponderado del valor máximo de nivel de gris. El filtrado de los artefactos se realizó mediante un proceso de apertura (erosión + dilatación) y cierre (dilatación+ erosión) con un kernel circular de 5x5. El método de cuantificación de presiones usado fue propuesto por Keijsers et al. (2009), y en él se realiza una normalización de la imagen de contacto de la huella plantar tomando como fuerza total la suma de todos los valores de píxel sobre la imagen. Para que los cambios de niveles de gris de las imágenes sean visibles se usa una paleta denominada “falso color” donde se asigna un valor que se asocia a una escala de temperatura. La paleta seleccionada usa los tonos azules para designar presiones bajas, degradándose hasta un tono de rojos donde se visualizan los picos máximos. Finalmente se identificaron las 3 zonas de interés sobre la imagen y se procedió a calcular el promedio con el fin de estimar la presión media de ZT, ZM y ZA.

2.4. Adquisición de datos

Para el estudio preliminar se seleccionaron dos sujetos sanos de sexo opuesto (mujer y hombre) con edades de 36 y 34 años respectivamente fueron notificados del procedimiento a realizar mediante consentimiento informado antes de su inclusión en el estudio. Los métodos y protocolos usados se basan en las guías para la evaluación de la huella plantar. El fisioterapeuta solicitó a cada sujeto que se retirara los zapatos y se procedió a limpiar la zona de contacto. Luego se realizó la medición de largo del pie con cinta métrica y el peso con una balanza digital. Posteriormente se pidió a los sujetos que se colocaran en posición bipedestal sobre el baropodómetro y que miraran hacia adelante para la obtención de las medidas de las presiones dinámicas en un intervalo de 5 segundos. Se realizaron 50 capturas por sujeto, en cada toma se pidió al sujeto que hiciera una plantiflexión completa, con el fin de analizar la nueva distribución. Cada vez que realizaban 10 capturas se les pidió a los sujetos que se retiraran del dispositivo para realizar la limpieza del acrílico con el fin de evitar la incorporación de error residual sobre las medidas. Se realizó la captura de un video en formato AVI, una resolución de 1920 x 1080 píxeles y un tiempo de muestreo de (1/30) segundos con una cámara C525 de Logitech. Luego se repitió este mismo procedimiento con el prototipo de sensores (FSR), tratando de que estos hicieran contacto con las tres zonas de análisis identificadas. En el caso de que los sujetos colocaran el pie fuera del alcance del sistema, se descartaba y se repetía todo el proceso de nuevo. La hipótesis usada es que la media se encuentra normalmente distribuida, con la misma desviación estándar. Para ello se usa F-Test y juega un papel importante en el Análisis de varianza (ANOVA) para observar

el comportamiento de grupos. Posteriormente se calcula el coeficiente de correlación, en este caso se usa el coeficiente de Pearson para indicar la relación de las medidas del baropodómetro óptico y los sensores en las tres zonas establecidas ZT, ZM y ZA. El software estadístico usado para las estimaciones en el proceso investigativo fue IBM SPSS versión 20.

3. Resultados y análisis

Como resultado del proceso de calibración fue posible la obtención de una función lineal entre el nivel de presión y nivel de gris obtenido por la cámara. Este proceso se realizó a diferentes distancias del acrílico 5, 10 y 15 cm como se observa en la Figura 6, existiendo una variabilidad respecto a las zonas más cercanas a la fuente de iluminación. Por ello se propone de igual manera una compensación automática de las presiones dependiendo de la ubicación espacial dentro del acrílico. Un parámetro importante que se determinó fue el rango de presiones [5 -850kpa] con una resolución de 5 kpa.

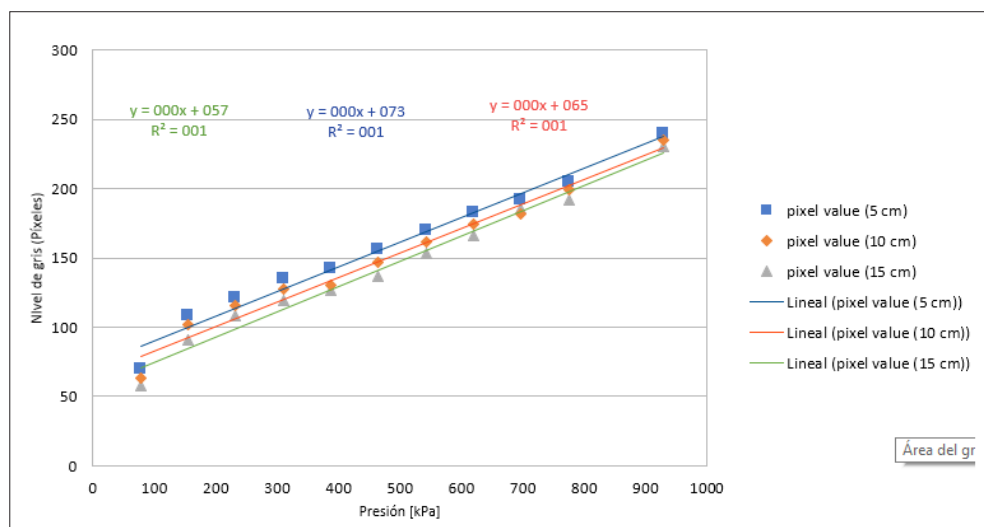


Figure 6 – Resultados del proceso de calibración del Baropodógrafo óptico.

Una vez realizado el proceso de calibración instrumental del sensor óptico se procede al proceso de procesamiento de imágenes. En la figura 7 se puede observar el resultado de las diferentes etapas de procesamiento para la obtención del mapa de distribución de presiones.

Posteriormente se procede a calcular la presión media del dispositivo óptico en las áreas delimitadas de ZA, ZM y ZP en un intervalo de 5 segundos para 50 capturas por cada uno de los sujetos. Con los datos obtenidos tanto del prototipo de baropodómetro como de los sensores electrónicos se procede a realizar el análisis estadístico de la varianza a partir de F-Test y a correlación de Pearson. Los grupos de análisis corresponden a las

tres zonas seleccionadas, estos datos se usan como entradas para el análisis obteniendo así un valor de F aproximado de 1295 y un valor de significancia de 0.001 ($p < 0.05$). Los datos capturados por ambos dispositivos del sujeto 1 (Mujer- Peso:63Kg) se pueden observar en el diagrama de cajas de la figura 8.

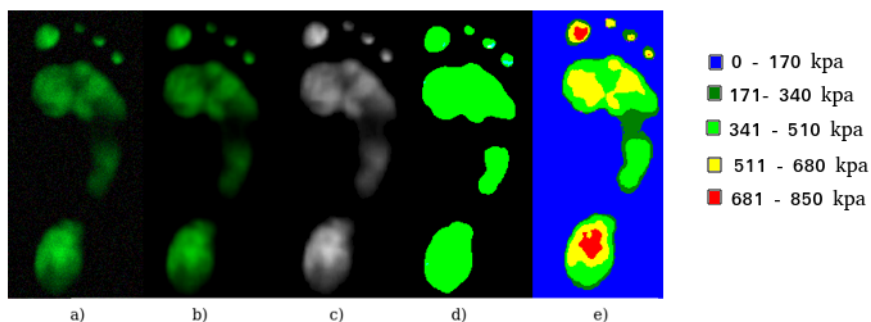


Figure 7 – a) Imagen original. b) Imagen filtrada. c) Imagen segmentada. d) Imagen binaria. e) Imagen de presiones en escala de falso color.

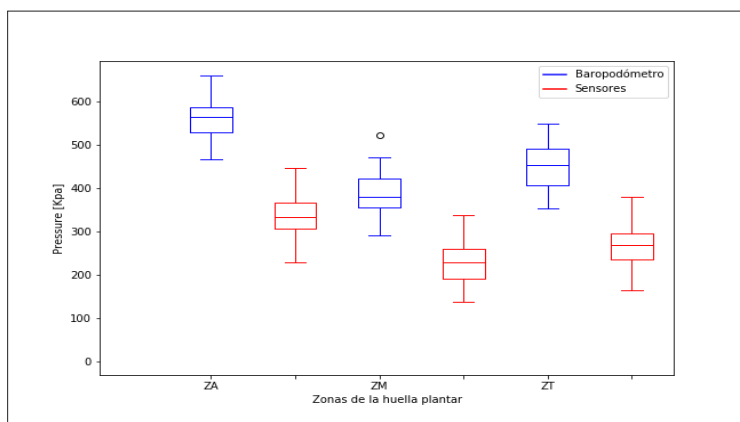


Figure 8 – Datos de presión media para los 50 datos del sujeto 1 para las tres zonas de la huella plantar.

De la misma manera dispositivos del sujeto 2 (Hombre- Peso:88 Kg) se pueden observar en el diagrama de cajas de la figura 9.

En relación a los coeficientes de correlación de Pearson cuando se comparan las presiones medias de los dos dispositivos en las zonas ZA, ZM y ZT se estiman en valores de 0.78, 0.76 y 0.75 todos con una significancia $p < 0.05$. Datos similares se calculan para el sujeto 2 con valores de correlación de 0.66, 0.82, 0.67. Para ambos sujetos se encontraron valores de correlación menor en la zona ZT. Finalmente, se hace la estimación de las medidas de correlación sin considerar las zonas para los sujetos 1 y 2 en conjunto.

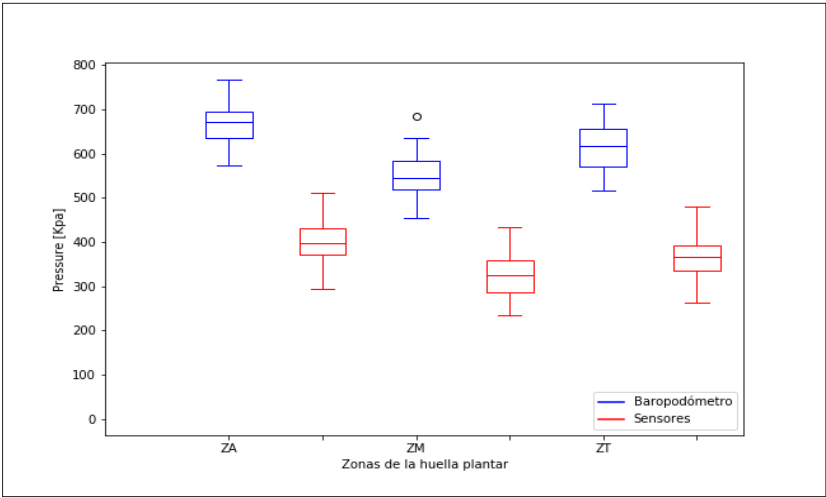


Figure 9 – Datos de presión media para los 50 datos del sujeto 2 para las tres zonas de la huella plantar.

Zona del Pie		Baropodógrafo Óptico [kpa]	Prototipo de sensores FSR [kpa]
Baropodógrafo Óptico [kpa]	Pearson Corr.	1	0.81**
	P		0.00
	N	50	50
Prototipo de sensores FSR [kpa]	Pearson Corr.	0.81**	1
	P	0.00	
	N	50	50

Tabla 1 – Correlación de presiones de los dos dispositivos.

Los resultados de la tabla 1 permiten establecer un valor de correlación de 0.81 con un nivel de significancia con $p < 0.05$. Autores como Aunhathaweesup et al. (2014) ya han realizado estudios con el fin de establecer el nivel de fiabilidad de los dispositivos ópticos como sustituto de los sistemas electrónicos comerciales. Sus resultados permitieron obtener un coeficiente de correlación de 0.764 con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El autor concluye que el dispositivo óptico puede ser usado como un producto sustituto del sistema (Tekscan).

A partir de la información dada, es posible establecer que, aunque la diferencia de los coeficientes de correlación es pequeña, el método de calibración, el uso del material transductor y el control de la iluminación tiene influencia sobre los resultados obtenidos. Sin embargo, cabe destacar que los valores de medidas de ambos dispositivos difieren significativamente en magnitud, los valores dados por el baropodómetro es casi el doble de los valores medidos por los sensores FSR en condiciones normales. Su uso clínico se justifica por su bajo costo, y en algunas ocasiones se requiere conocer el valor relativo

de las presiones para estimaciones de cargas y análisis postural. La dificultad radica en realizar una calibración, cuando se usan pesos y áreas conocidas estas se colocan sobre el acrílico de manera homogénea, mientras que el pie tiene una anatomía y consistencia diferente. Lo que permite establecer el coeficiente de correlación, es que los datos están relacionados por zonas y de manera general, permitiendo así conocer el comportamiento de la distribución.

4. Conclusiones

La metodología desarrollada en este estudio permitió la construcción de dos dispositivos para la medición de presiones de la huella plantar, uno de naturaleza óptica y electrónica. Posteriormente se realizó una comparación entre ambas tecnologías, se estableció la correlación entre las medidas obtenidas con cada una de ellas y así concluir sobre su uso. Los resultados preliminares permitieron establecer que, aunque las medidas entre ambos dispositivos se encuentran lejos de ser comparables en magnitud, si lo es estadísticamente a la hora de comparar la distribución en las tres zonas, lo que sugeriría su uso en términos de costos en relación a plataformas de presión comerciales. Los porcentajes de correlación, aunque no son lo suficientemente altos, es posible pensar que los baropodógrafos óptico pueden ser usados cuando se requiere tener una estimación de la distribución de presiones del pie, es decir conocer en qué zona se encuentra en mayor presión. Este estudio fue realizado únicamente con dos sujetos, lo que sería necesario la realización de pruebas con muchos más sujetos, para que estos resultados sean concluyentes.

Referencias

- Aunhathaweesup, Y., Leelasantitham, A., & Kiattisin, S. (2014, October 15). Development of optical sensor device for pedobarograph acquisition. *2014 International Electrical Engineering Congress, IEECON 2014*. <https://doi.org/10.1109/IEECON.2014.6925903>
- Bonnel, F., & Teissier, P. (2013). Anatomía topográfica del pie. *EMC - Podología*, 15(1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/s1762-827x\(13\)64005-5](https://doi.org/10.1016/s1762-827x(13)64005-5)
- Buchelly, F. J., Mayorca, D., Ballarín, V., & Pastore, J. (2016). Digital image processing techniques applied to pressure analysis and morphological features extraction in footprints. *Journal of Physics: Conference Series*, 705(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/705/1/012020>
- Burger, W. (2016). *Zhang's Camera Calibration Algorithm: In-Depth Tutorial and Implementation*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1166.1688>
- Cabezos Bernal, P. M., & Cisneros Vivó, J. J. (2012). FOTOGRAFOMETRÍA CON CÁMARAS DIGITALES CONVENCIONALES Y SOFTWARE LIBRE. *EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 17(20), 88–99. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1407>
- Franks, C. I., & Betts, R. P. (1988). Selection of transducer material for use with 'optical' foot pressure systems. *Journal of Biomedical Engineering*, 10(4), 365–367. [https://doi.org/10.1016/0141-5425\(88\)90071-4](https://doi.org/10.1016/0141-5425(88)90071-4)

- Geng, X., Shi, J., Chen, W., Ma, X., Wang, X., Zhang, C., & Chen, L. (2019). Impact of first metatarsal shortening on forefoot loading pattern: A finite element model study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2973-6>
- Goffar, S. L., Reber, R. J., Christiansen, B. C., Miller, R. B., Naylor, J. A., Rodriguez, B. M., Walker, M. J., & Teyhen, D. S. (2013). Changes in Dynamic Plantar Pressure During Loaded Gait. *Physical Therapy*, 93(9), 1175–1184. <https://doi.org/10.2522/ptj.20120103>
- González, X., Conesa, X., & Parals, F. (2017). Artrodesis percutánea de la primera articulación metatarsofalángica. *Revista Pie Tobillo*, 31(1), 60–63. <https://doi.org/10.24129/j.rpt.3101.fs1704009>
- Hernández, E. V. S., Rodríguez, C. O. de L., Bustamante, A. E. C., & Oliva, X. M. (2016). *Biomecánica funcional del pie y tobillo: comprendiendo las lesiones en el deportista*. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=65320>
- Hussein, O., Wan Hasan, W. Z., Soh, A. C., Jafaar, H., Ramli, H. R., Rahman, F. A., Ang, S. P., & Hamid, Z. H. A. (2019, April 11). Development of an in-Sole Plantar Pressure Measurement Device. *2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application, ICSIMA 2018*. <https://doi.org/10.1109/ICSIMA.2018.8688798>
- Keijsers, N. L. W., Stolwijk, N. M., Nienhuis, B., & Duysens, J. (2009). A new method to normalize plantar pressure measurements for foot size and foot progression angle. *Journal of Biomechanics*, 42(1), 87–90. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.038>
- Margallo, J. A. S., Sánchez Margallo, F. M., Carrasco, J. B. P., Sánchez González, P., Oropesa García, I., & Aguilera, E. J. G. (2010). *Procedimiento automático para el calibrado de cámaras: Estudio comparativo de la distorsión en diferentes combinaciones de cámaras y ópticas laparoscópicas*. http://oa.upm.es/9278/1/INVE_MEM_2010_85819.pdf
- Menz, H. B., & Munteanu, S. E. (2005). Validity of 3 Clinical Techniques for the Measurement of Static Foot Posture in Older People. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(8), 479–486. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.8.479>
- Merker, J., Hartmann, M., Haas, J. P., & Schwirtz, A. (2018). Combined three-dimensional gait and plantar pressure analyses detecting significant functional deficits in children with juvenile idiopathic arthritis. *Gait and Posture*, 66, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.08.041>
- Nakajima, K., Kobayashi, Y., & Mochimaru, M. (2019, August 1). The Influence of Hallux Valgus on Plantar Pressure during Walking. *2019 International Conference on Engineering, Science, and Industrial Applications, ICESI 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICESI.2019.8863001>
- Oh, S. E., Choi, A., & Mun, J. H. (2013). Prediction of ground reaction forces during gait based on kinematics and a neural network model. *Journal of Biomechanics*, 46(14), 2372–2380. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.07.036>

- Peroni, L. A. (2004). *Las relaciones entre las inestabilidades del apoyo plantar y las alteraciones de la biomecánica de la rodilla*. Universidad de Málaga, Servicio de Publicaciones. <https://helvia.uco.es/handle/10396/276>
- Pifarré, F., Agustin, S., Mora, J. E., Casal Castells, A., Prats Armengol, T., Carles Gomà, S., & Esther Levy Benasuly, A. (2016). Las lesiones por sobrecarga en las extremidades inferiores desde el punto de vista biomecánico. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas*, 10(2), 106–121. https://doi.org/10.5209/rev_RICP.2016.v10.n2.52309
- Pourghasem, M., Kamali, N., Farsi, M., & Soltanpour, N. (2016). Prevalence of flatfoot among school students and its relationship with BMI. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 50(5), 554–557. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2016.03.002>
- Ramirez-Bautista, J. A., Huerta-Ruelas, J. A., Chaparro-Cárdenas, S. L., & Hernández-Zavala, A. (2017). A Review in Detection and Monitoring Gait Disorders Using In-Shoe Plantar Measurement Systems. In *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* (Vol. 10, pp. 299–309). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/RBME.2017.2747402>
- Rickard Hellstrom, P. A., Åkerberg, A., Ekström, M., & Folke, M. (2018). Evaluation of the ingval pedobarography system for monitoring of walking speed. *Healthcare Informatics Research*, 24(2), 118–124. <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.2.118>
- Shahabpoor, E., & Pavic, A. (2017). Measurement of walking ground reactions in real-life environments: A systematic review of techniques and technologies. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 17, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s17092085>
- Simposio De Tecnología Avanzada, C.-I., & México, D. F. (2008). *Proceso de calibración de cámaras digitales basado en el modelo Pin-Hole* (Vol. 3). https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/11288/1/2sta_p86.pdf
- Viladot, A. (2003). Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. *Revista Española de Reumatología*, 30(9), 469–477. <https://medes.com/publication/10947>
- Wafai, L., Zayegh, A., Woulfe, J., Mahfuzul, S., & Begg, R. (2015). Identification of foot pathologies based on plantar pressure asymmetry. *Sensors (Switzerland)*, 15(8), 20392–20408. <https://doi.org/10.3390/s150820392>
- Wang, S. K., Zhao, J. Z., Jiang, M., Wang, H. T., & Zhang, Y. D. (2019). Zhang's Camera Calibration Method Based on Circular Array Calibration Board. *Beijing Ligong Daxue Xuebao/Transaction of Beijing Institute of Technology*, 39(8), 859–863. <https://doi.org/10.15918/j.tbit1001-0645.2019.08.014>
- Yu, G., & Morel, J.-M. (2011). ASIFT: An Algorithm for Fully Affine Invariant Comparison. *Image Processing On Line*, 1, 11–38. <https://doi.org/10.5201/ipol.2011.my-asift>

Sistema IoT para el seguimiento del ritmo cardíaco y la predicción de afecciones cardíacas

Gabriel Elías Chanchí G¹, Luz Marina Sierra M², Julio Cesar Rodríguez R¹

gchanchig@unicartagena.edu.co; lsierra@unicauca.edu.co; jrodriguezz@unicartagena.edu.co

¹ Universidad de Cartagena, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

² Universidad del Cauca, 190004, Popayán, Colombia.

Pages: 14–27

Resumen: Uno de los contextos de mayor proyección de IoT es el área de la salud, en este sentido, se han desarrollado diferentes dispositivos basados en tecnologías inalámbricas para la captura y seguimiento de variables fisiológicas, los cuales permiten la lectura de datos básicos asociados a dichas variables, pero estos datos solo son capturados mediante aplicaciones gratuitas no abiertas, por lo cual, se hace necesario el diseño y construcción de sistemas abiertos que permitan el análisis de los datos y la obtención de información útil a los expertos en el área. Este artículo, propone como aporte un sistema IoT portable para el seguimiento y análisis de las variables fisiológicas de ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco, de cara a la predicción de afecciones cardíacas, a partir del cálculo de métricas asociadas a estas variables y el uso de modelos de clasificación basados en árboles de decisión.

Palabras-clave: IoT; ritmo cardíaco; variabilidad del ritmo cardíaco; sistema IoT.

IoT system for heart rate monitoring and heart disease prediction

Abstract: One of the contexts with the greatest projection of IoT is the area of health, in this sense, different devices based on wireless technologies have been developed for the capture and monitoring of physiological variables, which allow the reading of basic data associated with these variables, but these data are only captured by free applications that are not open, for that reason, it is necessary to design and build open systems that allow data analysis and obtaining useful information for experts in the area. In this paper, we propose a portable IoT system to monitor and analyze the physiological variables of heart rate and heart rate variability, in order to predict heart disease, based on the calculation of metrics associated with these variables and the use of classification models based on decision trees.

Keywords: heart rate; heart rate variability; IoT; IoT system.

1. Introducción

Internet de las cosas (IoT) puede entenderse como la conexión en red de objetos físicos o dispositivos en una red abierta y conformada por objetos inteligentes que tienen la capacidad de auto gestionarse, compartir información, datos y recursos, reaccionar y actuar frente a situaciones y cambios en el entorno (Naveen, 2016; Conti, Dehghantanha, Franke y Watson, 2018). Otra definición, para IoT es la interconexión de objetos del mundo físico a través de internet, por lo cual estos objetos están equipados con sensores, actuadores y tecnología para dar soporte a la comunicación entre ellos (Bonilla-Fabela, Tavizon-Salazar, Morales-Escobar, Guajardo-Muñoz y Laines-Alamina, 2016; Fundación Bankinter, 2011). Una consecuencia de la implementación de IoT en diferentes contextos de aplicación, es la generación de grandes volúmenes de datos y su transformación en información útil para la toma de decisiones (Dey, Hassanien, Bhatt, Ashour y Satapathy, 2018).

Para la implementación de IoT en diferentes contextos de aplicación, se hace uso de arquitecturas compuestas por 4 capas a saber: captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos (Barrio, 2018; Bonilla-Fabela et al., 2016). La capa de captura, está asociada a los dispositivos y sensores de captura de datos; la capa de almacenamiento, corresponde a las tecnologías encargadas de guardar los datos capturados (bases de datos relacionales o no relacionales); la capa de análisis, permite el procesamiento de los datos en información útil mediante el uso de diferentes tipos de algoritmos; finalmente, la capa de visualización, facilita la presentación y organización de los datos históricos y en tiempo real (Delgado, Girón, Chanchí y Márceles, 2019; Quiroga, Jaramillo, Campo y Chanchí, 2017).

Uno de los campos de aplicación donde IoT tiene un gran potencial es el de la salud, donde se han venido desarrollando diferentes dispositivos para la captura y seguimiento de variables fisiológicas apoyados en el estándar bluetooth LE. A pesar de lo anterior, estos dispositivos tienen asociadas aplicaciones que permiten la lectura de los datos básicos mediante aplicaciones gratuitas, pero no abiertas que dificultan su análisis y obtención de información útil (Delgado, Girón, Chanchí, Márceles y Dionizio, 2019), por lo que se hace necesario construir sistemas que accedan a la trama de datos de estos dispositivos y permitan su seguimiento y transformación de los datos en información de valor agregado. De este modo, este trabajo presenta como aporte un sistema IoT para la captura, seguimiento y análisis de las variables fisiológicas del ritmo cardíaco (HR) y la variabilidad del ritmo cardíaco (representada mediante los intervalos RR o intervalos entre los pulsos) de cara a la detección y predicción de afecciones cardiacas. Para lo anterior, el sistema IoT obtiene los datos desde un cinturón bluetooth (articulado al pecho del paciente) y a partir de los datos capturados, posibilita el cálculo de métricas asociadas a estas variables fisiológicas tales como: el promedio de la variabilidad del ritmo cardíaco, el porcentaje de intervalos RR sucesivos mayores a 50 milisegundos (pRR50) y la desviación estándar de los intervalos RR (SDRR). Del mismo modo, el sistema hace uso de modelos de clasificación basados en árboles de decisión para el análisis de los datos capturados.

Las métricas mencionadas, pueden usarse en la detección de afecciones cardíacas, considerando la clasificación de riesgo definida para estas. Así, si el promedio de la variabilidad del ritmo cardíaco tiene un valor menor a 750 milisegundos, es considerado un riesgo alto; si toma un valor entre 750 y 900 milisegundos, es considerado un riesgo moderado y si tiene un valor superior a 900 milisegundos, corresponde a un riesgo bajo (deportistas regulares). En lo referente a la métrica de pRR50 si su valor es menor que 3%, es considerado un riesgo alto y si es mayor o igual a 3%, es considerado un riesgo bajo. Finalmente, el riesgo asociado a la desviación estándar de la variabilidad del ritmo cardíaco es considerado alto, si es menor a 50 milisegundos; es moderado si está comprendido entre 50 y 100, y alto si es mayor a 100 milisegundos (de la Cruz, López y Naranjo, 2015).

El sistema IoT propuesto fue implementado haciendo uso de tecnologías libres que permitan su despliegue en entornos tipo SBC (Single Board Computer) tales como Raspberry PI. Lo anterior, con el fin de que pueda usarse de manera portable en lugares remotos y campañas médicas. El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2, se presentan las diferentes fases metodológicas consideradas en este trabajo; en la Sección 3, la descripción del diseño e implementación del sistema IoT propuesto; en la Sección 4, el estudio de caso realizado con el fin de verificar la utilidad del sistema IoT, finalmente, en la Sección 5, las conclusiones y trabajos futuros derivados de la presente investigación.

2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se consideraron tres fases metodológicas a saber: selección de tecnologías, diseño e implementación del monitor y estudio de caso (ver Figura 1).

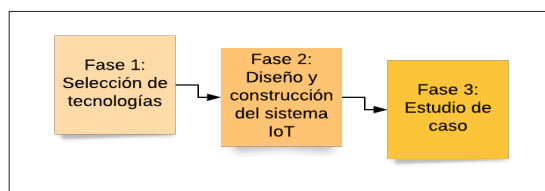


Figura 1 – Metodología propuesta.

Fase 1 – Selección de tecnologías: En esta fase se realizó la exploración y selección de tecnologías adecuadas para la construcción del sistema IoT portable para el seguimiento del ritmo cardíaco y la predicción de afecciones cardíacas. Como resultado de esta fase, se seleccionó el cinturón bluetooth Zephyr, un receptor USB para bluetooth 4.0 y la herramienta libre de gatttool, que permite la obtención de la trama hexadecimal de los datos del ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco desde del cinturón Zephyr.

Fase 2 – Diseño y construcción del sistema: A partir de las tecnologías identificadas en la fase 1, el sistema IoT para el seguimiento del ritmo cardíaco y la predicción de afecciones cardíacas fue implementado en el lenguaje Java, haciendo uso en segundo

plano de la herramienta libre gatttool, la cual opera bajo consola y permite la obtención de la trama de datos transmitida por el cinturón Zephyr al receptor bluetooth. A partir de los datos capturados mediante el cinturón es posible la obtención de métricas propias del ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco tales como: El promedio de los intervalos RR, el porcentaje pnRR50 y la desviación entandar SDRR. Así mismo, el sistema IoT permite el análisis de los datos obtenidos mediante modelos de clasificación basados en árboles de decisión usando la API provista por la herramienta weka.

Fase 3 – Estudio de caso: Se realizó un estudio de caso, con el fin de verificar la utilidad del sistema IoT propuesto. El estudio de caso fue realizado con 7 personas de diferentes edades, a las cuales se les capturaron las mediciones del ritmo cardíaca y de la variación del ritmo cardíaco durante 2 minutos. A partir de los datos capturados mediante el cinturón Zephyr, el sistema IoT calculó las métricas asociadas al ritmo cardíaco y a la variabilidad del ritmo cardíaco, así como el análisis de los datos mediante un clasificador basado en el algoritmo de árboles de decisión.

3. Sistema IoT propuesto

En esta sección se presenta el diseño y la implementación del sistema IoT para el seguimiento y predicción de afecciones cardíacas propuestas. Con el diseño, se presentan los diagramas de bloques con las diferentes funcionalidades del sistema y su relación con las capas de la arquitectura de IoT y un diagrama de flujo que ilustra el proceso realizado por el sistema IoT. En cuanto a la implementación del sistema, se presenta el diagrama de clases del sistema, así como la interfaz final y las funcionalidades asociadas a sus diferentes pestañas.

3.1. Diseño del Sistema IoT

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques del sistema IoT propuesto, dentro del cual se destacan los siguientes módulos funcionales: módulo GUI, módulo de captura, módulo de almacenamiento y módulo de análisis. Estos módulos están enmarcados en las cuatro capas de la arquitectura convencional de IoT.

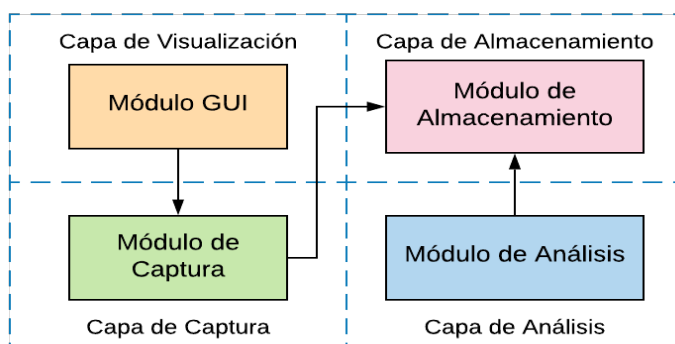


Figura 2 – Diagrama de bloques.

El módulo GUI se encarga de la gestión de la interfaz gráfica del sistema IoT, se utilizaron clases pertenecientes a la librería swing de Java. La interfaz gráfica permite iniciar y detener la captura de los datos de ritmo cardíaco y su variabilidad, a partir del cinturón Zephyr, así como la visualización de la gráfica en tiempo real de los datos y de los resultados del análisis de las capturas realizadas. El módulo de captura, es el encargado de la obtención de los datos en tiempo real del ritmo cardíaco y de la variabilidad del ritmo cardíaco. Lo anterior es realizado, mediante la invocación en segundo plano de la herramienta gatttool, la cual con el uso de comandos de consola de linux, permite obtener a partir del cinturón los datos del ritmo cardíaco y de la variabilidad del ritmo cardíaco en formato hexadecimal. El módulo de almacenamiento por su parte, es el encargado de guardar las diferentes sesiones de captura realizadas a los usuarios del sistema IoT en una base de datos, de este modo, cada sesión almacenada contiene un conjunto de capturas del ritmo cardíaco y de la variabilidad del ritmo cardíaco, junto con la estampa de tiempo en la cual dichas medidas fueron realizadas y un id que diferencia cada captura. Para finalizar, a partir de la información almacenada en la base de datos, el módulo de análisis se encarga de obtener métricas en el dominio del tiempo asociadas al ritmo cardíaco y a la variabilidad del ritmo cardíaco tales como: El promedio del ritmo cardíaco, el promedio de los intervalos RR, el porcentaje pRR50 y la desviación estándar SDRR. Adicionalmente, este módulo se encarga de realizar el análisis de los datos capturados mediante el uso del algoritmo de árboles de decisión J48. En concordancia con lo anterior, la Figura 3 presenta claramente la forma en la que los cuatro módulos del sistema IoT se articulan dentro de la arquitectura de IoT.

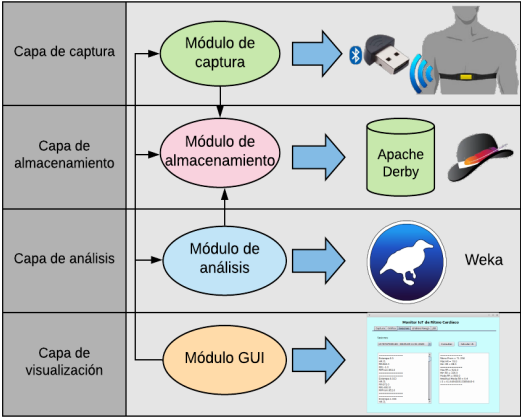


Figura 3 – Relación con las capas de IoT.

De acuerdo a la Figura 3, en la capa de captura, el módulo de captura obtiene los datos del cinturón Zephyr haciendo uso de un receptor USB bluetooth 4.0; para la obtención de los datos mediante el receptor bluetooth, el sistema IoT usa en segundo plano la herramienta gatttool; en la capa de almacenamiento, el módulo de almacenamiento

se encarga de guardar las sesiones de captura realizadas en la base de datos Apache Derby; La capa de análisis, el módulo de análisis aprovecha las sesiones almacenadas en Apache Derby para obtener las métricas asociadas al ritmo cardíaco y a la variabilidad del ritmo cardíaco; del mismo modo el módulo de análisis, aplica el algoritmo de árboles de decisión sobre los datos capturados mediante la API de la librería weka; por último, la capa de visualización, el módulo de GUI se encarga de presentar al usuario final la captura de los datos en tiempo real, así como la gráfica de seguimiento y el análisis de los datos capturados.

A continuación, en la Figura 4 se presenta un diagrama de flujo que describe el proceso empleado por el sistema IoT para la captura, seguimiento y análisis de los datos obtenidos del ritmo cardíaco y de la variabilidad del ritmo cardíaco. En primera instancia, se inicia el sistema IoT y se procede a realizar el emparejamiento con el cinturón y dispositivo SBC con el fin de capturar las variables fisiológicas. Una vez realizada la sincronización, el usuario del sistema puede dar inicio a la sesión de captura, lo cual hace que el sistema IoT ejecute en segundo plano la herramienta gatttool. Gatttool permite recibir la trama de datos de las variables fisiológicas en formato hexadecimal de manera periódica. A medida que los datos son adaptados y presentados en pantalla, cada captura es graficada en tiempo real y almacenada con el número de sesión y la estampa de tiempo en la base de datos Apache Derby. Mientras el usuario no detenga la captura, el sistema seguirá obteniendo las variables fisiológicas, graficándolas y almacenándolas en la base de datos. Cuando la captura se detiene, el usuario puede buscar la sesión por la fecha a partir del historial de sesiones, de tal modo que una vez encontrada la sesión es posible obtener métricas estadísticas tales como: El promedio y la variabilidad del ritmo cardíaco, el porcentaje pRR50 y la desviación estándar SDRR, las cuales pueden ser usadas para la detección y predicción de posibles riesgos y/o afecciones cardíacas por parte de personal especializado. Del mismo modo, el sistema permite la aplicación del algoritmo de árboles de decisión J48, para lo cual el sistema carga los datos de acuerdo a la estructura de la tabla 2 y ejecuta el algoritmo. El sistema puede ser usado nuevamente para realizar más sesiones o puede ser finalizado.

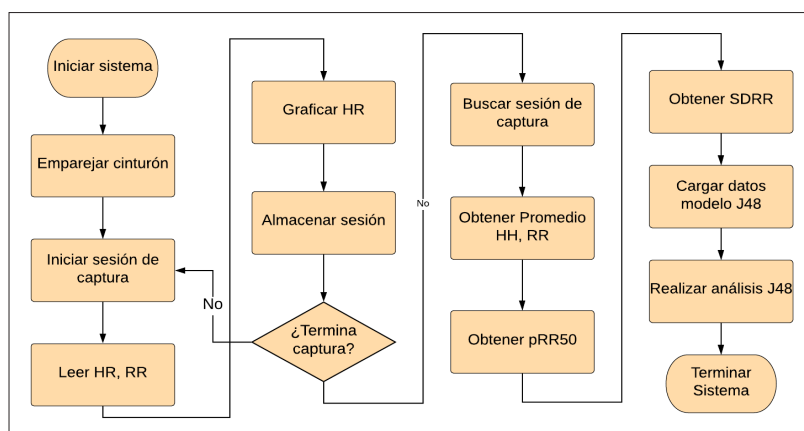


Figura 4 – Diagrama de flujo del sistema IoT.

En la Tabla 1 se muestra la estructura del modelo de clasificación empleado para el algoritmo ejecutado sobre los datos capturados. Este modelo está conformado por dos atributos y una clase, el primer atributo corresponde al valor continuo del ritmo cardíaco (HR), el segundo atributo corresponde al valor de la variabilidad del ritmo cardíaco y el último corresponde a la clase, que es la clasificación presentada en la Sección 1 con respecto al nivel de riesgo obtenido a partir de los intervalos RR.

Atributo 1	Atributo 2	Clase
Valor HR	Valor RR	Clasificación RR
Valor continuo del ritmo cardíaco	Valor continuo de la variabilidad del ritmo cardíaco	Riesgo alto Riesgo moderado Riesgo bajo

Tabla 1 – Modelo de clasificación J48.

3.2. Implementación del Sistema IoT

A partir de la funcionalidad descrita en la Sección 3.1, en esta sección se presenta la implementación del sistema IoT para la captura, seguimiento, análisis y predicción de afecciones cardíacas. De este modo en la Figura 5 se muestra el diagrama de clases del sistema IoT, en el cual se destacan las clases: GUI, Cinturón, Grafica, ManejadorDB, Árbol y Riesgo.

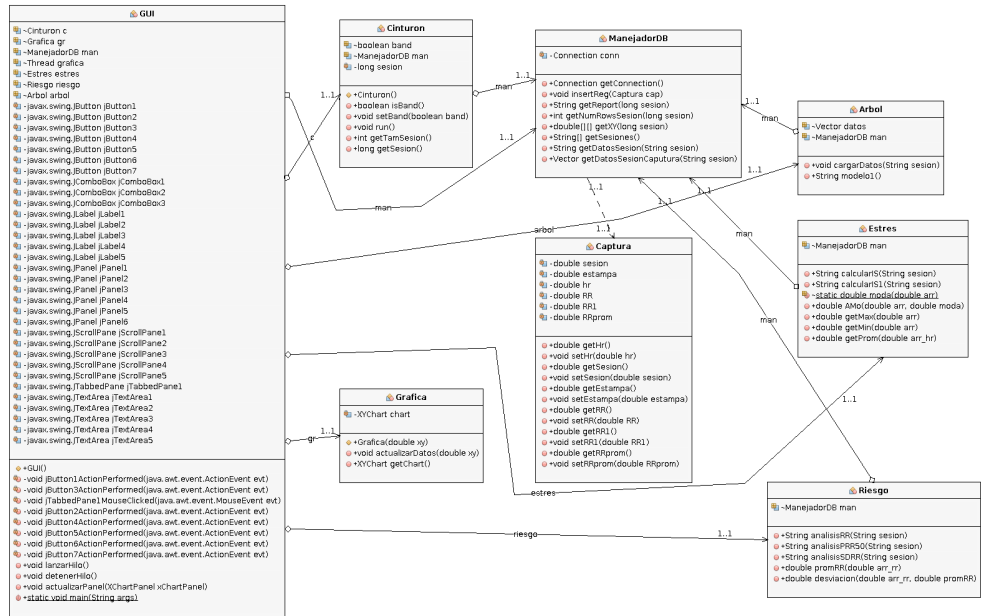


Figura 5 – Diagrama de clases del sistema IoT.

La clase GUI es la encargada del control y la gestión de las diferentes vistas de la interfaz gráfica del sistema IoT, para lo cual hace uso de las funcionalidades provistas por la

clase Swing de Java; La clase Cinturón, es la encargada de capturar los datos del ritmo cardíaco y de la variabilidad del ritmo cardíaco a partir del cinturón Zephyr haciendo uso en segundo plano de la librería gatttool de linux, a fin de emplear las clases Runtime y Process de Java que permiten la ejecución de comandos del sistema operativo; la clase Gráfica, posibilita por su parte, la generación de la gráfica en tiempo real de las diferentes capturas que se van realizando del ritmo cardíaco, para lo cual se hace uso de la librería XYChart; la clase ManejadorDB, es la encargada de gestionar el almacenamiento y consulta de las sesiones de captura de las variables fisiológicas en la base de datos portable Apache Derby; la clase Riesgo se encarga de calcular las diferentes métricas o estadísticas de interés a partir de los datos capturados y almacenados en la base de datos Apache Derby. Dentro de las métricas mencionadas se encuentran: promedio del ritmo cardíaco, promedio de la variabilidad del ritmo cardíaco, porcentaje pRR50 y desviación estándar SDRR. Adicionalmente, la clase Riesgo se encarga de estimar el riesgo de afección cardíaca teniendo en cuenta las escalas de clasificación presentadas en la Sección 1; por último, la clase Árbol es la encargada a través de sus métodos de configurar y ejecutar el modelo de clasificación basado en el algoritmo de árboles de decisión J48 presentado en la Sección 3.1. Lo anterior mediante el uso de las prestaciones de la API de la librería weka.

En la Figura 6 se presenta la interfaz principal del sistema IoT, el cual fue desarrollado en el lenguaje de programación Java, haciendo uso de las clases pertenecientes al paquete Swing. La interfaz del sistema IoT está formada por cinco pestañas: Captura, Gráfica, Sesiones, Análisis Riesgo y J48.

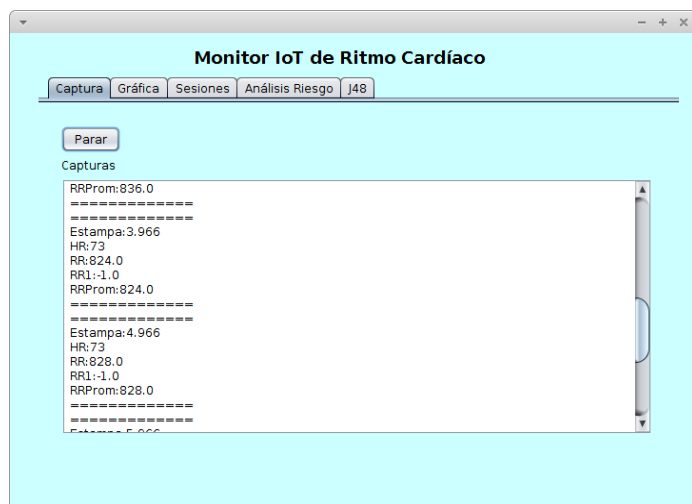


Figura 6 – Interfaz principal del sistema IoT.

La pestaña Captura, cuenta con un botón Iniciar/Parar y un área de texto donde se van presentando los datos de las variables fisiológicas capturadas. De este modo, una vez emparejado el cinturón con el dispositivo de recepción y una vez presionado el botón Iniciar, el estado de este cambia a Parar y se empiezan a capturar los datos de ritmo

cardíaco y variabilidad del ritmo cardíaco desde el cinturón Zephyr, haciendo uso en segundo plano de la librería gatttool. Los datos obtenidos son presentados en tiempo real en el área de texto captura hasta que el usuario presione el botón Parar. Tal como se aprecia en la Figura 6, los datos obtenidos a partir del cinturón son: la estampa de tiempo de la captura (Estampa), el ritmo cardíaco (HR), la primera lectura de la variabilidad del ritmo cardíaco (RR), la segunda lectura de la variabilidad del ritmo cardíaco (RR1) y el promedio de las lecturas de la variabilidad del ritmo cardíaco (RRProm). Cabe resaltar que no siempre el cinturón obtiene dos lecturas de la variabilidad del ritmo cardíaco, por lo que en ocasiones el promedio es equivalente a la primera lectura. Adicionalmente, a medida que los datos son capturados y presentados en el área de texto de la pestaña Captura, también son almacenados en la base de datos.

La pestaña Gráfica, presenta gráficamente las capturas del ritmo cardíaco en tiempo real haciendo uso de la librería XYChart de Java. A nivel de la implementación, la generación de la gráfica es realizada a través de un hilo independiente al hilo de captura de los datos, de tal modo a que a medida que los datos se guardan en la base de datos, son consultados y presentados en la curva de la pestaña Gráfica. Así, a modo de ejemplo, en la Figura 7 se presenta una gráfica que contienen 40 segundos con las diferentes capturas de ritmo cardíaco de una determinada sesión.

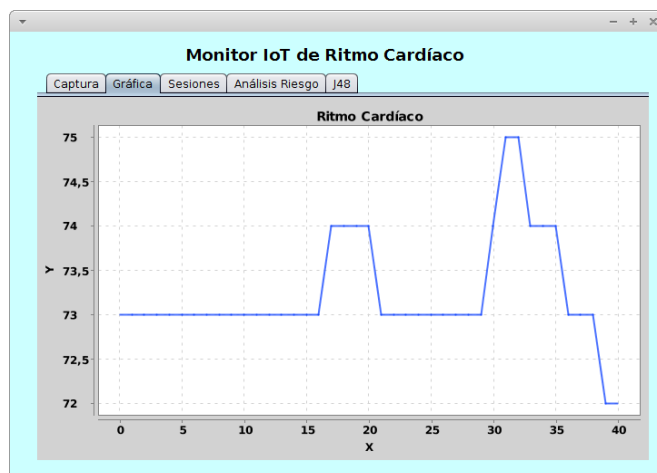


Figura 7 – Pestaña Gráfica.

La pestaña Sesiones, permite la posible consulta de las diferentes sesiones de captura realizadas y que se encuentran almacenadas en el gestor de bases de datos Apache Derby. Tal como se aprecia en la Figura 8, cada una de las sesiones de captura tiene un identificador tipo long que es obtenido a partir del método System.currentTimeMillis() de Java, representa el número de milisegundos que han transcurrido desde 1970 hasta el momento de iniciar la sesión de captura, este identificador se convierte al formato de fecha y puede ser usado por el usuario para diferenciar las sesiones, una vez identificada la sesión de captura, el usuario puede consultar el histórico de los datos capturados haciendo uso del botón Consultar, lo cual le permite visualizar los valores de ritmo cardíaco (HR) y variabilidad del ritmo cardíaco (RR) junto con su estampa de tiempo

asociada. De igual modo, la pestaña Sesión cuenta con el botón Calcular I.S, el cual permite el cálculo de los valores promedio y los valores máximos y mínimos del ritmo cardíaco y de la variabilidad del ritmo cardíaco, estos valores pueden ser de interés de cara a identificar la escala en la cual varía el ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco; así a modo de ejemplo, la sesión presentada en la Figura 9 tiene como promedio un valor de 71.256 ppm con oscilaciones entre 68.0 y 78.0 ppm, mientras que la variabilidad del ritmo cardíaco tiene un valor promedio de 868 milisegundos con oscilaciones entre 326 y 924 milisegundos.

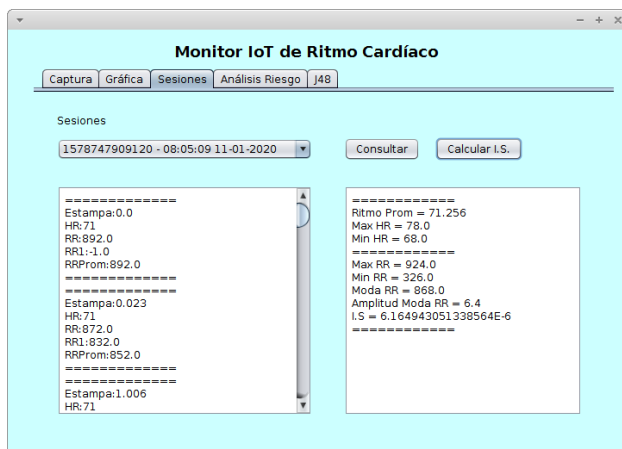


Figura 8 – Pestaña Sesiones.

En lo referente a la pestaña Análisis Riesgo, permite consultar los datos históricos de las sesiones de captura que han sido almacenadas en la base de datos y calcular sobre dichos datos las métricas definidas en la Sección 1, haciendo uso de los botones: Análisis RR, pRR50 y SDRR (ver Figura 9).



Figura 9 – Pestaña Análisis Riesgo.

A través del botón **Análisis RR** es posible obtener el porcentaje de intervalos RR asociados a riesgo alto (<750 ms), riesgo moderado (≥750 ms y <900) y riesgo bajo (≥900 ms), así como el promedio de los intervalos RR y su clasificación según la escala mencionada. A modo de ejemplo, en la Figura 8, se muestra que, de un total de 125 capturas, 12 de ellas están asociadas al riesgo alto (9.6%), 104 a un riesgo moderado (83.2%) y 9 a un riesgo bajo (7.2%). Del mismo modo, el promedio de los intervalos RR capturados es de 817.984 ms, lo que corresponde a un riesgo general moderado; por otra parte, el botón **pRR50** determina el porcentaje de los intervalos consecutivos que son mayores a 50 milisegundos y el riesgo asociado a dicho valor. Finalmente, el botón **SDRR**, calcula la desviación estándar de los intervalos RR capturados y el riesgo asociado a dicho valor.

En la pestaña **J48**, al igual que las anteriores pestañas es posible consultar los datos de las sesiones de captura almacenadas en Apache Derby y partir de esos datos aplicar el modelo de clasificación basado en árboles de decisión **J48** presentado en la tabla 1, haciendo uso para ello de la API de weka (ver Figura 10).

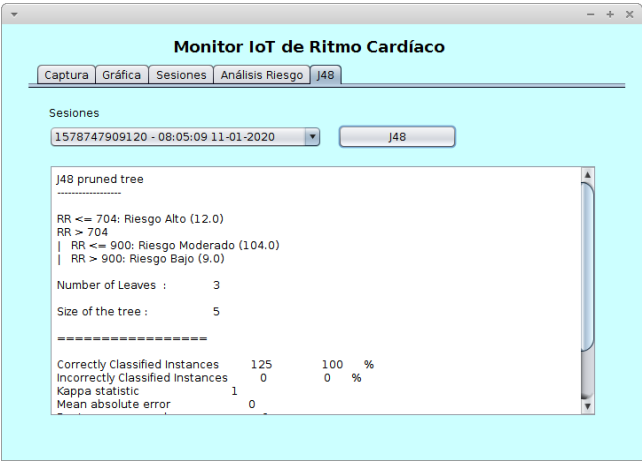


Figura 10 – Pestaña J48.

El modelo de la Figura 10 está conformado por dos atributos (HR, RR) y una clase (clasificación de riesgo), de tal modo que busca encontrar relación entre los valores del ritmo cardíaco, la variabilidad del ritmo cardíaco y la clasificación de riesgo. A modo de ejemplo, en la Figura 10 el modelo de clasificación muestra que, del total de 125 instancias cargadas al modelo, los intervalos RR clasificados con riesgo moderado y alto están por encima del valor de 704 milisegundos, siendo 104 instancias clasificadas como riesgo moderado y 9 instancias como riesgo bajo. Así, el modelo de clasificación brinda una visión más clara de los datos a los diferentes especialistas en el área, posibilitando la organización de las capturas con respecto a los riesgos de afecciones cardíacas.

4. Estudio de caso

Con el fin de verificar la utilidad del sistema IoT, se realizaron sesiones de captura de una duración de 2 minutos con 7 personas de edades comprendidas entre los 17 y 74

años. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos por el sistema al analizar los datos de las sesiones de captura mediante el uso de las métricas definidas en la Sección 1 y del algoritmo de árboles de decisión J48.

Edad	RRProm	pRR50	SDRR	Árbol J48
44	817.984 Moderado	12.903 Bajo	121.441 Bajo	RR <= 704: Riesgo Alto (12.0) RR > 704 RR <= 900: Moderado (104.0) RR > 900: Bajo (9.0)
17	756.151 Moderado	14.503 Bajo	78.535 Moderado	RR <= 748: Riesgo Alto (57.0) RR > 748 RR <= 900: Moderado (69.0) RR > 900: Bajo (6.0)
35	705.161 Alto	2.439 Alto	30.379 Alto	RR <= 748: Alto (117.0) RR > 748: Moderado (7.0)
45	765.12 Moderado	1.612 Alto	39.001 Alto	RR <= 748: Alto (46.0) RR > 748: Moderado (79.0)
74	654.787 Alto	10.317 Bajo	77.788 Moderado	Riesgo Alto (127.0/1.0)
66	821.255 Moderado	25.56 Bajo	56.065 Moderado	RR <= 748: Riesgo Alto (11.0) RR > 748 RR <= 900: Moderado (114.0) RR > 900: Bajo (4.0)
34	641.271 Alto	0.7812 Alto	36.63 Alto	Alto (129.0/1.0)

Tabla 2 – Resultados estudio de caso.

Como se aprecia en la Tabla 3 cada una de las métricas asociadas a RR (RR promedio, pRR50 y SDRR) cuenta con una clasificación proporcionada por el sistema IoT y que pretende servir de apoyo a los especialistas en el área de cara a la detección y predicción de afecciones cardíacas (columnas 2,3 y4); del mismo modo, en la columna 5 de la tabla se presenta el árbol generado al aplicar el algoritmo de árboles de decisión J48 a cada una de las sesiones de captura realizadas con el sistema IoT. Según la tabla 3, de las 7 personas evaluadas, 4 de ellas tienen un promedio de variabilidad de ritmo cardíaco que clasifica como moderado, lo cual puede asociarse a que estas personas manifestaron realizar 2 o 3 veces actividad física por semana, mientras que las 3 personas restantes tienen tendencia a no realizar actividad física semanal (sedentarismo). Estos resultados guardan consistencia sobre los valores de desviación estándar (SDRR), los cuales, en el caso de las personas con clasificación moderada en la variabilidad del ritmo cardíaco, tienen tendencia a una clasificación baja y moderada en la mayoría de los casos en cuanto a la desviación estándar (SDRR > 50). Finalmente, los valores promedio de la variabilidad del ritmo cardíaco guardan coherencia con los árboles de decisión J48 generados, en los cuales se pueden apreciar las diferentes clasificaciones de las instancias de una sesión de captura su relación directa con la clasificación final.

5. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo propuso como aporte la construcción de un sistema IoT para la captura y análisis de variables fisiológicas tales como el ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco, de cara a la predicción de afecciones cardíacas por parte de especialistas, teniendo en cuenta métricas asociadas a estas variables y considerando técnicas de clasificación basadas en árboles de decisión J48.

El sistema propuesto se articula dentro de las cuatro capas de la arquitectura convencional de IoT (captura, almacenamiento, análisis, visualización). En la capa de captura se hace uso del cinturón bluetooth LE Zephyr, en la capa de almacenamiento los datos son guardados en la base de datos Apache Derby, en la capa de análisis se obtienen métricas tales como: el promedio de la variabilidad del ritmo cardíaco, el porcentaje pRR50 y la desviación estándar SDRR. Así mismo, en esta capa se hace uso de modelos de clasificación basados en árboles de decisión para el análisis de los datos capturados. Finalmente, en la capa de visualización se presentan los datos y las gráficas de estos en tiempo real.

Las tecnologías libres usadas en las diferentes capas del sistema IoT, permiten su portabilidad en entornos SBC (Raspberry PI), de tal modo que el sistema puede emplearse en diferentes campañas o centros médicos en lugares remotos, haciendo uso de tecnología asequible. Así, una de las ventajas del sistema es la escalabilidad, al permitir fácilmente la inclusión de nuevas métricas o algoritmos de análisis de datos, lo que constituye una ventaja respecto a los dispositivos comerciales.

A partir del estudio de caso realizado, es posible evidenciar la utilidad del sistema IoT con respecto a dispositivos comerciales que no toman en consideración el cálculo de métricas asociadas al ritmo cardíaco y a la variabilidad del ritmo cardíaco, ni el uso de modelos de clasificación para enriquecer el análisis de las capturas realizadas. De este modo, el análisis de las métricas obtenidas, permite a los especialistas en el área detectar posibles afecciones cardíacas. Así mismo, el uso del algoritmo de árboles de decisión posibilita el análisis de los intervalos RR, con el ritmo cardíaco y las clasificaciones de riesgo presentadas en la Sección 1.

Como trabajo futuro, se propone vincular al sistema propuesto otros algoritmos de clasificación como K-Means (clustering), con el fin de enriquecer el análisis de los datos capturados a partir de las variables fisiológicas.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca y a la Universidad de Cartagena.

Referencias

- Barrio, M. (2018). *Internet de las cosas*. Madrid-España: Reus.
- Bonilla-Fabela, I., Tavizon-Salazar, A., Morales-Escobar, M., Guajardo-Muñoz, L., & Laines-Alamina, C. (2016). IoT, El internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones. *Revista VinculaTégica*, 2, 2313-2340.

- Conti, M., Dehghantanha, A., Franke, K., & Watson, S. (2018). Internet of Things security and forensics: Challenges and Opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 78(2), 544-546.
- de la Cruz, B., López, C., & Naranjo, J. (2015). Analysis of heart rate variability at rest and during aerobic exercise: a study in healthy people and cardiac patients. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 715-720.
- Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., & Márceles, K. (2019). Arquitectura IoT para la identificación de personas en entornos educativos. *RISTI*(E17), 841-853.
- Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., Márceles, K., & Dionizio, S. (2019). Sistema para la Detección y Seguimiento de Afecciones Cardíacas Soportado en SBC. *RISTI*, 717-728.
- Dey, N., Hassanien, A., Bhatt, C., Ashour, A., & Satapathy, S. (2018). *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*. Cham-Suiza: Springer International Publishing AG.
- Fundación Bankinter. (2011). *El internet de las cosas en un mundo conectado de objetos inteligentes*. Madrid-España: Fundación Bankinter.
- Naveen, S., & Hedge, G. (2016). Study of IoT: Understanding IoT Architecture, Applications, Issues and Challenges. *International Journal of Advanced Networking & Applications - IJANA*, 477-482.
- Quiroga, E., Jaramillo, S., Campo, W., & Chanchí, G. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*(24), 39-56.

Hospitalización en 2018 debido a diabetes mellitus en Ecuador: un estudio de regresión geométrica

Ernesto Ponsot-Balaguer¹

ernesto.pb@gmail.com

¹ topos: Data Science Consulting, Ibarra, 100150, provincia de Imbabura, Ecuador.

Pages: 28–39

Resumen: Se estudia el número de días de hospitalización reportados en el Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios, 2018, en Ecuador, en función de las variables explicativas Provincia de ubicación del centro hospitalario, Sexo del paciente, Edad, Etnia, Provincia de residencia habitual del paciente y Causa específica. Se emplea para ello un modelo de regresión geométrica, con el que es posible concluir que todas las variables mencionadas, excepto la etnia, son relevantes para explicar el número de días de hospitalización requeridos. Se espera que el modelo sirva al gerente hospitalario para planificar el valioso recurso ‘cama de hospital’, al considerar las variables explicativas mencionadas al momento del ingreso del paciente.

Palabras-clave: regresión geométrica; días de hospitalización; diabetes mellitus en Ecuador.

Hospitalization in 2018 due to diabetes mellitus in Ecuador: A geometric regression study

Abstract: The number of days of hospitalization reported in the Statistical Registry of Hospital Beds and Discharges, 2018, in Ecuador, is studied, based on the explanatory variables Province of location of the hospital center, Sex of the patient, Age, Ethnicity, Province of habitual residence of the patient and Specific cause. For this, a geometric regression model is used, with which it is possible to conclude that all the variables mentioned, except Ethnicity, are relevant to explain the number of days of hospitalization required. The model is expected to serve the hospital manager to plan the valuable resource ‘hospital bed’, considering the explanatory variables mentioned at the time of the patient’s admission.

Keywords: geometric regression; days of hospitalization; diabetes mellitus in Ecuador.

1. Introducción

Se presenta un estudio mediante regresión geométrica (de uso poco frecuente en la literatura) del número de días de hospitalización reportados en el Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios para el año 2018 en Ecuador.

La distribución geométrica de probabilidades es apropiada en esta situación, al considerar que el número de días de hospitalización puede tomarse como el fracaso y el éxito ocurre una sola vez, con el egreso del paciente.

El Registro del cual se han tomado los datos contiene algunas variables interesantes para el estudio, a saber: la provincia de ubicación del centro hospitalario, el sexo del paciente, su edad, la etnia a la que pertenece, la provincia de residencia habitual y la causa específica (asociada con la diabetes mellitus). Las causas reportadas en el Registro se corresponden con las listadas en la Clasificación Internacional de Enfermedades, versión 10.

Luego de preparar los datos para que sirvan como insumo al modelo, observando valores atípicos y describiéndolos en general, se ajusta un Modelo Lineal Generalizado para la Distribución Geométrica como caso particular de la Distribución Binomial Negativa. El modelo produce la estimación de los parámetros y su significación estadística, con lo que se discute y comparan los aportes más resaltantes de todas las variables mencionadas.

Además de la presente sección introductoria, el trabajo continúa con una sección que presenta una breve descripción de la teoría que se emplea, las causas en consideración y los promedios de días de hospitalización requeridos, como motivación. Le sigue una sección metodológica con una explicación de los datos y sus fuentes, así como la definición de los factores y sus niveles. El centro del trabajo es la sección de resultados, en donde se presenta la tabla de análisis de varianza de los parámetros del modelo y se discuten las implicaciones más importantes. Continúa el trabajo con la sección de conclusiones para finalizar con las referencias citadas en el texto.

2. Marco teórico

2.1. Diabetes mellitus

Según la Asociación Americana de Diabetes (2004), “la diabetes es un grupo de enfermedades metabólicas caracterizadas por la hiperglucemia resultante de defectos en la secreción de insulina, acción de la insulina o ambas. La hiperglucemia crónica de la diabetes se asocia con daño a largo plazo, disfunción y falla de diferentes órganos, especialmente los ojos, riñones, nervios, corazón y vasos sanguíneos”.

Se estima que la diabetes mellitus afectó a 422 millones de personas adultas en el mundo en el año 2014 y fue causante de 1,5 millones de muertes en el año 2012 (OMS, 2016). En Las Américas, se calcula que la diabetes afectó a 62 millones de personas para el año 2014 y la proyección para el año 2040 fue de 190 millones de personas, con un gasto total en salud cercano a los 400 millones de dólares de los EEUU por año (OPS, 2014).

La diabetes se cataloga como Tipo 1, Tipo 2 y Otros tipos específicos. En Ecuador, se reportaron 4895 defunciones por su causa en el año 2017, entre las que el 90,3% del total corresponde a la Diabetes Tipo 2, la dolencia más frecuente (Zavala y Fernández, 2018:7).

Los pacientes con diabetes mellitus son hospitalizados 2,4 veces más que el resto de los pacientes que ameritan hospitalización (Membreño y Nacach, 2005:100). Esto amerita

una inversión importante por parte del Estado, principal responsable de sostener los centros hospitalarios y por parte del paciente y su familia.

Este trabajo se basa en la información contenida en el Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios (ECEH) para el año 2018, publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC) en septiembre de 2019. De las 1532 causas de hospitalización, asociadas a la diabetes se registran 6 causas como muestra la tabla 1.

CIE10	Descripción	f	fA	fr	frA
E11	Diabetes mellitus no insulín dependiente	9522	9522	0,530	0,530
E10	Diabetes mellitus insulín dependiente	3588	13110	0,200	0,730
E14	Diabetes mellitus no especificada	2890	16000	0,160	0,900
O24	Diabetes mellitus en el embarazo	1259	17259	0,070	0,970
E13	Otras diabetes mellitus especificadas	469	17728	0,030	0,990
E12	Diabetes mellitus asociados con desnutrición	112	17840	0,010	1,000

Nota: ‘f’ representa la abreviatura de frecuencia absoluta simple, ‘fA’ de frecuencia absoluta acumulada, ‘fr’ de frecuencia relativa y ‘frA’ de frecuencia absoluta acumulada.
Fuente: Elaboración propia a partir de la ECEH, 2018.

Tabla 1 – Causas de hospitalización en Ecuador durante 2018, asociadas con la diabetes.

La tabla 1 incluye el código de la Clasificación Internacional de Enfermedades en su versión N° 10 (CIE10) así como la descripción de la causa. La causa más frecuente de hospitalización es la Diabetes mellitus no insulín dependiente (E11) y la menos frecuente es la Diabetes mellitus asociados con desnutrición (E12). Entre las tres primeras ocurren el 90% de los casos de hospitalización relacionadas con la diabetes en el Ecuador, durante el año 2018.

La figura 1 muestra el promedio de días de hospitalización reportados para cada causa.

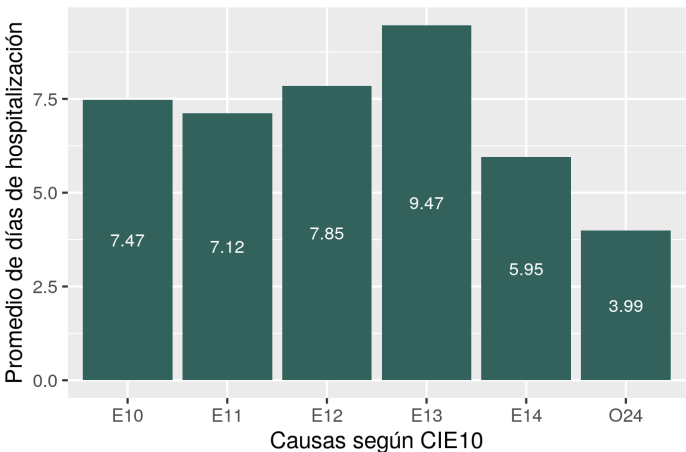


Figura 1 – Promedio de días de hospitalización por causa.
Fuente: Elaboración propia a partir de la ECEH, 2018.

La figura 1 muestra que la causa que amerita en promedio mayor cantidad de días de hospitalización (9,5 días) es la E13 (Otras diabetes mellitus especificadas) y la que amerita menor cantidad de días promedio de hospitalización (4 días) es la O24 (Diabetes mellitus en el embarazo). Las restantes ameritan en promedio entre 6,3 y 7,5 días de hospitalización.

En cualquier caso, estos promedios son considerablemente elevados y es clara la necesidad de estudiar en profundidad los días de hospitalización, causados por dolencias asociadas con la diabetes.

2.2. Regresión geométrica

Sea Y una variable aleatoria que sigue la distribución geométrica de probabilidades, con probabilidad de fracaso $1 - p$ tal que $p \in (0,1)$, entonces su función de masa de probabilidades está dada por:

$$f(y) = (1-p)^y p, y = 0, 1, 2, \dots$$

Se trata de una distribución en que el interés se centra en el número de ensayos (de Bernoulli) que son necesarios hasta obtener el primer éxito. El éxito ocurre en el primer ensayo si $y=0$ con probabilidad p ; en el segundo ensayo si $y=1$ con probabilidad $(1-p)p$ y así sucesivamente.

En este trabajo el interés se centra en el número de días de hospitalización (fracaso) que son necesarios hasta el egreso del hospital (éxito). Claramente, esta situación se puede modelar con la distribución geométrica de probabilidades.

Puede demostrarse que la distribución geométrica pertenece a la familia exponencial de distribuciones con parámetro canónico $\theta = \log(1-p)$, esperanza $\mu = E[y] = (1-p)/p$ y varianza $\sigma^2 = V[y] = (1-p)/p^2$. Se trata asimismo de un caso particular de la distribución binomial negativa que se obtiene con la suma de k variables geométricas independientes, cuando $k=1$.

Nelder y Wedderburn (1972) definieron la familia de Modelos Lineales Generalizados como una extensión de los modelos lineales en los que la variable respuesta del modelo pertenece a la familia exponencial de distribuciones (ampliando la hasta entonces necesaria pertenencia a la distribución normal).

La regresión geométrica pertenece entonces a la familia de los modelos lineales generalizados, cuando la variable respuesta se modela siguiendo la distribución geométrica de probabilidades. Otros modelos ampliamente utilizados en esta familia son por ejemplo el modelo logit (con respuesta binomial) y la regresión de Poisson (con respuesta de Poisson). Una actualización de la teoría puede verse en Agresti (2015).

En este trabajo, se emplea esta herramienta para el modelado estadístico del número de días de hospitalización en función de varias variables explicativas (ver tabla 2).

3. Metodología

Este trabajo se basa en el Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios 2018 (INEC, 2019). La metodología comprende la obtención y limpieza de los datos, incluyendo valores atípicos, su filtrado a las condiciones de interés del estudio y su disposición para el procesamiento. El tratamiento estadístico, tanto de tablas como de figuras, así como el modelado, se han desarrollado programando en R Statistical Software (R Core Team, 2018). La regresión geométrica se ha desarrollado en R como caso particular de la regresión binomial negativa proporcionada por el paquete MASS (Venables y Ripley, 2002).

3.1. Los datos

La tabla principal de la base de datos contiene 1164659 registros y 36 variables. Es interesante acotar que una regresión geométrica con todos los registros de la tabla y todas las causas de hospitalización, conduce a una situación de grandes volúmenes de datos, imposible de resolver en un computador de prestaciones normales. Es necesario adaptar los algoritmos actuales para este tipo tan importante de análisis estadístico, a la situación en que la matriz de diseño del modelo resulte de dimensiones inmanejables.

En el registro se mencionan todas las causas de hospitalización ocurridas durante el año 2018 en el Ecuador, no obstante, para este trabajo se han filtrado sólo las que se relacionan con la diabetes mellitus (directamente mencionada como causa). También se han seleccionado solo 7 variables como las más interesantes. Esto deja para el análisis, luego de limpiar valores atípicos, un total de 17840 registros.

A continuación, las definiciones de las variables en consideración:

Variable	Descripción	Factor o tipo (categoría)
dia_estad	(Variable respuesta). Días de estadía del paciente en el hospital	Númerica (entero)
prov_ubi	Provincia ubicación establecimiento	1 (Azuay), 2 (Bolívar), 3 (Cañar), 4 (Carchi), 5 (Cotopaxi), 6 (Chimborazo), 7 (El Oro), 8 (Esmeraldas), 9 (Guayas), 10 (Imbabura), 11 (Loja), 12 (Los Ríos), 13 (Manabí), 14 (Morona Santiago), 15 (Napó), 16 (Pastaza), 17 (Pichincha), 18 (Tungurahua), 19 (Zamora Chinchipe), 20 (Galápagos), 21 (Sucumbíos), 22 (Orellana), 23 (Santo Domingo de los Tsáchilas), 24 (Santa Elena)
sexo	Sexo del paciente	1 (Hombre), 2 (Mujer)
edad	Edad del paciente en años	Númerica (entero)
etnia	Definición étnica del paciente	1 (Indígena), 2 (Afroecuatoriano/a Afrodescendiente), 3 (Negro/a), 4 (Mulato/a), 5 (Montubio/a), 6 (Mestizo/a), 7 (Blanco/a), 8 (Otro/a), 9 (Ignorado/a)
prov_res	Provincia de residencia habitual del paciente	Misma clasificación que prov_ubi
causa3	Causa de lista internacional detallada a 3 dígitos de la CIE-10. Para el estudio, causas asociadas con la diabetes.	Ver tabla 1

Tabla 2 – Lista de variables en consideración para el estudio.

4. Resultados

4.1. Breve descripción de los datos

La figura 2 muestra la distribución por edad y sexo de los pacientes contenidos en la muestra.

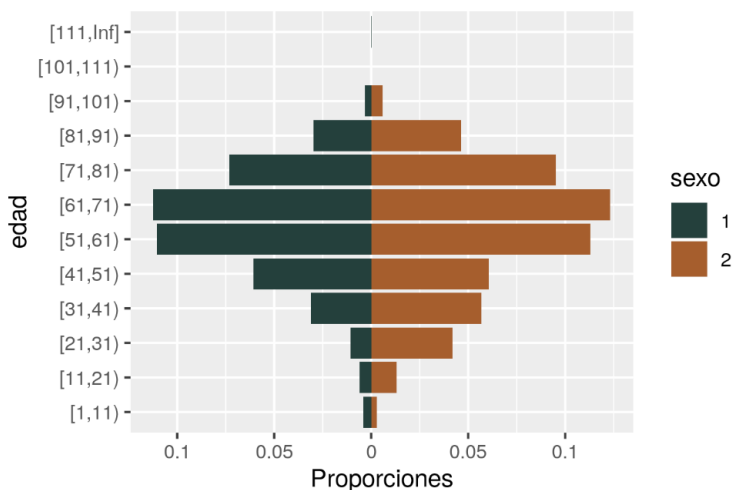


Figura 2 – Distribución por edad y sexo de los pacientes.
Fuente: Elaboración propia a partir de la ECEH, 2018.

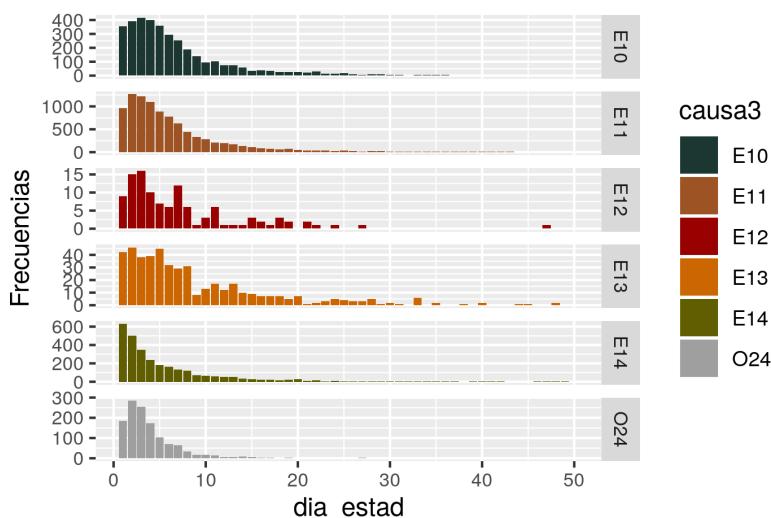


Figura 3 – Distribución de frecuencias del N° de días de hospitalización.
Fuente: Elaboración propia a partir de la ECEH, 2018.

Puede notarse que las proporciones de hombres (1) y mujeres (2) son similares, aunque hay más mujeres que hombres en la muestra. Las categorías de edad más frecuentes están entre 51 y 71 años.

La figura 3 muestra las distribuciones de frecuencias del número de días de hospitalización requeridos para cada causa registrada en la base de datos, truncando a partir del día 50.

Como puede verse en dicha figura, para cada causa asociada con la diabetes, es razonable modelar una distribución geométrica en el número de días de hospitalización. También luce razonable un modelo de Poisson, sin embargo, debido a la naturaleza de los datos, se ha preferido el modelo geométrico.

4.2. El modelo

Llamando μ al número medio de días de estadía en el hospital (la variable respuesta dia_estad), el modelo de regresión geométrica propuesto es el siguiente:

$$\log(\mu) = (\text{Intercepto}) + \beta_1 \text{prov_ubi} + \beta_2 \text{sexo} + \beta_3 \text{edad} + \beta_4 \text{etnia} + \beta_5 \text{prov_res} + \beta_6 \text{causa3}$$

Para los factores prov_ubi, sexo, etnia, prov_res y causa3, por ser variables categóricas, los β 's son en realidad vectores cuyos elementos corresponden a cada nivel del factor en cada caso, exceptuando el primer nivel que se toma como el de referencia. Es necesario estimar un sólo parámetro para el caso de la edad, por tratarse de una variable numérica. La tabla 3 muestra el análisis de varianza de los factores incluidos en el modelo.

Factor	Est,	E,E,	t	Pr(> t)	Conclusión	exp(Est,)	IC(li)	IC(ls)
(Intercepto)	1,562	0,070	22,475	0,000	Rechazar	4,769	4,160	5,472
prov_ubi2	-0,044	0,165	-0,264	0,792	No rechazar	0,957	0,695	1,320
prov_ubi3	-0,218	0,119	-1,824	0,068	No rechazar	0,804	0,643	1,004
prov_ubi4	0,062	0,177	0,352	0,725	No rechazar	1,064	0,745	1,516
prov_ubi5	0,179	0,141	1,266	0,206	No rechazar	1,196	0,910	1,574
prov_ubi6	0,268	0,129	2,081	0,037	Rechazar	1,307	1,008	1,697
prov_ubi7	0,176	0,100	1,768	0,077	No rechazar	1,193	0,999	1,423
prov_ubi8	0,054	0,147	0,369	0,712	No rechazar	1,056	0,792	1,403
prov_ubi9	0,252	0,094	2,663	0,008	Rechazar	1,286	1,071	1,544
prov_ubi10	0,294	0,140	2,105	0,035	Rechazar	1,342	1,015	1,775
prov_ubi11	-0,046	0,119	-0,387	0,699	No rechazar	0,955	0,762	1,194
prov_ubi12	0,149	0,107	1,390	0,164	No rechazar	1,161	0,946	1,424
prov_ubi13	0,346	0,111	3,114	0,002	Rechazar	1,414	1,139	1,756
prov_ubi14	-0,211	0,128	-1,656	0,098	No rechazar	0,809	0,631	1,036
prov_ubi15	-0,233	0,231	-1,007	0,314	No rechazar	0,792	0,506	1,233
prov_ubi16	-0,315	0,180	-1,753	0,080	No rechazar	0,730	0,524	1,017
prov_ubi17	0,258	0,109	2,368	0,018	Rechazar	1,294	1,045	1,604
prov_ubi18	0,220	0,146	1,506	0,132	No rechazar	1,246	0,931	1,670

Factor	Est,	E,E,	t	Pr(> t)	Conclusión	exp(Est,)	IC(li)	IC(ls)
prov_ubi19	-0,724	0,179	-4,038	0,000	Rechazar	0,485	0,341	0,684
prov_ubi20	-0,181	0,564	-0,321	0,748	No rechazar	0,834	0,236	2,294
prov_ubi21	-0,253	0,197	-1,284	0,199	No rechazar	0,777	0,541	1,107
prov_ubi22	-0,239	0,209	-1,141	0,254	No rechazar	0,788	0,520	1,185
prov_ubi23	0,630	0,112	5,640	0,000	Rechazar	1,878	1,515	2,330
prov_ubi24	-0,273	0,182	-1,504	0,133	No rechazar	0,761	0,535	1,074
sexo2	-0,094	0,015	-6,404	0,000	Rechazar	0,910	0,885	0,937
edad	0,002	0,000	4,600	0,000	Rechazar	1,002	1,001	1,003
etnia2	0,204	0,110	1,850	0,064	No rechazar	1,226	0,990	1,525
etnia3	0,152	0,131	1,164	0,244	No rechazar	1,165	0,903	1,515
etnia4	-0,017	0,268	-0,065	0,948	No rechazar	0,983	0,595	1,718
etnia5	-0,259	0,169	-1,531	0,126	No rechazar	0,772	0,559	1,087
etnia6	0,033	0,054	0,618	0,536	No rechazar	1,034	0,928	1,150
etnia7	-0,169	0,119	-1,422	0,155	No rechazar	0,845	0,671	1,071
etnia8	-0,110	0,064	-1,709	0,088	No rechazar	0,896	0,789	1,017
etnia9	0,208	0,061	3,413	0,001	Rechazar	1,231	1,090	1,389
prov_res2	0,145	0,149	0,974	0,330	No rechazar	1,157	0,868	1,549
prov_res3	0,155	0,118	1,311	0,190	No rechazar	1,167	0,939	1,457
prov_res4	0,049	0,165	0,297	0,767	No rechazar	1,050	0,756	1,467
prov_res5	0,018	0,141	0,129	0,897	No rechazar	1,018	0,775	1,339
prov_res6	-0,179	0,130	-1,377	0,169	No rechazar	0,836	0,643	1,087
prov_res7	0,249	0,099	2,509	0,012	Rechazar	1,283	1,078	1,529
prov_res8	0,183	0,142	1,290	0,197	No rechazar	1,201	0,915	1,582
prov_res9	0,103	0,095	1,081	0,280	No rechazar	1,109	0,923	1,332
prov_res10	-0,173	0,141	-1,228	0,219	No rechazar	0,841	0,636	1,114
prov_res11	0,008	0,119	0,064	0,949	No rechazar	1,008	0,807	1,262
prov_res12	0,080	0,108	0,737	0,461	No rechazar	1,083	0,882	1,330
prov_res13	0,147	0,111	1,328	0,184	No rechazar	1,159	0,934	1,437
prov_res14	0,213	0,125	1,701	0,089	No rechazar	1,238	0,974	1,580
prov_res15	0,368	0,221	1,667	0,096	No rechazar	1,445	0,954	2,226
prov_res16	0,413	0,180	2,288	0,022	Rechazar	1,511	1,085	2,112
prov_res17	0,015	0,111	0,132	0,895	No rechazar	1,015	0,816	1,261
prov_res18	-0,074	0,147	-0,503	0,615	No rechazar	0,929	0,692	1,246
prov_res19	0,325	0,163	1,991	0,047	Rechazar	1,384	1,016	1,907
prov_res20	-0,018	0,546	-0,033	0,973	No rechazar	0,982	0,373	3,376
prov_res21	0,380	0,191	1,985	0,047	Rechazar	1,462	1,041	2,074
prov_res22	0,380	0,195	1,953	0,051	No rechazar	1,463	1,002	2,162

Factor	Est,	E,E,	t	Pr(> t)	Conclusión	exp(Est,)	IC(li)	IC(ls)
prov_res23	-0,090	0,116	-0,771	0,441	No rechazar	0,914	0,731	1,142
prov_res24	0,386	0,178	2,173	0,030	Rechazar	1,471	1,053	2,076
prov_res88	-0,105	0,251	-0,417	0,676	No rechazar	0,900	0,555	1,510
causa3E11	-0,063	0,019	-3,395	0,001	Rechazar	0,939	0,905	0,974
causa3E12	0,131	0,094	1,393	0,163	No rechazar	1,140	0,950	1,377
causa3E13	0,231	0,047	4,964	0,000	Rechazar	1,260	1,149	1,384
causa3E14	-0,202	0,024	-8,419	0,000	Rechazar	0,817	0,780	0,857
causa3O24	-0,481	0,035	-13,795	0,000	Rechazar	0,618	0,577	0,662

Nota: 'Est,' abrevia Estimador, 'E,E,' Error Estándar, 't' Valor de la t-Student en la hipótesis de nulidad del parámetro, 'Pr(>|t|)' Probabilidad de la región de rechazo, 'Conclusión' Rechazar al nivel menor que 0,05 de probabilidad, 'exp(Est,)' Exponenciación del estimador, 'IC(li)' Límite inferior del intervalo del 95% de confianza para el estimador exponenciado, 'IC(ls)' Límite superior de dicho intervalo,
Fuente: Elaboración propia a partir de la ECEH, 2018,

Tabla 3 – Análisis de varianza de los factores.

Las pruebas de hipótesis según el *deviance* sugieren un buen ajuste del modelo. Los criterios de información resultan como AIC = 103270,5 y BIC = 103760,9. La figura 4 muestra los residuos del *deviance* del modelo.

Como es de esperar los residuos se ubican en torno al cero y no se aprecian valores atípicos. Se nota en la figura 3 una leve tendencia a su disminución a medida que los valores ajustados se hacen mayores, indicando que el modelo ajusta mejor, valores mayores del número de días de hospitalización, que valores menores, sin embargo, no se notan mayores problemas en cuanto a los supuestos de colinealidad y homocedasticidad de los errores. Puede suponerse entonces que el modelo ajusta correctamente los datos, para efectos del análisis y la significación de los parámetros.

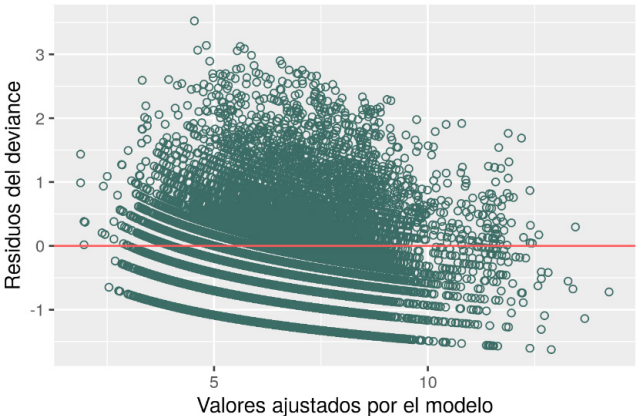


Figura 4 – Valores ajustados versus residuos del *deviance*.
Fuente: Elaboración propia a partir de la ECEH, 2018.

Es de hacer notar que el modelo es apropiado y creíble para estudiar el grado de asociación lineal entre la función de enlace de la variable respuesta y las variables explicativas, así como el sentido de dicha asociación, sin embargo, no es preciso en el pronóstico de la variable respuesta (ni tiene porque serlo, si éste no es el objetivo).

Por otra parte, en la tabla 3 se han resaltado aquellos niveles de los factores que resultaron significativos. Nótese que todos los factores incluidos en el modelo cuentan con al menos un nivel significativo, indicando que todos ellos aportan al ajuste de los datos y tiene sentido discutir dicho aporte, así como compararlo en términos de razón.

4.3. Discusión

La columna 'exp(Est.)' de la tabla 3 contiene la exponenciación de los estimadores de los parámetros del modelo. Cada parámetro puede ser estudiado por separado, considerando que los restantes permanecen inalterados. Con estos valores es posible discutir y comparar los resultados más resaltantes, de la forma siguiente:

- Provincia de ubicación del establecimiento (prov_ubí): el aporte a la media del número de días de hospitalización de los pacientes en la provincia 6 (Chimborazo) es 1,307 veces el aporte de la provincia 1 (Azuay, nivel de referencia). Luego se estima que un paciente en algún centro hospitalario de Chimborazo tiene 30,7% más días de hospitalización en promedio que uno en algún centro hospitalario de Azuay, por causa de la diabetes. La provincia 23 (Santo Domingo de los Tsáchilas) aporta 1,878 veces lo que aporta la provincia de Azuay al número de días de hospitalización, siendo la que mayor cantidad de días reporta en la muestra. Por otra parte, la provincia 19 (Zamora Chinchipe) aporta 0,485 veces lo que aporta la provincia de Azuay, siendo la que menos días de hospitalización reporta en la muestra. Los restantes valores pueden ser interpretados de forma similar, e incluso pueden compararse dos niveles del factor, sin considerar el de referencia, por ejemplo la provincia 10 (Imbabura) aporta $1,342 / 1,286 = 1,044$ veces el aporte de la provincia 9 (Guayas), al número de días de hospitalización (son muy similares).
- Sexo: Un paciente del género femenino (2) aporta a la media del número de días de hospitalización 0,910 veces lo que aporta un paciente del género masculino (1, nivel de referencia). Esto significa que los hombres permanecen hospitalizados $(1/0,910) \cdot 100 = 9,9\%$ más días que las mujeres.
- Edad: Esta variable es numérica, por lo cual su interpretación cambia ligeramente. A medida que un paciente incrementa su edad en un año, el número de días de hospitalización estimado es 1,002 veces el que tendría un paciente con un año menos. Esto es, el aporte al número de días de hospitalización se incrementa en un 0,2% (muy levemente) por cada año cumplido. A mayor edad, mayor cantidad de días de hospitalización requeridos.
- Etnia: la única categoría etnográfica que resulta significativa es la 9 (Ignorado/a) por lo cual en realidad no hay suficiente evidencia para afirmar que la etnia tiene impacto en el número de días de hospitalización del paciente, por causa de la diabetes. Este resultado es notable pues podrían esperarse diferencias en el número de días de hospitalización, en función de la etnia del paciente, considerando diferencias en el estilo de vida, la alimentación e incluso la configuración fisiológica o genómica. Al no detectarse estas diferencias quizás

deba sospecharse que la asignación etnográfica, presente en la base de datos, no sea apropiada y por lo tanto resulta irrelevante para el análisis.

- Provincia de residencia del paciente (prov_res): el aporte a la media del número de días de hospitalización de los pacientes en la provincia 16 (Pastaza) es 1,511 veces el aporte de la provincia 1 (Azuay, nivel de referencia). Luego se estima que un paciente que resida habitualmente en la provincia de Pastaza tiene 51,1% más días de hospitalización en promedio que uno que resida en la provincia de Azuay. Residir en la provincia 6 (Chimborazo) aporta 0,836 veces lo que aporta la provincia de Azuay al número de días de hospitalización, siendo la que menor cantidad de días reporta en la muestra. Por otra parte, la provincia 19 (Zamora Chinchipe) aporta 0,485 veces lo que aporta la provincia de Azuay, siendo la que menos días de hospitalización reporta en la muestra. Las provincias más pobladas y urbanas del país, 9 (Guayas) y 17 (Pichincha), aportan $1,109 / 1,015 = 1,172$ veces el número de días de hospitalización la primera con respecto a la segunda, es decir que un paciente que reside habitualmente en Guayas tiene un 17,2% más días de hospitalización promedio que un residente de Pichincha.
- Causas: La causa de hospitalización E11 (Diabetes mellitus insulínoddependiente) produce 0,939 veces el número de días de hospitalización que la causa E10 (Diabetes mellitus no insulínoddependiente, nivel de referencia). La causa E12 (Diabetes mellitus no especificada) 1,140 veces el número de días que la Diabetes mellitus no insulínoddependiente. La causa E13 (Diabetes mellitus en el embarazo), 1,260 veces, siendo la causa que más días de hospitalización requiere. La causa E14 (Otras diabetes mellitus especificadas), 0,817 veces. Finalmente, la causa O24 (Diabetes mellitus asociados con desnutrición), 0,618 veces, siendo la causa que menos días de hospitalización requiere.

5. Conclusiones

Con relación a la diabetes mellitus en Ecuador, durante el año 2018, se ha desarrollado un modelo de regresión geométrica para estudiar la relación entre el número de días de hospitalización reportados en el Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios y las variables explicativas: provincia de ubicación, sexo, edad, etnia, provincia de residencia y causa específica según la Clasificación Internacional de Enfermedades, versión 10.

A partir del modelo puede concluirse que todos los factores propuestos, con excepción de la etnia del paciente, contribuyen a explicar el número de días de hospitalización reportados. Esto quiere decir que hay diferencias significativas en el número de días de hospitalización requeridos en cada nivel de cada factor propuesto. Los centros hospitalarios de la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas reportan la mayor cantidad de días de hospitalización, mientras que los de la provincia de Zamora Chinchipe, reportan la menor. En general, las mujeres requieren una menor cantidad de días de hospitalización que los hombres por causa de la diabetes. Pacientes que residen habitualmente en la provincia de Chimborazo reportan la menor cantidad de días de hospitalización requeridos, mientras que quienes residen en la provincia Zamora Chinchipe, reportan la mayor. A mayor edad, son requeridos una mayor cantidad de días de hospitalización.

Hay diferencias importantes entre las distintas causas de hospitalización, siendo la Diabetes mellitus en el embarazo la que más días requiere y la Diabetes mellitus asociados con desnutrición la que menos. La primera requiere más del doble de días de hospitalización que la segunda.

El modelo ajusta apropiadamente los datos y es útil para establecer las relaciones y comparaciones mencionadas. Esta información debe servir al planificador hospitalario para proyectar el número de días de hospital que se esperaría requiera un paciente al ser hospitalizado por causas asociadas con la diabetes mellitus.

Referencias

- Agresti, Alan (2015). Foundations of Linear and Generalized Linear Models. *John Wiley & Sons*, NJ, USA.
- Asociación Americana de Diabetes (2014). Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*, Volume 37, Supplement 1, January.
- INEC (2019). Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios 2018. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*, Boletín Técnico N° 01-2019-ECEH. Quito, Ecuador.
- Membreño Mann, Juan Pablo y Zonana Nacach, Abraham (2005). Hospitalización de pacientes con diabetes mellitus. Causas, complicaciones y mortalidad. *Revista Médica del IMSS*. Vol 43(2), marzo – abril, pp. 97 – 101.
- Nelder, J. A. y Wedderburn, R. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society. Serie A*, 135(3):370–384.
- OMS (2016). Informe mundial sobre la diabetes. - *Organización Mundial de la Salud*. ISBN 978 92 4 356525 5.
- OPS (2014). Diabetes en Las Américas. Organización Panamericana de la Salud. Consultado el 22/01/2020 en <https://www.paho.org/>.
- R Core Team (2018). R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Descargado desde <https://www.R-project.org/>.
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002). Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. *Springer*, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Zavala-Calahorrano, Alicia y Fernández, Erick (2018). Diabetes mellitus tipo 2 en el Ecuador: revisión epidemiológica. *Mediciencias UTA*, Vol. 2(4), pp. 3 – 9.

Analytic study on the performance of multi- classification approaches in case-based reasoning systems: Medical data exploration

David Bastidas¹, Camilo Piñeros², Diego H. Peluffo-Ordóñez^{3,4}, Luz Marina Sierra², Miguel A. Becerra^{5,6}, Ana C. Umaquina-Criollo⁷

davba@javerianacali.edu.co; prcamilo@unicauca.edu; diego.peluffo@sdas-group.com; lsierra@unicauca.edu.co; miguel.becerra@pascualbravo.edu.co; acumangua@utn.edu.ec

¹ Pontificia Universidad Javeriana- Sede Cali, 760031, Cali, Colombia.

² Universidad del Cauca, 190003, Popayán, Colombia.

³ Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, 520002, Pasto, Colombia.

⁴ Universidad Yachay Tech, 100650, Urcuquí, Ecuador.

⁵ Institución Universitaria Pascual Bravo, 050042, Medellín, Colombia.

⁶ Universidad de Medellín, 050026, Medellín, Colombia.

⁷ Universidad Técnica del Norte, 100105, Ibarra, Ecuador.

Pages: 40–51

Abstract: This paper compares the main combinations of classifiers (Sequential, Parallel and Stacking) over two remarkable medical data collections: Cleveland and Dermatology. The principal rationale underlying the use of multiple classifiers is that together the methods may be powered rather than their individual behavior. Such a premise is validated through the identification of the best the combination reaching the lowest error rate within a case-based reasoning system (CBR). The different combinations are essentially formed by five different classifiers greatly different regarding their nature and inception: SVM (Support Vector Machines), Parzen, Random Forest, K-NN (k-nearest neighbors) and Naive Bayes. From experimental results, it can be inferred that the combination of techniques is greatly useful. Also, in this work, some key aspects and hints are discussed about the relationship between the nature of the input data and the classification (either individual or mixture of classifiers) stage building within a CBR framework.

Keywords: case based reasoning; classifiers fusion; heart disease; dermatology disease.

1. Introduction

Case-based reasoning (CBR) is a process that emulates the way how human beings make decisions using different techniques of artificial intelligence and machine learning (Löw, Hesser, & Blessing, 2019). The CBR has been applied in different fields such as energy management (Pinto et al., 2019), optimization travel routes (Huh, Chae, Park, &

Kim, 2019), clinical support decision (Bach et al., 2019) (Torrent-Fontbona, Massana, & López, 2019), among others (Biswas, Sinha, & Purkayastha, 2014) and it is considered an open research area with multiple gaps for tackling.

The CBR systems are based on prior knowledge named cases which are stored in a database and permanently are updated according to the occurrence of new cases and their utility. CBR is considered an ideal methodology for the development of support systems in environments with high complexity for acquiring knowledge such as medical diagnosis (Blanco Valencia et al., 2018) However, the number of real medical applications is low due to multiple factors such as information quality of databases (Löw et al., 2019). Other classical problem is the limitation of the CBRs, a one class, problem presented in the Aamodt methodology (Leake, Leake, & Remindings, 1996) which can be insufficient for treating the nowadays clinical issues due. Therefore, recently the literature report some Works focused on CBR multiclass which have the capability of giving more outputs and complete relationships among the different stored cases of each class and new cases (Blanco Valencia et al., 2018) On the other hand, another limitation of the most of CBRs is that they are black-box for the user, which answer without guaranteeing the reliability, which is necessary for achieving a better situation assessment, and consequently it will allow improving the classification of new cases. All these problems have been added to low generality, and the most critical stages (adaptation and recovery) of CBRs, which are open problems and they demand high effort in researching for tackling them.

In order to lead these problems, in this work is studied the adaptation and recovery as a new merged stage using probability for defining the belonging of the new cases to existing classes or if it necessary to create new classes, remove the case or put it in quarantine. It allows us to propose a methodology where different classifiers were combined using sequential, parallel ensembles, and stacking, which were tested with different scoring methods (Maximum, Minimum, Product, and Average) and public clinical databases. The results demonstrated the capability of the proposed methodology and the limitations due to the quality of the databases.

This paper is organized as follows in Section 2 is conducted the methodology for the experimental procedures. Then results and discussion are presented in Section 3. Finally, conclusions and final remarks are addressed in Section 4.

2. Methodology

2.1. Databases

The following study was made using two databases related to medical diseases and belong to the UCI repository from California University. *i)* Cleveland database of heart diseases (UCI., 1988) has 303 instances with 76 features. The diseases were labeled from 0 (no presence) and 1,2,3,4 for different type of diseases. *ii)* Dermatology database (UCI., 1998) allows detecting Eryhemato-Squamous Diseases (psoriasis, seboric dermatitis, lichen planus, pityriasis rosea, cronic dermatitis, and pityriasis rubra pilaris). It has 366 instances with 34 attributes (12 Clinical Attributes and 22 Histopathological Attributes).

For the purpose of obtaining the lowest classification error, the representation of the information is modified by a process, which consists in the elimination of insignificant cases and features that are not giving useful information at the classification system, this process is based in a feedback given by a classifier in which the error rate is the determinant to decide which feature or case is obsolete. This is explained in more depth in article (Dua & Graff, 2019), this study demonstrates that this type of representation improves the classification process in CBR systems, specifically for Dermatology and Cleveland databases because the same group of information was used for the mentioned experiment.

2.2. Classifiers

For this study five classifiers were used for the different combinations and individual performances, these classifiers are:

K nearest neighbor - KNN: this is a classification algorithm based on distance measures. This method measures distances of all objects into the dataset respect to object what want to classify. The object is classified as the mode of the k nearest neighbours classes (Saini et al., 2013). In this work the algorithm k-NN was applied using $K=1$.

Support Vector Machine-SVM (Vapnik, 1995): this is a classification algorithm based on statistical learning. The aim of this algorithm is training data $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j\}$ with a correspond set of labels $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j\}$. In this study a linear kernel was used, which is depicted as $K(x_i, x_j) = x_i x_j$, and the decision function is represented as:

$$y = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x_i, x_j) + b \right].$$

PARZEN: This non-parametric classification approach is based on probability density for each class. This is trained using different kernels such as Laplace and Gaussian kernel functions. This classifier analyzes the individual relationship between instance and class and according to this relationship a value is obtained (Zhi et al., 2008).

RANDOM FOREST: this system is a combination of classifiers or trees that give an individual output, in this case 100 decisions trees were used (Gislason et al., 2006).

NAÏVE BAYES: This algorithm works with probabilities to give a final output or label (Hastie et al., 2008).

For more information on the description of the different classifiers explained briefly above could be analyzed in (Blanco Valencia et al., 2018).

2.3. Training and Testing

For training and test purposes, for every experiment, the 70% of the cases per class in each database would be used for training the classifiers and the 30% for testing them. In search of spotting anomalous results, prevent cases of overfitting and producing a good reliability in the results of this study, every time a classifier is trained, the cases

used would be selected randomly, this process would present a slight difference compared to the known process cross validation, the subset in this case would be created with random cases of the original database each time the system is activated, the iterations in this case would be 50 and the final error would be an average of the errors obtained for each iteration or cycle.

It is worth noticing that the testing procedure in this study; would be conducted in the following way: the cases separated from the original database and placed in a group called “testing group” would be analyzed by a trained classifier and the output or label obtained would be compared with the label assigned by a professional and would determine an overall error of the classifier.

2.4. Classifier Combination

Due to the complexity of a group of information whether is the quantity of features or the lack of information around an specific theme, different ways and techniques of classification are used; The combination of classifiers have brought not only a new sight of how information with abnormal behavior between its features can be classified with error rates similar to more linear ones but a way to classify information with even lower times than an individual one (Sharkey & Sharkey, 1995).

There are two main ensembles or formations to combine classifiers these are:

Sequential: This ensemble uses a variety of classifiers implemented in a cascade formation, the output of a previous classifier is used to improve the training information of the next classifier in the line, this improvement is often related to the reduction of unnecessary information like classes or features from the original database, making the classification process more efficient time wise and in some cases lowering the error rate of classification overall.

Parallel: This formation uses classifiers independently, each classifier is trained with the same group of information, therefore all of the classifiers are presented with a new case, as a result each classifier produces a label and a scoring method or a different approach is used to determine the final output of the entire parallel classifier.

As well there are different recent techniques in which a variety of classifiers are combined, and a final classifier is obtained; this article would use the following technique:

Stacking: This procedure consists in the training of a global classifier analyzing the outputs of the classifiers which are taken as a reference; so, in this case, the outputs of the different classifiers are treated as features for the global classifier to be trained on. As the classifier is trained, a new case is classified using this new final trained algorithm.

2.5. Output Manipulation

Also, according to the type of data we are using and how this information is represented, different methods on how the output of each classifier is used in a combination are taken into account; usually the average output is implemented but other methods as multiplying outputs or analyzing a maximum and minimum are applied as well (Tax, Van Breukelen, Duin, & Josef Kittler, 2000) (Zhou, 2012).

Different approaches for analyzing combination classifiers outputs can be used to produce a final answer or a label in a classification problem, techniques used in this article are the following:

- **Maximum:** This method counts the number of labels related to each of the classes in the group of data and gives as a final answer the class with the biggest quantity, generally speaking this method is used frequently among deciding which output is the closest to a solution.
- **Minimum:** Contrary to the method above this procedure takes into account the smallest quantity of outputs related to a specific class, this specific approach is used depending of the behavior of the information used sometimes due to the complexity of the database the class with the lower percentage of classification is the output needed rather than the highest one.
- **Average:** A mean output is retrieved, result of all the outputs given by the different classifiers used, in case that a class doesn't exist with the same value an approximation would be used to assume the class related to a new case.
- **Product:** In this case the different outputs with the same class are multiplied, the class with the highest values is chosen as the overall system output.

In summary three different ensembles are going to be used for classifier combination (Sequential, Parallel and Stacking) and for every ensemble four different output scoring methods are going to be used (Maximum, Minimum, Product and Average).

In this project it would be used boxplots as an element of representation and for each combination and score method a graph would be portrayed for a better understanding of the behavior of heart and skin related databases.

For a better representation of this methodology an image summarizing the entire process is provided below:

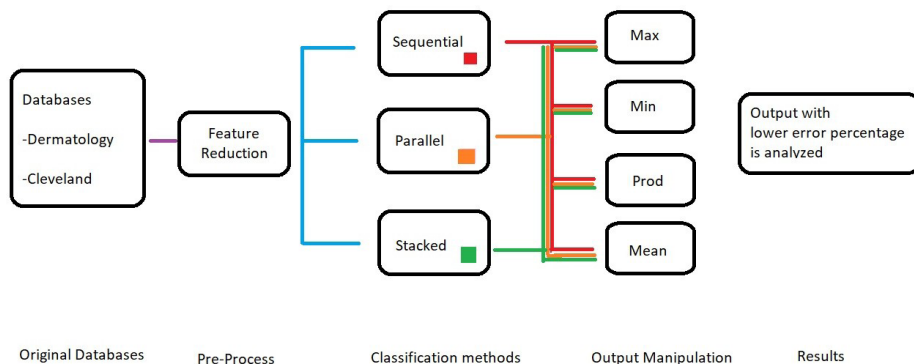


Figure 1 – Methodology Procedure.

3. Results and discussion

The analysis performed in this document is carried out using boxplots, variables such as average error rate and the compaction of data due to the standard deviation, with the

purpose of showing the necessary information to discuss the performance in classification of multiclass combination classifiers as presented in the methodology of this article.

3.1. Classifiers Combination Systems: Sequential

In Figure 2 using Cleveland database, high error rates are observed for individual classifiers: SVM (kernel lineal), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayes (Corresponding to the first 5 classifiers in the figure), with the highest mean value from Random Forest (classifier 3) with results of 0.75 ± 0.04 and the lowest value with Parzen (classifier 2) obtaining 0.65 ± 0.04 of error rate percentage. This shows the complexity in separating the different classes within this type of information, thus obtaining very high error rates and, as a result, is necessary the use of new approaches to reduce them. Now comparing the performance from sequential combining classification and individual classifiers, there was not improvement in the decrease of error rate with combined classifiers; the lowest error was obtained by the combination 18 with 0.65 ± 0.03 that is not lower than the one obtained with Parzen showed above. In Figure 3 are shown the results (error) obtained from Dermatology database, showing low variations among individual classifiers and combinations of them.

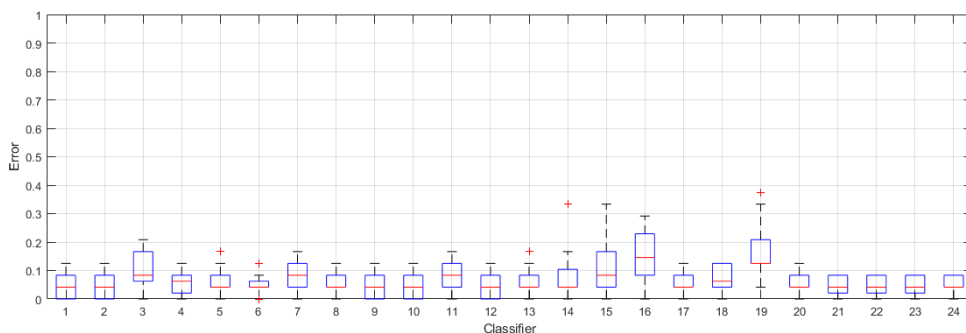


Figure 2 – Cascade using two classifiers for Cleveland database. Where the first 5 positions, are the individual classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian, from 6 to 25, are the different cascade combinations with these classifiers.

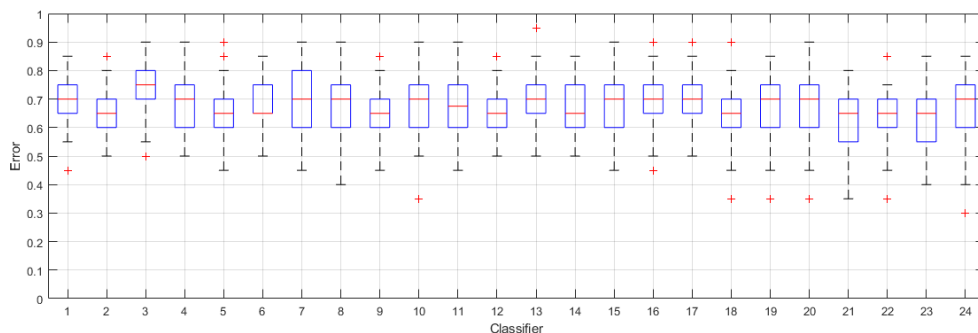


Figure 3 – Cascade using two classifiers for Dermatology database. Where the first 5 positions, are the individual classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian, from 6 to 25, are the different cascade combinations with these classifiers.

In Figure 4 is portrayed than none of these combinations even with a third classifier could improve the error rate obtained by a single one. This shows that the use of a cascade formation of classifiers is not an appropriate model to predict the behavior of the Cleveland database, this would explain the lack of improvement of the reduction of error rate showed in the figures below.

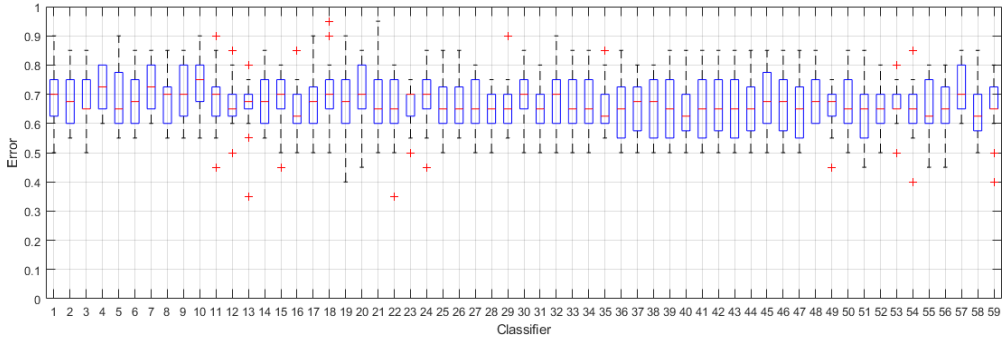


Figure 4 – Cascade using tree classifiers for Cleveland database. Where from 1 to 60, are the different cascade combinations with the classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian.

Now observing the performance of the classifier using a different type of information, in this case dermatology database, there is an evident difference compared to one used before. The error rate is below 0.1 or 10% generally in all classifiers. Standing out the information portrayed in Figure 5, specifically combination 50 and 52 where the error rate was reduced to 0.03 ± 0.01 . According to the individual classifiers, the lowest error rate was from SVM with 0.045 ± 0.050 .

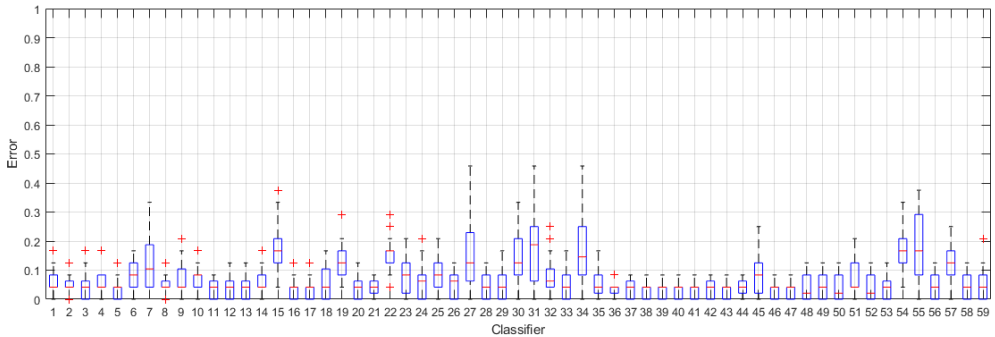


Figure 5 – Cascade using three classifiers for Dermatology database. Where from 1 to 60, are the different cascade combinations with the classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian.

3.2. Classifiers Combination Systems: Parallel

In this experimentation process different combinations were used in a parallel setting applying different rules or algorithms on the classifier in a multiclass environment.

In Figure 6 the performance for Cleveland database using the Maximum rule are shown. The first five classifiers represent the individual classifiers, the behavior is the same as the test above, showing consistency in the classification error rates. Regarding parallel combinations there is no improvement compared to the individual classifiers.

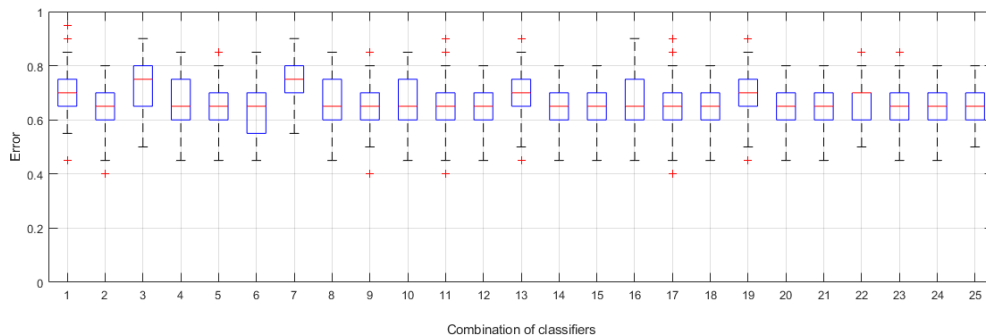


Figure 6 – Classifiers in parallel for Cleveland database using Max-rule. The first five positions are the individual classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian. The positions from 6 to 15 are combinations of 2 classifiers and the positions from 16 to 28 are combinations of 3 classifiers.

Better results are shown in Figure 7, Maximum rule combinations using dermatology database presented lower error rates than the individual counterparts. This is justified by the error mean obtained in combinations 24 and 25 with results like 0 ± 0.04 , proving that for certain conditions and specific types of information a combination approach is sustainable.

For every other rules, Min, Product and Vote there is no change compared with the results obtained before. The best combination of classifiers are number 24 and 25 with the lowest error rate of 0 ± 0.04 with the Max or Mean rule for dermatology database. On the other hand, Cleveland group of data still shows a high error rate this result lead us to infer that the database is complex and hard to divide in classes, thus sequential combining and parallel combining are not optional approaches to obtain a lower error rate than an individual classifier in this case.

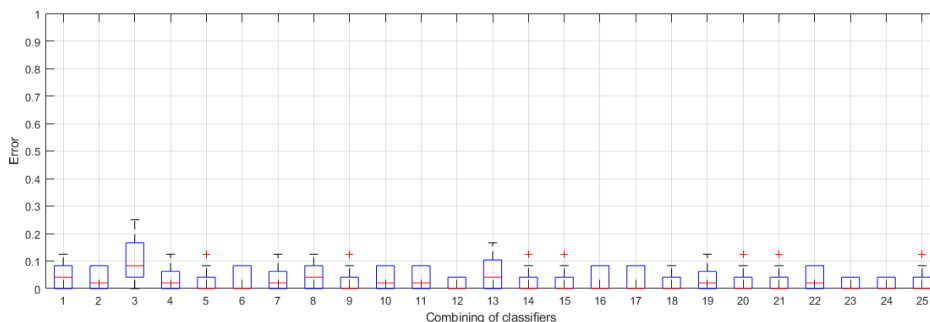


Figure 7 – Classifiers in parallel for Dermatology database using Max-rule. The first five positions are the individual classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian. The positions from 6 to 15 are combinations of 2 classifiers and the positions from 16 to 28 are combinations of 3 classifiers.

3.3. Classifiers Combination Systems: Stacking

Analyzing the information obtained with the Cleveland database for a staked system, errors behavior is stable between formations (sequential and Parallel) due to in every single Max rule output independently of the formation the error rate is the same 0.65 (Figure 8). In dermatology database (Figure 9) low results are similar to the ones obtained before in a sequential setting so no noticeable changes are obtained.

Min rule presents no improvements related to error. Cleveland database presents no changes; this imposes the question whether is useful to implement more classifiers increasing the execution time and, in the end, not obtaining an efficient response. In dermatology database there are no changes referring the previous test, this is due to the low error rate already presented becoming a very difficult task to obtain a lower error rate than that one.

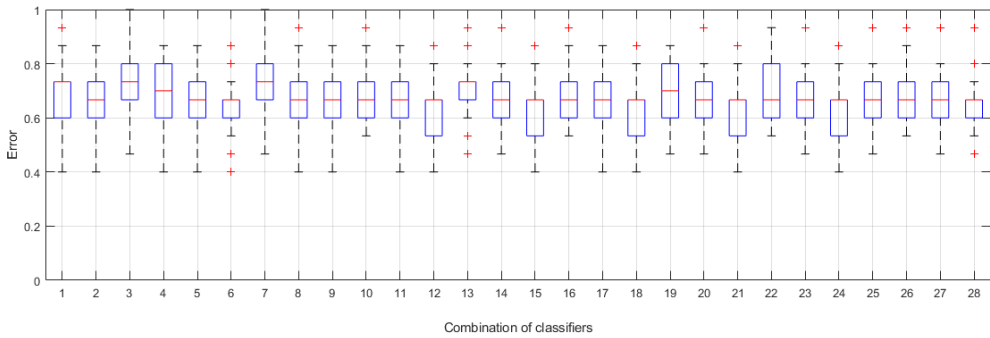


Figure 8 – Classifiers in Stacked for Cleveland database using Max-rule. The first five positions are the individual classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian. The positions from 6 to 15 are combinations of 2 classifiers and the positions from 16 to 28 are combinations of 3 classifiers.

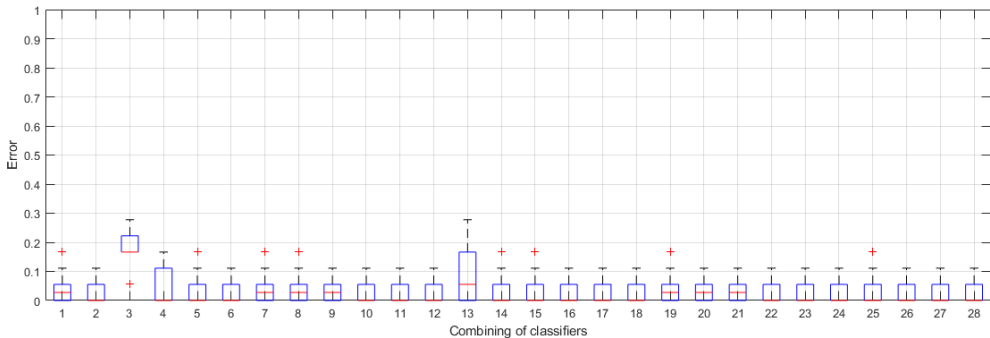


Figure 9 – Classifiers in Stacked for Dermatology database using Max-rule. The first five positions are the individual classifiers: SVM (linear kernel), Parzen, Random Forest, KNN and Naive Bayesian. The positions from 6 to 15 are combinations of 2 classifiers and the positions from 16 to 28 are combinations of 3 classifiers.

The following results show that the only significant value lower than an individual classifier performance is combination 14 using majority vote or max rule with an error of 0.63 ± 0.05 . On the other database there were very similar to the ones obtained with the previous formation.

4. Conclusions

Multiclass combined classifiers are a good option in databases with easy divisible classes or predictable behavior. It is important to clarify that the nature or behavior of the information affects significantly a classification process, in such manner, that Cleveland database presented almost no improvement with all the combinations made. Unlike Cleveland, dermatology database with a different type of information showed a noticeable improvement lowering the error rate, combined classifiers proved to be with this specific database a helpful approach to lower the error rate of classification with a final error of 0 ± 0.04 , a significantly low error for a useful medical diagnosis.

Regarding the output methods for combining classifiers, there was no noticeable changes between them with the two different databases. Therefore, we can conclude that, at least for these two databases, the procedures do not affect the output or the classification error; For a general statement more studies should be conducted and a better understanding of the type of data used in these studies should contribute to know if these output methods are related to the error rate in a classification system.

It is necessary to investigate about different techniques than the ones used in this study for the improvement of complex or unpredictable databases. Although the combination of classifiers could be a good option sometimes, there is a need for improvement in other types of databases with a high percentage of incorrect classification, for example biomedical signals, the classification of these signals could bring a new knowledge of diseases and a more coherent and efficient support for health professionals around the world.

5. Acknowledgments

Authors acknowledge the valuable support given by the SDAS Research Group (www.sdas-group.com).

References

- Bach, K., Marling, C., Mork, P. J., Aamodt, A., Mair, F. S., & Nicholl, B. I. (2019). Design of a clinician dashboard to facilitate co-decision making in the management of non-specific low back pain. *Journal of Intelligent Information Systems*, 52(2), 269–284. <https://doi.org/10.1007/s10844-018-0539-y>
- Biswas, S. K., Sinha, N., & Purkayastha, B. (2014). A review on fundamentals of case-based reasoning and its recent application in different domains. *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms*. Inderscience Publishers. <https://doi.org/10.1504/IJAIP.2014.065235>

- Blanco Valencia, X., Bastidas Torres, D., Piñeros Rodriguez, C., Peluffo-Ordóñez, D. H., Becerra, M. A., & Castro-Ospina, A. E. (2018). Case-based reasoning systems for medical applications with improved adaptation and recovery stages. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 10813 LNBI, pp. 26–38). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78723-7_3
- Dua, D., & Graff, C. (2019). UCI Machine Learning Repository. Retrieved from <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2006). Random forests for land cover classification. In *Pattern Recognition Letters*. (Vol. 27, pp. 294–300). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.08.011>
- Hastie, T., R. Tibshirani, and J. Friedman (2008). *The Elements of Statistical Learning*, Second Edition. NY: Springer,
- Huh, J., Chae, M. jung, Park, J., & Kim, K. (2019). A case-based reasoning approach to fast optimization of travel routes for large-scale AS/RSs. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(4), 1765–1778. <https://doi.org/10.1007/s10845-017-1349-8>
- Leake, D. B., Leake, D. B., & Remindings, R. F. (1996). CBR in Context: The Present and Future, 3--30. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.35.9114>
- Löw, N., Hesser, J., & Blessing, M. (2019). Multiple retrieval case-based reasoning for incomplete datasets. *Journal of Biomedical Informatics*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2019.103127>
- Pinto, T., Faia, R., Navarro-Caceres, M., Santos, G., Corchado, J. M., & Vale, Z. (2019). Multi-agent-based CBR recommender system for intelligent energy management in buildings. *IEEE Systems Journal*, 13(1), 1084–1095. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2018.2876933>.
- Saini, I., Singh, D., Khosla, A. (2013). QRS detection using K-Nearest Neighbor algorithm(KNN) and evaluation on standard ECG databases. *J. Adv. Res.* 4(4), 331–344. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.05.00711>.
- Sharkey, A. J. C., & Sharkey, N. E. (1995). *How to improve the reliability of artificial neural networks*. Citeseer.
- Tax, D. M. J., Van Breukelen, M., Duin, R. P. W., & Josef Kittler. (2000). Combining multiple classifiers by averaging or by multiplying? *Pattern Recognition*, 33(9), 1475–1485. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(99\)00138-7](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(99)00138-7)
- Torrent-Fontbona, F., Massana, J., & López, B. (2019). Case-base maintenance of a personalised and adaptive CBR bolus insulin recommender system for type 1 diabetes. *Expert Systems with Applications*, 121, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.036>
- UCI. 1988. Heart disease dataset <<http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learningdatabases/heart-disease/cleve.mod>> Accessed 5.09.2019.

- UCI. 1998. Dermatology disease dataset <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/dermatology/dermatology.names> Accessed 5.09.2019.
- Vapnik, V. N.(1995). The Nature of Statistical Learning Theory. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, inc.
- Zhi-Wei, P., Dao-Hong X., Quan-Wu X., Ding-Xuan Z. (2008). Parzen windows for multi-class classification. Journal of Complexity, 24(5-6), 606-618. <https://doi.org/10.1016/j.jco.2008.07.001>
- Zhou, Z.-H. (2012). *Ensemble methods: foundations and algorithms*. Chapman and Hall/CRC.

Prototipo para la adquisición y caracterización de señales electromiográficas superficiales del movimiento de flexión-extensión de los dedos de la mano

Carlos D. Ortega¹, Alejandro Ibarra-Piandoy¹, Edison Viveros-Villada¹,
Dagoberto Mayorca-Torres¹

carloortega@umariana.edu.co; alibarra@umariana.edu.co; eviveros@umariana.edu.co;
dmayorca@umariana.edu.co

¹ Universidad Mariana, San Juan de Pasto, 520006, Nariño, Colombia.

Pages: 52–64

Resumen: El análisis de las señales mioeléctricas producidas por el movimiento de los dedos de miembros superiores son muy importantes en el ámbito de investigación clínica. En la actualidad existen distintos métodos para la adquisición y análisis de estas señales de la actividad bioeléctrica orientado a identificar enfermedades como el túnel del carpo (STC). Este artículo trata sobre el proceso metodológico para desarrollar un prototipo a bajo costo capaz de adquirir y caracterizar de manera fiable las señales EMG. Las señales son capturadas a partir de una serie de electrodos y filtradas mediante el uso de filtros analógicos pasa bajos, pasa altos y notch. Los resultados preliminares mostraron que el prototipo permite la captura de señales de flexión-extensión de los dedos de la mano.

Palabras-clave: señales electromiográficas; flexión-extensión dedo; sEMG.

Prototype for the acquisition and characterization of superficial electromyographic signals of the flexion-extension movement of the fingers

Abstract: The analysis of myoelectric signals produced by the movement of the fingers of the upper limbs are very important in the field of clinical research. Currently, there are different methods for the acquisition and analysis of these signals of bioelectric activity aimed at identifying diseases such as carpal tunnel (STC). This article discusses the methodological process for developing a low-cost prototype capable of reliably acquiring and characterizing EMG signals. Signals are captured from a series of electrodes and filtered through the use of analog low-pass, high-pass and notch filters. Preliminary results showed that the prototype allows the capture of flexion-extension signals from the fingers of the hand.

Keywords: electromyographic signals; finger flexion-extension; sEMG.

1. Introdução

La electromiografía (EMG) es el estudio electrofisiológico del sistema neuromuscular, se utiliza para registrar y analizar las variaciones de los biopotenciales que se generan debido a la contracción y relajación de las fibras musculares, (Alzate, 2017). Esta señal proveniente del sistema nervioso del cuerpo se presenta normalmente en función del tiempo con magnitudes de frecuencia, fase y amplitud, (M.B.I. Raez, M.S Hussain & F.Mohd-Yasin, 2006).

El registro convencional de la información de las señales electromiográficas se realiza mediante el posicionamiento de biosensores (electrodos) en un grupo muscular, (Hernández T. & Rebeca, 2017 & S. Liu, X. Meng, J. Zhang, J. Chae. 2019), estos electrodos pueden ser de 2 tipos: Electrodos de aguja que son insertados en los músculos a estudiar o electrodos de superficie que se ubican sobre la piel recubriendo el músculo, (C. Ferley, 2020).

El análisis y elaboración de los resultados de la electromiografía son recolectados por laboratorios especializados que cuentan con diferentes tecnologías e instrumentación, mediante este procedimiento es posible diagnosticar o descartar ciertas enfermedades, como: trastornos musculares, enfermedades que afectan la conexión entre el nervio y el músculo, la miastenia gravis, trastornos de los nervios y/o neuronas, entre otras, (N. Sengar, M.K. Dutta, C.M. Travieso, 2017).

De igual manera, la electromiografía es empleada como método de rehabilitación para pacientes que ya cuenten con algún tipo de trastorno muscular que les impide una correcta movilidad de los músculos afectados, este proceso se realiza por medio de estímulos físicos generados por una corriente eléctrica, que desemboca una respuesta fisiológica, con la finalidad de provocar un efecto terapéutico en el paciente, (Da cuña iria, 2019 & F. Masood, 2019).

Los resultados de exámenes electromiográficos se presentan en gráficos bidimensionales donde la abscisa define el porcentaje del ciclo activación de las fibras musculares, es decir, el intervalo de tiempo desde que se presenta la contracción muscular hasta la siguiente contracción del mismo músculo, mientras que la ordenada corresponde a la medida del potencial de interés, es decir, el voltaje generado por la activación muscular, (S. Shaid, J. Walker, G.M. Lyons, C.A. Byrne, A.V. Nene, 2005).

No obstante, existen otras diversas aplicaciones en el campo de la electromiografía como lo es en el sector industrial aplicable en la robótica, en el desarrollo de interfaces para la ejecución de tareas sin contacto directo, domótica, dispositivos de entrenamiento biomecánico para deportistas, entre otras, (L. Wang, Y. Wang, A. Ma, G. Ma, Y. Ye, R.Li, T.Lu, 2018). Los dispositivos capaces de detectar las señales mioeléctricas disponibles en el país a nivel comercial se enfocan en una única señal generalizada de un músculo limitando el aplicativo de los mismos, pese a que actualmente a nivel nacional y regional existe una serie de proyectos e investigaciones que se han realizado referente a las señales electromiográficas, las cuales han generado grandes aportaciones en este ámbito.

De esta manera, el artículo tiene como objetivo construir un prototipo hardware capaz de obtener y procesar las señales electromiográficas generadas por el movimiento de flexión y extensión de los dedos de la mano. Se estructura de la siguiente manera:

la Sección 2 presenta los métodos para analizar las señales electromiográficas a estudiar. La sección 3 describe el procedimiento experimental propuesto, la Sección 4 presenta los resultados principales y los discute. Por último, la Sección 5 explica las conclusiones de la investigación y las direcciones futuras.

2. Metodología

Esta sección describe el proceso metodológico para el desarrollo del prototipo, para proporcionar una comprensión visual, en la Figura 1 se muestra una visión general de las etapas de adquisición, pre-amplificación, filtrado, diseños de circuito de control de offset y valor medio absoluto, acoplamiento y digitalización de las señales.

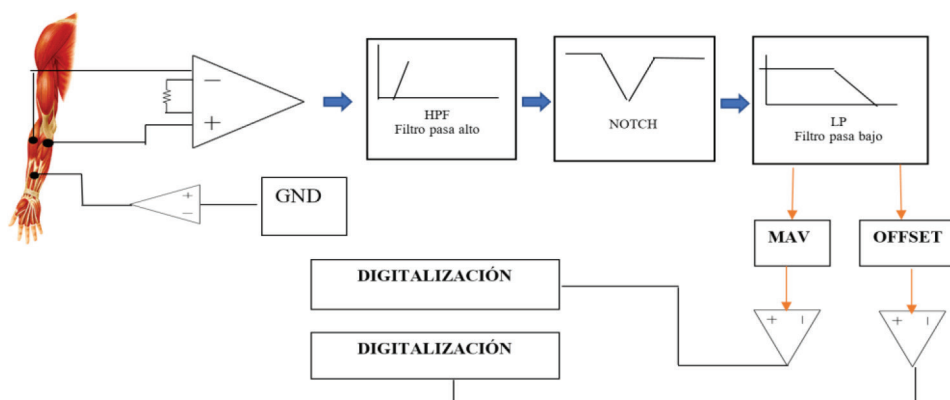


Figura 1 – Metodología para desarrollo del prototipo.

2.1. Adquisición de las señales electromiográficas

Uno de las actividades primordiales es la selección del tipo de electrodos para la captura de las señales EMG. Se procedió a realizar pruebas con los electrodos: dos electrodos de cloruro de plata (Ag/AgCl) de marcas diferentes, electrodos de Gel y electrodos de acero inoxidable.

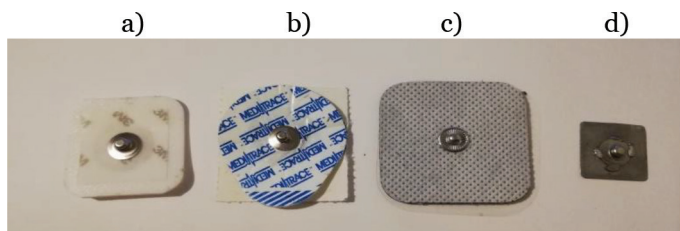


Figura 2 – Tipos de electrodos. a) Electrodos de cloruro de plata (Ag/AgCl) marca 1. b) Electrodos de cloruro de plata (Ag/AgCl) marca 2. c) Electrodos de gel. d) Electrodos de acero inoxidable.

Para las pruebas de adquisición se usaron tres electrodos: el electrodo inversor, el no inversor y el de referencia. Los electrodos inversor y no inversor se encuentran separados por una distancia inter-electrodo de 2cm como se recomienda en la normatividad SENIAM, mientras que el electrodo de referencia se colocó en la muñeca. La Figura 3 muestra la posición de los electrodos con respecto al brazo.



Figura 3 – Ubicación de los electrodos en el brazo.

La prueba consistió en realizar movimientos de flexión-extensión de los dedos para los cuatro electrodos, las señales capturadas pueden ser observadas en la Figura 4.

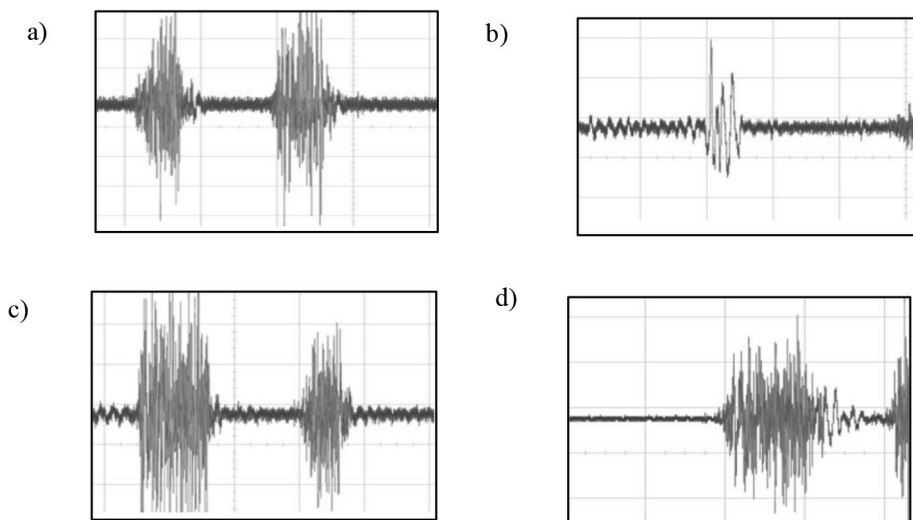


Figura 4 – Señales EMG. a) Electrodos de cloruro de plata (Ag/AgCl) marca 1. b) Electrodos de cloruro de plata (Ag/AgCl) marca 2. c) Electrodos de gel. d) Electrodos de acero inoxidable.

2.2. Pre-amplificación y filtrado de las señales

El desarrollo del prototipo está constituido por varias etapas, las cuales son de pre amplificación, filtrado y digitalización de las señales electromiográficas a estudiar. La etapa de pre-amplificación consiste en la implementación de un amplificador de instrumentación (INA128p) con una ganancia calculada de 200 con el fin de adquirir las señales EMG. La etapa de filtrado consiste en un arreglo en cascada de filtros analógicos calculados de cuarto orden (4th), el filtro pasa altos, filtro Notch doble T y pasa bajos (Ver Figura 5).

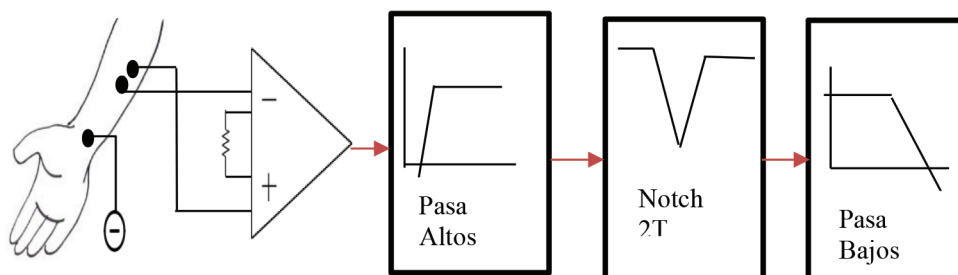


Figura 5 – Etapas de pre-amplificación y filtrado.

2.2.1. Diseño del Filtro Pasa Alto

El filtro pasa alto fue seleccionado de cuarto orden y calculado para una frecuencia de 10 Hz, con un valor de resistencia de 159k Ω y un condensador de . A partir de estos datos se procede al diseño del filtro en el Software Eagle destinado al diseño de placas de circuito impreso (PCBs) como se observa en la Figura 6.

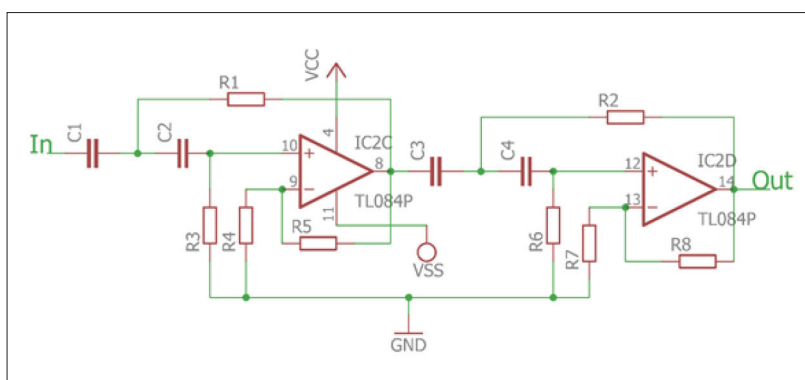


Figura 6 – Diagrama esquemático filtro pasa alto 10Hz de orden 4 (Software Eagle).

Para la construcción del filtro fue necesario el uso de amplificadores TL084, resistencias y capacitores. Posteriormente fue necesario la realización de análisis de respuesta

en frecuencia y este se representa a partir de un diagrama de bode como se observa en la Figura 7.

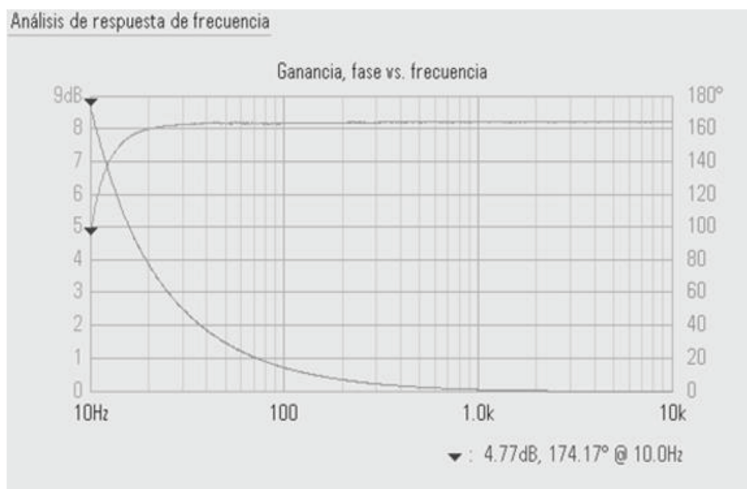


Figura 7 – Diagrama de bode filtro pasa alto (fuente propia).

2.2.2. Filtro Notch doble T

El filtro Notch doble T con retroalimentación fue diseñado para rechazar ruido de frecuencias de 60 Hz, correspondiente al de la corriente eléctrica y/o ambiente, calculados para valores de R_2 . El diseño puede ser observado en la Figura 8.

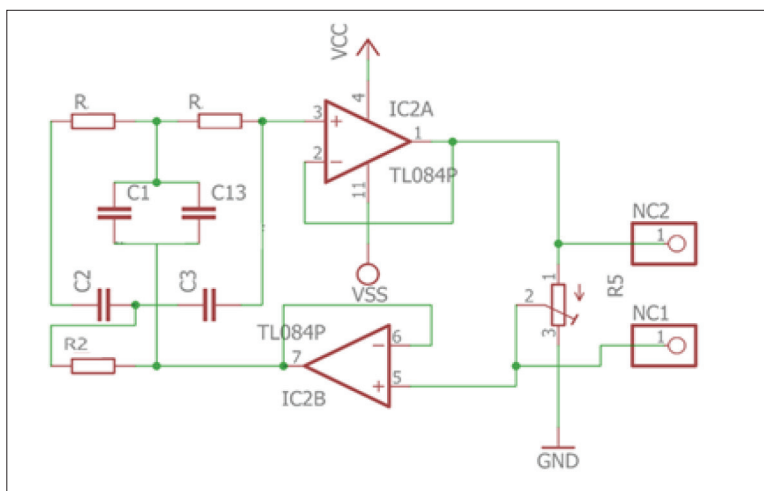


Figura 8 – Diseño esquemático de filtro Notch doble T a 60Hz (Software Eagle).

Una vez realizado su diseño se procede a verificar su comportamiento en el osciloscopio, el cual se obtuvo el siguiente análisis de frecuencia (figura 9).

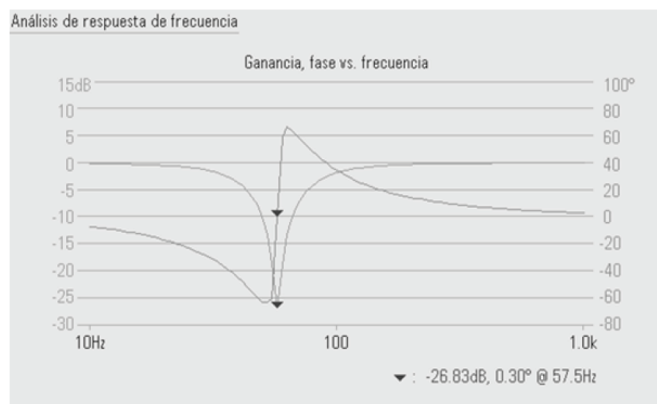


Figura 9 – Diagrama de bode para filtro Notch (fuente propia).

2.2.3. Filtro Pasa Bajos

El filtro pasa bajo fue establecido a una frecuencia de corte de 500 Hz, con el propósito fundamental de obtener las señales EMG, fue calculado para un valor de las resistencias de 3K y un condensador . El diseño de la PCB puede observarse en la figura 10.

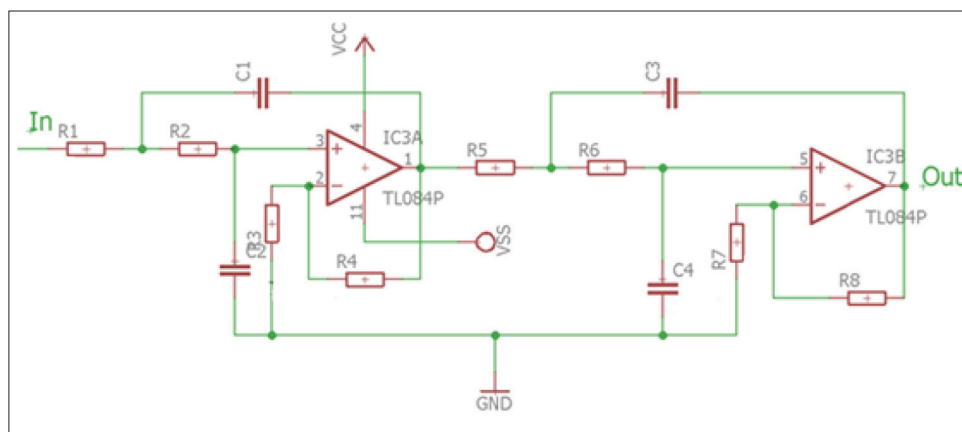


Figura 10 – Diseño esquemático de filtro pasa bajos 500Hz de orden 4 (Software Eagle).

Posteriormente se verifica su comportamiento en el siguiente análisis en frecuencia del filtro (figura 11).

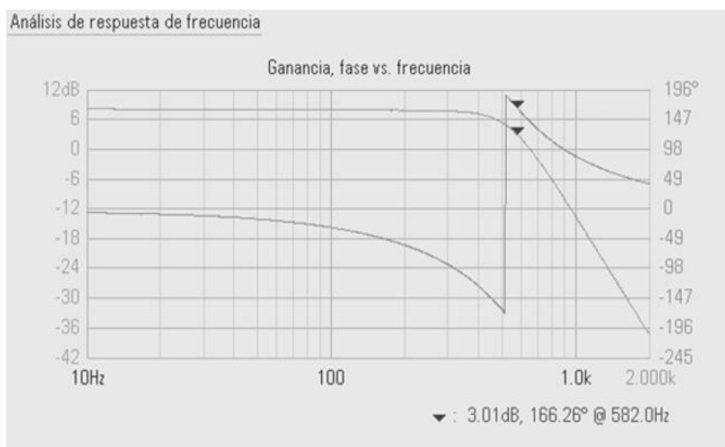


Figura 11 – Diagrama de bode filtro pasa bajo (fuente propia).

2.3. Circuito MAV y amplificador de Offset

En esta etapa se describe la implementación de un circuito de valor medio absoluto (MAV) y un circuito de control de offset, con la finalidad de obtener una envolvente completamente positiva de la señal original para su digitalización. El circuito es mostrado en la Figura 12.

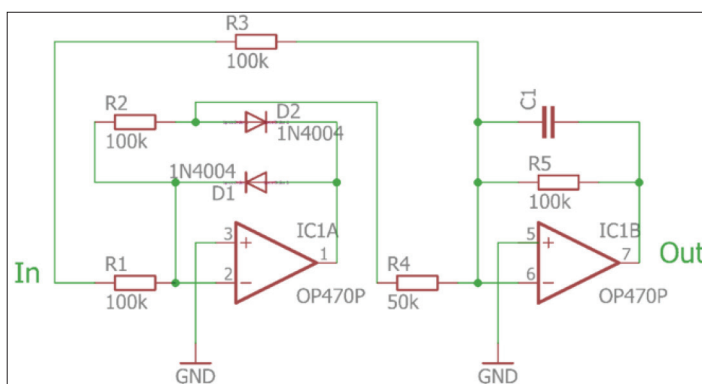


Figura 12 – Circuito de control de offset (Software Eagle - Fuente propia).

El circuito de control de offset es capaz de generar un desplazamiento de voltaje en la salida del amplificador y de esta manera obtener un voltaje completamente positivo (ver Figura 13).

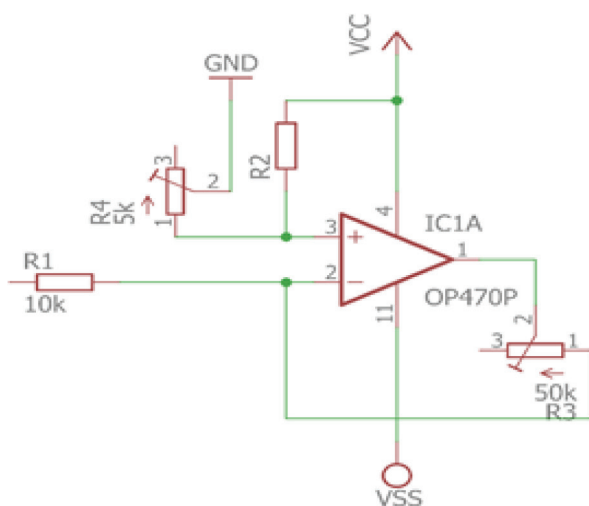


Figura 13 – Circuito esquemático amplificador de offset (Fuente propia).

2.4. Diseño experimental

Las normatividades y protocolos usados en este estudio para la captura de las señales EMG corresponden a las recomendadas por SENIAM, supervisadas por un especialista del área de la salud. La base de datos preliminar corresponde a la de dos sujetos sanos que decidieron hacer parte de este estudio de manera voluntaria y notificados del procedimiento a realizar bajo consentimiento informado. A cada uno de los sujetos se fijaron los 3 electrodos de gel en la posición descrita de la Figura 3, y se le pidió que realizara 5 ejercicios de flexión-extensión de dedos en intervalos de 3 segundos. Adicionalmente, se tuvo en cuenta algunos parámetros como fuerza y posición del brazo para la realización de los ejercicios.

3. Resultados

Este documento presentó el diseño y construcción de un prototipo para la adquisición y caracterización de las señales electromiográficas, generadas por el movimiento de flexión-extensión de los dedos de la mano y el protocolo de captura para analizar las sEMG mediante software. El prototipo desarrollado consta de una tarjeta PCB rectangular de 15.8cm x 8.6cm, diseñado en el Software Professional Eagle 7.6.0. Este circuito contiene las etapas de pre-amplificación, filtrado, MAV y diseño del circuito de control de offset. El circuito obtenido puede ser observado en la Figura 14.

Luego se procede a realizar el análisis de respuesta en frecuencia de los filtros pasa alto, pasa bajo y Notch, obteniendo el diagrama de bode y plasmado en la Figura 15.

En primera instancia, mediante el proceso experimental propuesto anteriormente se puede observar la evolución de la señal electromiográfica resultante, (Figura 16).

La primera señal empezando de abajo corresponde a la salida de la etapa de pre-amplificación, la señal intermedia a la salida de la etapa de filtrado y la señal de la parte superior pertenece a la salida del circuito MAV.

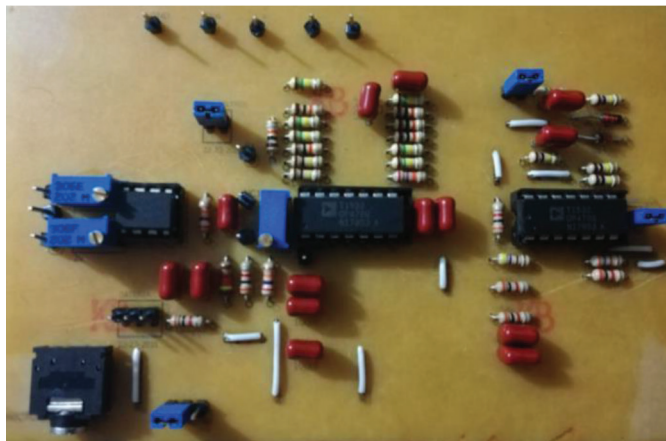


Figura 14 – Circuito impreso de las etapas de pre procesamiento y filtrado de las señales.

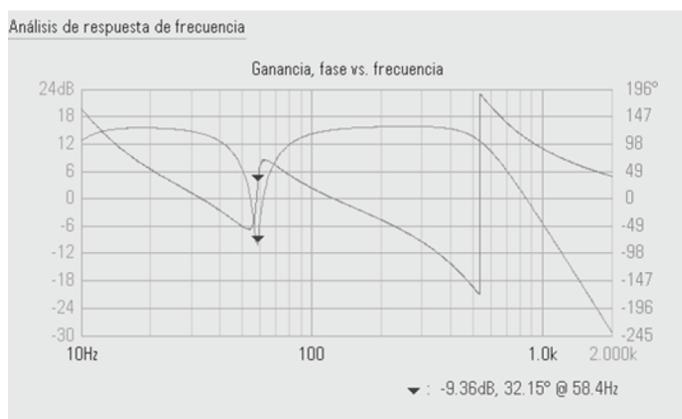


Figura 15 – Diagrama de bode filtro pasa banda (fuente propia).

Las señales obtenidas fueron validadas mediante experto, el fisiatra realizo una inspección y evaluación funcional de los músculos de los voluntarios y de igual manera señales resultantes de prototipo. Una vez obtenida la señal EMG mediante el circuito MAV es posible digitalizarlas, este procedimiento se realizó mediante el osciloscopio MUSTOOL MDS 2112 y su software DS Wave 1.4.0, con el cual es posible captar 1520 datos; las figuras 17 y 18 presentan las señales obtenidas por los individuos A y B, bajo las condiciones mencionadas en la etapa de experimentación.

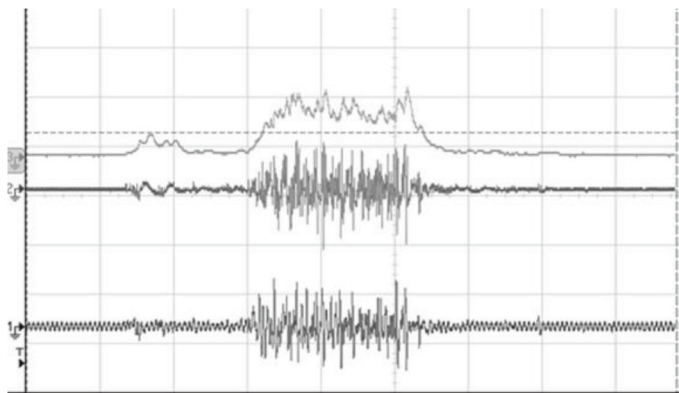


Figura 16 – Evolución de la señal EMG resultante (fuente propia).

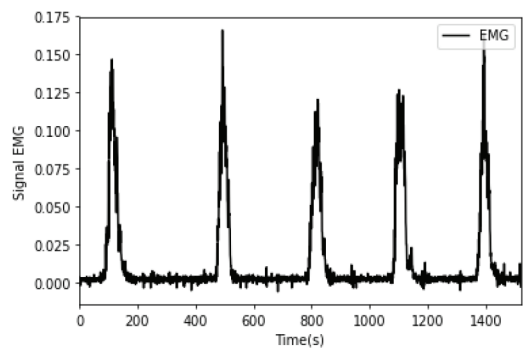


Figura 17 – Voluntario A circuito MAV (Fuente propia).

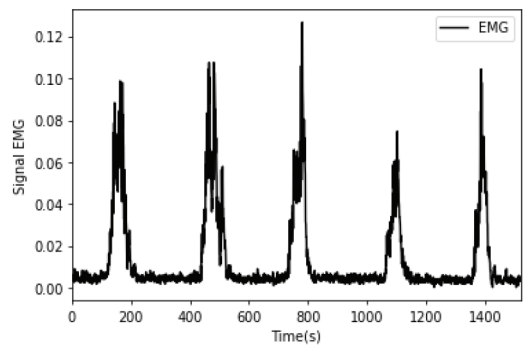


Figura 18 – Voluntario B circuito MAV (Fuente propia).

Finalmente, una etapa adicional fue incluida, un filtro digital de media móvil en el entorno de desarrollo de Python con el fin de obtener una señal EMG más suave como se observa en la figura 19.

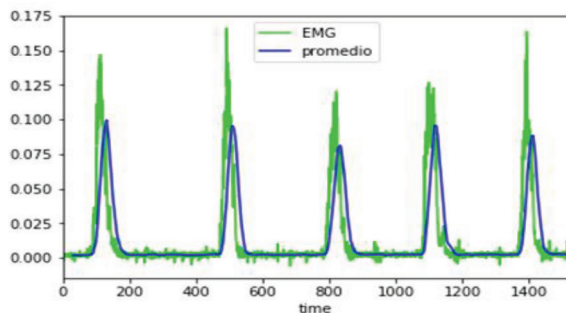


Figura 19 – Señal EMG pura y Filtro de media móvil).

4. Conclusiones

Este estudio presentó un prototipo para obtener señales electromiográficas del movimiento flexión y extensión de los dedos, así como el proceso de filtrado y resultados preliminares para estimar el comportamiento de las señales EMG.

Este sistema podría ser una alternativa a los sistemas que capturan las señales EMG, debido a su bajo costo, podría ser una opción en entornos clínicos en países como Colombia; Sin embargo, experimentos adicionales deben validar el sistema propuesto en entornos clínicos.

Mediante el prototipo expuesto es posible concluir que las señales electromiografías generadas por la flexión y extensión de los dedos presenta un patrón entre la amplitud y frecuencia de sus potenciales de acción por lo cual es posible realizar la caracterización de las mimas.

Por lo tanto, como trabajo a futuro se propone continuar con la etapa de caracterización y validación de las señales mediante la correlación de nuestros resultados con bases de datos electromiográficos ya preestablecidas, con el fin de estimar por completo el comportamiento de las señales EMG, además de implementar al prototipo más señales generadas por otros grupos muscular del miembro superior.

5. Agradecimientos

Agradecemos al grupo de investigación a la que se pertenece, Grupo de ingeniería mecatrónica GriM. A Redime LTDA (Rehabilitación dirigida medicamento). Al médico cirujano y fisiatra Luis Enrique por su disposición y prestación de equipos electromiográficos, logrando así afianzar el prototipo presente.

Referencias

- Fernando S. (2007). Análisis de señales mioeléctricas orientadas a la robótica. (Trabajo de grado en Diseño y Automatización Electrónica), Facultad de ingeniería de diseño y automatización electrónica, Universidad de la Salle, Bogotá.
- Hernández T & Rebeca. (1996). Métodos para el análisis cuantitativo del electromiograma. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 15(2) Recuperado en 12 de junio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So864-03001996000200007&lng=es&tlng=es.
- Lamas S, González Y, & Cuña I. Prótesis neurales y amputados. *Arch Neurocién*, 24(3), 25-36. Retrieved from: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=90166>.
- Liu, S., Meng, X., Zhang, J., & Chae, J. (2019). A wireless fully-passive acquisition of biopotentials. *Biosensors & bioelectronics*, 139, 111336. doi: 10.1016/j.bios.2019.111336.
- Masood, F., Abdullah, H. A., Seth, N., Simmons, H., Brunner, K., Sejdic, E., Schalk, D. R., Graham, W. A., Hoggatt, A. F., Rosene, D. L., Sledge, J. B., & Nesathurai, S. (2019). Neurophysiological Characterization of a Non-Human Primate Model of Traumatic Spinal Cord Injury Utilizing Fine-Wire EMG Electrodes. *Sensors*. Basel, Switzerland, 19(15). 3303. doi: 10.3390/s19153303.
- N. Sengar, M. K. Dutta and C. M. Travieso. (2017). Identification of amyotrophic lateral sclerosis using EMG signals. 4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON), 468-471. doi: 10.1109/UPCON.2017.8251093.
- Nicolas, A. (2017). Control mioeléctrico de una prótesis de miembro superior-mano. (Trabajo de grado en Ingeniería Mecatrónica), Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Raez, M. B., Hussain, M. S., & Mohd-Yasin, F. (2006). Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications. *Biological procedures online*, 8, 11–35. doi:10.1251/bpo115.
- Shahid, S., Walker, J., Lyons, G. M., Byrne, C. A., & Nene, A. V. (2005). Application of higher order statistics techniques to EMG signals to characterize the motor unit action potential. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 52(7), 1195–1209. doi: 10.1109/tbme.2005.847525.
- Wang, L., Wang, Y., Ma, A., Ma, G., Ye, Y., Li, R., & Lu, T. (2018). A Comparative Study of EMG Indices in Muscle Fatigue Evaluation Based on Grey Relational Analysis during All-Out Cycling Exercise. *BioMed research international*, 2018, 9341215. doi: 10.1155/2018/9341215
- Yousefian, Alireza & Roy, Sébastien & Gosselin, Benoit. (2013). A Low-power wireless multi-channel surface EMG sensor with simplified ADPCM data compression. *Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. 2287-2290. doi: 10.1109/ISCAS.2013.6572334.

Stochastic- and Neuro-Fuzzy-Analysis-based characterization and classification of 4-Channel Phonocardiograms for Cardiac Murmur Detection

Miguel A. Becerra^{1,2}, Edilson DelgadoTrejos³, Cristian Mejía-Arboleda³,
Diego H. Peluffo-Ordóñez⁴, Ana C. Umaquina-Criollo⁵

miguel.becerra@pascualbravo.edu.co; edilsondelgado@itm.edu.co;
medixina@gmail.com; dpeluffo@yachaytech.edu.ec; acumaquina@utn.edu.ec

¹ Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia.

² Universidad de Medellín, Colombia.

³ Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia.

⁴ Department of Electronic, Yachay Tech University, SDAS Research Group.

⁵ Telecommunications Engineering Career, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Pages: 65–78

Abstract: Cardiac murmurs (CMs) are the most common heart's diseases that are typically diagnosed from phonocardiogram (PCG) and echocardiogram tests -often supported by computerized systems. Research works have traditionally addressed the automatic CM diagnosis with no distinctively use of the four auscultation areas (one of each cardiac valve), resulting -most probably- in a constrained, non-impartial diagnostic procedure. This study presents a comparison among four different CM detection systems from a 4-channel PCG. We first evaluate the acoustic characteristics derived from Mel-Frequency Cepstral Coefficients, Empirical Mode Decomposition (EMD), and statistical measures. Secondly, a relevance analysis is carried out using Fuzzy Rough Feature Selection. Thirdly, Hidden Markov Models (HMM), Adaptative Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Naïve Bayes, and Gaussian Mixture Model were applied for classification and validated using a 50-fold cross-validation procedure with a 70/30 split demonstrating the functionality and capability of EMD, Hidden Markov Model and ANFIS for CM classification.

Keywords: ANFIS, cardiac murmur, empirical mode decomposition, hidden markov models, phonocardiogram.

1. Introduction

Cardiovascular diseases (CVDs) are the main cause of mortality in the world (Dwivedi et al., 2019) (World Health Organization, 2020), as well as of perioperative morbidity and mortality (Lee et al., 2019), and the numbers are still increasing. CVDs are generated when the blood flow becomes turbulent and damages valves, being cardiac murmurs (CMs) one of most common mechanical CVD. Heart mechanical activity can be appraised by auscultation recordings, i.e., phonocardiographic (PCG) signals (Dwivedi et al., 2019)

(Ismail et al., 2018), which is an inexpensive and non-invasive clinical procedure (Becerra et al., 2012). These heart sounds are commonly analyzed at 4-Standard Auscultation Areas (4-SAA), one for each cardiac valve, in order to thoroughly examine the state of the cardiac valves, as there are invisible murmurs for systems based on auscultation signals acquired from a single area (Karnath & Thornton, 2002). Besides, the PCG signals could be used patient identification (Becerra et al., 2018).

By taking advantage of the morphological changes in the signal shape caused by heart murmurs, some studies have addressed the CM detection following approaches based on energy and temporal measurements (Ahlstrom et al., 2006). Notwithstanding, CMs have a nonstationary nature and exhibit sudden frequency changes and transients (Becerra et al., 2012) making then the morphological features non-sufficient. Other studies have considered the nonlinear nature of physiological signals by means of the analysis of fractal features and the optimization of the embedding parameters in order to improve the training and classification stages (Ahlstrom et al., 2006) (Kumar et al., 2010), although the increment in processing time becomes a big problem for real-time applications. On the other hand, several approaches based on wavelets have been proposed taking into account the time-frequency disturbances associated with cardiac murmurs (Ergen et al., 2012) (Ismail et al., 2018). However, in contrast to approaches based on wavelets, other decomposition methods, such as Empirical Mode Decomposition (EMD), and Hilbert-Huang Transform (HHT) (Ismail et al., 2018), express the signal as an expansion of functions which are signal-dependent (Kopsinis & McLaughlin, 2009). Another interesting field is related to the acoustical disturbances caused by heart murmurs, which can be analyzed using Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) (Vepa, 2009), but these procedures are very sensitive to artifacts or noises frequently involved in the acquisition stage (Becerra et al., 2012). For this reason, the combination between MFCC and statistical moments of HHT with appropriate EMD components would be suitable. Additionally, the learning capability of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) (Fahad et al., 2018) (Uğuz, 2012) can improve the classification. The use of Linear Discriminant Analysis (LDA) and ANFIS to detect heart valve disorders was studied in (Sengur, 2008) with promising results. In (Chourasia et al., 2012), an ANFIS model for evaluation of foetal health status using PCG signals was implemented effectively and provided high accuracy for antepartum antenatal care. Besides, a biomedical-based decision support system was developed in (Uğuz, 2012) for heart sound signal classification, where the reduced features of three types of heartbeat sounds were used as input patterns of an ANFIS classifier. Likewise, the inclusion of stochastic models, such as Hidden Markov Models (HMM), have successfully complemented procedures for cardiac murmur detection (Uğuz, 2012) (Kotb et al., 2019). However, all these studies have been developed using a single auscultation signal, and fail when a murmur is missing or attenuated in the standard single derivation.

In this study, we present a classification approach, which is based on a MFCC-HHT-HMM optimized by means of Genetic Algorithms and compared with another based on MFCC-HHT-ANFIS hybrid technique, which are applied on the combination of different IMFs of 4-channel PCG. As well, a relevance analysis is used to reduce the number of features. This comparison is presented to structure an objective and accurate mechanism for generating a more reliable CM diagnosis.

2. Materials and methods

A robust murmur detection system from 4 SAA PCG signals was developed. The Figure 1 shows the methodology carried out in this work. Broadly, it consists of six phases: *i)* Data Base, *ii)* preprocessing, *iii)* signal decomposition analysis, *iv)* feature extraction, *v)* relevance analysis and *vi)* Inference. The workflow of proposed methodology is described in the following subsections.

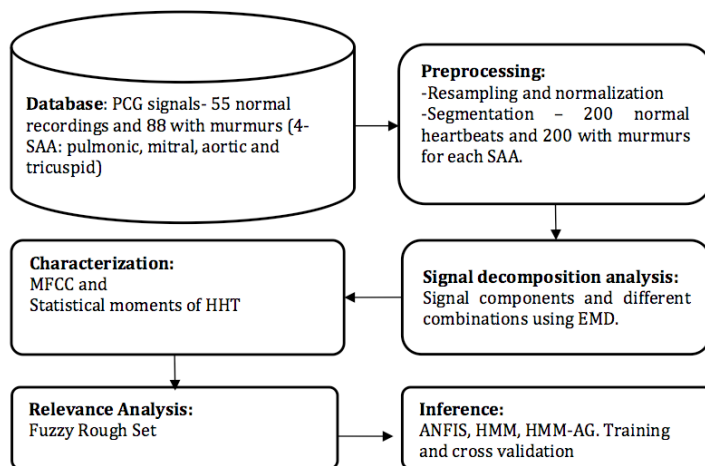


Figure 1 – Proposed procedure.

2.1. Database

The database is made up of 143 de-identified adult subjects, who gave their formal consent, and underwent a medical examination with the approval of the ethical committee. The valve lesion severity was evaluated by cardiologists according to a clinical routine. 55 patients were labeled as normal, while 88 had evidence of cardiac murmurs (aortic stenosis, mitral regurgitation, etc). From each patient, 8 recordings were recorded according to the four standard auscultation areas (4-SAA), i.e., mitral, tricuspid, aortic and pulmonic areas, in the phase of post-expiratory and post-inspiratory apnea. Each recording lasts 8 s and was obtained with the patient standing in dorsal decubitus position. The signals were acquired at 44.1 kHz with 16-bits per sample with an electronic stethoscope (WelchAllynr Meditron model). Finally, 400 individual beats were chosen, 200 normal and 200 with evidence of cardiac murmur. The individual beats picked out were the best from each cardiac sound signal, according to a visual and audible inspection by a cardiologists.

2.2. Preprocessing

According to Figure 1, the 4-SAA PCG recordings were resampled from 44.1 kHz to 4410 Hz applying a FIR low-pass antialiasing filter in order to reduce the computational cost.

Next, the signals were normalized in $[-1,1]$ and 200 normal heartbeats and 200 with murmurs were segmented for each channel.

2.3. Signal decomposition analysis

In order to obtain relevant features, a decomposition analysis was carried out on PCG signals using the EMD method. Seven Intrinsic Mode Functions (IMFs) were estimated for each signal using the Sifting algorithm, with the following parameters: resolution 40 dB, residual energy 40 dB and the gradient step size 0.01. Next, several constructions based on different IMFs were made in order to highlight the murmur and attenuate the noise. Finally, the following two different combinations of IMF were selected: IMF-C1= {3, 5, 7} and IMF-C2= {1, 3, 5, 7} as result of adding to odd and even IMF respectively. The technique EMD applied is describes as follow.

Empirical Mode Decomposition - This method, reported in (N. E. Huang et al., 1998), adaptively decomposes a multicomponent signal $x(t)$ into a number L of IMFs, $h^{(i)}(t)$, $1 \leq i \leq L$,

$$x(t) = \sum h^{(i)}(t) + d(t) \quad (1)$$

where $d(t)$ is a remainder which is a non zero-mean slowly varying function with only few extrema. Each one of the IMFs, say the i th one $h^{(i)}(t)$, is estimated with the aid of an iterative process, called sifting, applied to the residual multi-component signal.

$$x^{(i)}(t) = \begin{cases} x(t) & , i = 1 \\ x(t) - \sum_{j=1}^{i-1} h^{(j)}(t) & , i \geq 2 \end{cases} \quad (2)$$

According to this, during the $(n + 1)$ th sifting iteration, the temporary IMF estimate $h_n^{(i)}(t)$ is improved according to the following steps [10]: 1) Find the local maxima and minima of $h_n^{(i)}(t)$ 2) Interpolate, using natural cubic splines, along the points of $h_n^{(i)}(t)$ previously estimated, in order to form an upper and a lower envelope. 3) Compute the mean of the two envelopes. 4) Obtain the refined estimate $h_{n+1}^{(i)}(t)$ of the IMF by subtracting the mean found in the previous step from the current IMF estimate $h_n^{(i)}(t)$ 5) Proceed from step 1 again unless a stopping criterion has been fulfilled. For the first iteration, $x^{(i)}(t)$ is used as temporary IMF estimate $h_1(t)$.

2.4. Characterization

The MFCC were calculated to signals without decomposition and to the two constructs IMF-C1 and IMF-C2. Particularly, a Mel-scaled filter bank was used to calculate the Mel-warped spectrum, so the first 8 and 12 MFCC were estimated using 24 Hamming shaped filters and sliding hamming windows (50% overlap) over different combinations of EMD components derived from the whole beats. Additionally, 10 statistical measures were obtained from instantaneous parameters calculated of the result achieved by the HHT applied to constructs. These measures are shown in Table 1.

mean(std(H(cte,w,a)))	mean (std(H(t,cte,a)))	mean (var(H(cte,w,a)))	mean(var(H(t,cte,a)))
media(entropy(H(cte,w,a)))	mean(max(H(cte,w,a)))	mean(std(H(cte,w,a)))	mean(kurtosis(H(cte,w,a)))
mean(0,5*sum(H(cte,w,a)))	mean(skewness(H(cte,w,a)))		

Table 1 – Statistical measure of HHT.

Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)– Studies have shown that human perception of the frequency content of audio sounds does not follow a linear scale but as a Mel-warped frequency, which spaces linearly for low-frequency contents and logarithmical at high frequencies (Becerra et al., 2012). So, MFCC are a family of parameters that are estimated as (X. Huang et al., 2001):

$$c[p] = \sum_{m=0}^{M-1} X_F[m] \cos(\pi p(m-0.5)/M), \quad 0 \leq p \leq M \quad (3)$$

Where, $X_F[m] = \ln(\sum_{i=0}^{N-1} |X[i]|^2 H_m[i])$. Here, $X[i]$ is the Fourier transform of an input random sequence $x[n]$ and $H_m[i]$ is a triangular band-pass filter with central frequency in $f[m]$. Thus, in order to simplify the signal spectrum without any significant loss of data, a set of M triangular band-pass filters must be used, which are nonuniform in the original spectrum and uniformly distributed at the Melwarped spectrum. Each filter is multiplied by the spectrum so that only a single value of magnitude is returned per filter.

Hilbert-Huang Transform (HHT) – Instantaneous frequency and its magnitude of heart sound signals can be extracted by HHT, which is used to adaptively decompose non-stationary and nonlinear signals and extract the instantaneous frequency. In general, HHT consists of two steps: Empirical Mode Decomposition (EMD) and Hilbert transform (HT). EMD is used to adaptively decompose the signal into a series of IMFs. HT is then carried out to acquire the instantaneous frequency and amplitude of each IMF and constitute the time-frequency-energy distribution in the Hilbert-Huang spectrum of the signal (Y. Tseng et al., 2012).

This transform is a simple method for analyzing the frequency and amplitude changes of signals into the time, which can only be applied to mono-component signals. The HT of a real function $x(t)$ is calculated from convolution between $x(t)$ and the inverse of the time $\frac{1}{\pi t}$, using (4) which highlight local properties of the function (Y.-L. Tseng et al., 2012).

$$H[x(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (4)$$

The HHT carried out the construction of one analytics complex signal $Z(t)$ where its imaginary part is the HHT of $x(t)$ and the real part is the original signal $x(t)$ and its spectral frequency is null for negative frequencies. This function is described by (5).

$$Z(t) = x(t) + iH[x(t)] = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (5)$$

$$a(t) = [x(t)^2 + (H[x(t)])^2]^{1/2} \quad (6)$$

$$\theta(t) = \arctan (H[x(t)]/x(t)) \quad (7)$$

$$w(t) = d\theta(t)/dt [rad/s] \quad (8)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \omega(t) [Hz] \quad (9)$$

Where, $a(t)$ Instantaneous amplitude, $\theta(t)$: Instantaneous phase, $w(t)$: Instantaneous angular frequency [rad/s] and $f(t)$ Instantaneous frequency [Hz].

2.5. Relevance Analysis

Following the steps of the Figure 1, the relevance analysis was carried out using Fuzzy Rough Set with entropy (FRFS) with the aim of obtaining a minimal feature subset. The algorithm FRFS was implemented and its parameters associated to the neighbor distance tolerance (d) and the inclusion rate (b) were adjusted according to procedure presented in (Orrego et al., 2012).

Fuzzy-Rough Feature Selection (FRFS): Fuzzy-rough sets encapsulate the related but distinct concepts of vagueness and indiscernibility, both of which occur as a result of uncertainty in knowledge (Hu et al., 2006). Fuzzy-rough feature selection (FRFS) provides a means by which discrete or real-valued noisy data (or a mixture of both) can be effectively reduced without the need for user-supplied information.

Let $\mathbb{U}$ be a non-empty set of finite objects (the universe of discourse) where $x, y \in \mathbb{U}$ and $\mathbb{A}$ is a non-empty finite set of features where a is a feature in $\mathbb{A}$, $P \subseteq \mathbb{A}$ and $\mathbb{D}$ is a set of decision features. The fuzzy lower and upper approximations can be defined using a γ -transitive fuzzy similarity relation to approximate a fuzzy equivalence class X (Radzikowska & Kerre, 2002):

$$\underline{\mu}_{R_P X}(x) = \inf_y \Psi(\mu_{R_P}(x, y), \mu_X(y)) \quad (10)$$

$$\overline{\mu}_{R_P X}(x) = \sup_y \Upsilon(\mu_{R_P}(x, y), \mu_X(y)) \quad (11)$$

where Ψ is a fuzzy implication and Υ a t-norm. R_P is the fuzzy similarity relation induced by the subset of features P :

$$\mu_{R_P}(x, y) = \Upsilon_{a \in P} \{\mu_{R_a}(x, y)\} \quad (12)$$

μ_{R_a} is the degree to which objects x and y are similar for feature a . The crisp positive region in traditional rough set theory is defined as the union of the lower approximations. By the extension principle (Zadeh, 1975), the membership of an object $x \in \mathbb{U}$, belonging to the fuzzy positive region can be defined by (MacParthalain & Jensen, 2009):

$$\mu_{POS_P(\mathbb{D})}(x) = \sup_{x \in U/\mathbb{D}} \mu_{R_P X}(x) \tag{13}$$

An important issue in data analysis is discovering dependencies between attributes. The fuzzy-rough degree of dependency of $\mathbb{D}$ on the attribute subset P can be defined

$$\gamma'_P(\mathbb{D}) = \frac{\sum_x \mu_{POS_P(\mathbb{D})}(x)}{|U|} \tag{15}$$

A fuzzy-rough reduct R can be defined as a minimal subset of features of the initial attribute set $\mathbb{C}$ such that for a given set of attributes $\mathbb{D}$ preserves the dependency degree of the entire dataset, i.e., $\gamma'_R(\mathbb{D}) = \gamma'_C(\mathbb{D})$ y $\gamma'_{R-\{a\}}(\mathbb{D}) \neq \gamma'_R(\mathbb{D})$ for all $a \in R$.

2.6. Classification and validation

In this study four classifiers were implemented: *i*) Gaussian Mixture Model (GMM), *ii*) Naïve Bayes, *iii*) HMM, and *iv*) ANFIS. The GMM and Naïve Bayes classifiers were used in order to select the better combination of IMF (IMF-C1 and IMF-C2) together with the MFCC coefficients due to their simplicity. GMM and Naïve bayes techniques are widely known and described in different medical applications (Al-Aidaroo et al., 2012) (Farsaie Alaie et al., 2016)(Mannepalli et al., 2015)(Reynolds & Rose, 1995). On the other hand, the HMM classifier (Fahad et al., 2018) (Jimenez et al., 2014) is compared with an ANFIS classifier in order to obtain the higher accuracy in murmur detection for which the architecture (number of states and Gaussian functions) of HMM classifier was optimized using Genetic Algorithm.

The HMM classifier (with unoptimized architecture) implemented for stochastic analysis of the feature space, in order to recognize the beat samples is type ergodic with 16 Gaussian functions and 5 states. The training stage was developed using an EM algorithm in order to estimate the maximum likelihood parameters with a convergence at 10^{-6} . The classification stage was carried out by a 30- fold cross-validation procedure using a 70/30 split, where consistency and representation capability of the feature space were analyzed. The optimization of the architecture of this classifier was carried out implementing a genetic algorithm with uniform and geometric distributions for mutation and selection respectively, and Bounds of Gaussians with domain [1 40] and states with domain [2 40]. The genetic algorithm are widely described by (Bartz-Beielstein et al., 2014). The last classifier implemented was the ANFIS with training parameters described in Table 2 for the classification of heartbeat sounds, i.e., normal or murmur, where the reduced feature set was used as the input vector and this classification stage was carried out by a 50- fold cross-validation procedure using a 70/30 split, where consistency and representation capability of the feature space were analyzed.

Number of layers	5	Radius of influence sub-clustering	0.5
FIS type	Takagi-Sugeno	Learning algorithm type	Least squares & gradient descent
Number of system input	10	Number of fuzzy rules	70
Partitioning type	Subtractive clustering	Training error	0.01

Table 2 – ANFIS Training parameters.

Hidden Markov Models (HMM) – HMM is an extension of Markov chains, where each state does not correspond to an observable event, but is connected to a group of probability distributions of the state. In some applications, the states may have a certain physical meaning attached to the states or the sets of states (Uğuz et al., 2007). There are several well-known training criteria, such as Maximum Likelihood Estimation (MLE), Maximum Mutual Information (MMI), among others, however, this study has focused on applications based on the MLE criterion, given its good performance in previous studies (Becerra et al., 2012). Let $X = \{\varphi_r^{n\varphi_r}; r = 1, \dots, R\}$ a training set of R samples, with categories $C = \{c_r^{n\varphi_r}; r = 1, \dots, R\}$ for M different classes, i.e., $c^r \in \{c_m; m = 1, \dots, M\}$. Also, each sample $\varphi_r^{n\varphi_r}$ is represented by a sequence of feature vectors of length $n\varphi_r$, so, $\varphi_r^{n\varphi_r} = \{\varphi_{r,t}; t = 1, \dots, n\varphi_r\}$. The total set of parameters of the HMM is denoted by θ and is composed of M models, i.e., $\theta = \{\lambda_m\}$, where λ_m denotes the set of parameters of the HMM corresponding to class c_m . The training procedure based on MLE criterion is carried out taking into account the following objective function:

$$f_{MLE}(\theta) = \sum_{r=1}^R \log(P(\varphi_r^{n\varphi_r} | c^r)) \quad (16)$$

The optimization of (4) is achieved by adjusting the parameters of each model separately, relying on the training observation data, so that expression (4) gets a maximum value. This procedure includes the Expectation Maximization (EM) algorithm which is a well-known method for finding the maximum-likelihood estimate of the parameters of an underlying distribution from a data set when the data are incomplete or have hidden parameters (Fink, 2007).

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS): It is a simple data learning technique that uses Fuzzy Logic to transform given inputs into a desired output through highly interconnected Neural Network processing elements and information connections, which are weighted to map the numerical inputs into an output (Jang, 1993). For simplicity, it is assumed in the ANFIS architecture, two fuzzy IF-THEN rules based on a first order Sugeno model (Becerra et al., 2013):

$$\text{Rule(1)} : \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \quad (17)$$

$$\text{Rule(2)} : \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2 \quad (18)$$

Where, x and y are inputs, A_i and B_i are fuzzy sets, f_i are outputs within the fuzzy region specified by the fuzzy rule, and p_i, q_i, r_i are design parameters which are adjusted during the training process. In Figure 2, these two rules are implemented by means of a five-layer ANFIS architecture, where Π is an AND operator to fuzzify the inputs, the N -nodes indicate a normalization to the firing strengths from the previous layer. In the 4th layer, the nodes are adaptive and the output of each node is the product of the normalized firing strength with a first order polynomial (for a first order Sugeno model). The overall output f of the model is given by one single fixed S-node, i.e., $f = \sum_i \bar{w}_i f_i$.

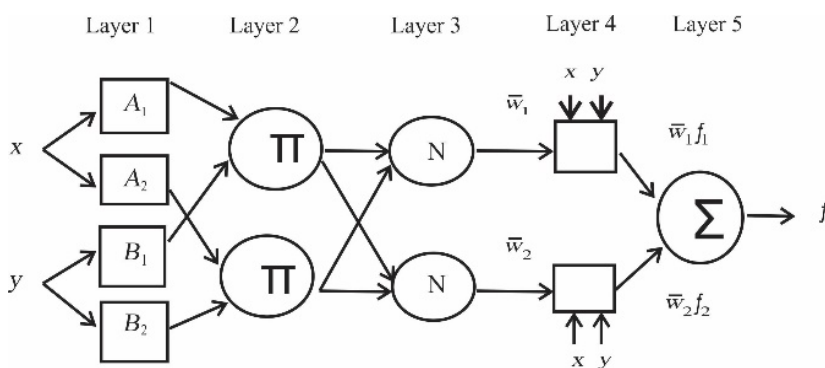


Figure 2 – ANFIS architecture.

3. Results and discussion

Table 3 shows the dimensionality reduction results of the technique implemented in this study. FRS-E means Fuzzy Rough Set Algorithm using entropy estimation, its parameters associated to the neighbor distance tolerance (δ) and the inclusion rate (β) were adjusted by heuristic routines comparing the difference in the classification accuracy corresponding to the cross-validation 70-30 with the algorithms k-NN and Naive Bayes which are widely known by their simplicity. The best average results are achieved with $\delta=0.05$ for the accuracy and $\beta=0.5$ for percentage reduction. The best accuracy was obtained with $\delta=0.05$ and $\beta=0.5$ which was used for final selection of characteristic with FRS-E.

β	δ	Reduction (%)	Accuracy k-NN (%)	Accuracy Naïve Bayes (%)
x	0.05	95.71	90.37 $\pm$ 6.3	90.87 $\pm$ 5
0.5	x	99.13	83.32 $\pm$ 4	86.69 $\pm$ 3
0.5	0.05	97.52	91.2 $\pm$ 4.5	90.9 $\pm$ 6.7

Table 3 – Dimensionality reduction and classification FCG.

The Table 4 shows the results in terms of accuracy of murmur detection by area of the Naïve Bayes and GMM classifiers, in order to select relevance coefficient MFCC of constructs IMF-C1 and IMF-C2, obtaining the best results with 12 MFCC of IMF-C2 for both classifiers.

Table 5 presents the average accuracy of classification of two cardiac murmur detection systems for PCG signals the first based on HMM and second using ANFIS tested with the same feature sets shown in table 5 and obtaining the same feature set as the best but the more accuracy. These results show that MFCC 9, 10, 11 and 12 of the IMF 1 contain relevant acoustical information related to heart valve damages.

Area	Accuracy (%)			
	MFCC 8 EMD 1-3-5-7 10 momentos	MFCC 8 EMD 3-5-7 10 momentos	MFCC 12 EMD 3--5-7 10 momentos	MFCC 12 EMD 1- 3-5-7 10 momentos
<i>Aortic</i>	84.56/92.33	81.93/86.09	81.03/89.88	84.33/94.23
<i>Pulmonic</i>	86.34/91.54	79.21/89.02	84.21/90.37	88.25/91.39
<i>Mitral</i>	87.32/90.5	80.02/83.98	80.56/88.46	89.9/92.12
<i>Tricuspid</i>	85.45/89.34	78.33/86.67	77.28/89.23	87.45/91.03
<i>Promedio</i>	85.92/90.93	79.87/86.44	80.77/89.49	87.48/92.19

Table 4 – Naïve Bayes/GMM – MFCC – EMD – HHT.

	8-MFCC IMF-C1	8-MFCC IMF-C2	12-MFCC IMF-C1	12-MFCC IMF-C2
Accuracy (%)	95±2.1/ 76.5±3.2	96±2/95.1±3.5	93.1±3.7/84.7±2.9	98.7±1.2/ 98.9±1.1

Table 5 – HMM/ANFIS using HHT-EMD representations.

Table 6 presents statistical measures of the HMM, ANFIS and HMM-AG classification performance for MFCC-HHT features over EMD components IMF-C2, considering each auscultation area.

Area	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
<i>Aortic</i>	98.8±1.2/99.3±0.7/98.5	99.2±0.5/98.6±1.4/98.03	98.3±1.5/100±0.0/98
<i>Pulmonic</i>	97.5±1.7/98.9±1.1/99.16	98.3±0.3/99.1±0.9/99.02	96.7±1.4/98.8±1.2/100
<i>Mitral</i>	99.2±0.8/98.7±1.3/99.5	100±0.0/98.6±1.4/99	98.3±0.9/98.0±2.0/100
<i>Tricuspid</i>	99.2±0.8/98.8±1.2/99.01	99.2±0.7/98.3±1.7/98.02	99.1±0.9/99.0±1.0/99.01
<i>Mean</i>	98.7/98.9/99.04	99.2/98.7/98.5	98.1/99.0/99.25

Table 6 – Statistical performance by auscultation area for HMM/ANFIS/HMM-AG.

Finally, these classification approaches are compared with other HMM-based classifiers trained with features of single auscultation signals (see Table 7) and support vector machine (SVM), where a greater performance is evidenced by ANFIS.

Approach	Accuracy (%)
<i>DHMM</i> (Omari & Bereksi-Reguig, 2015)	96.3
<i>CHMM/Wavelets</i> (Kopsinis & McLaughlin, 2009)	94.3
<i>ANFIS/Wavelets-PCA</i> (Kopsinis & McLaughlin, 2009)	94.5
<i>ANFIS/MFCC-HHT-EMD</i> (this work)	98.9
<i>HMM/MFCC-HHT-EMD</i> (this work)	98.7
<i>HMM-AG/MFCC-HHT-EMD</i> (this work)	99.25
<i>SVM/Short Time Fourier Transform</i>	93.91

Table 7 – Comparison with other approaches.

4. Conclusions

The interpretation of heart sounds depends on the physician's ability and experience. Such limitations can be reduced by developing biomedical-based decision support systems. In this study a comparison between two objective and accurate mechanisms of 4-SAA PCG signal classification carried out.

The first system is based on HMM and second in ANFIS. One system reliable cardiac murmur detection, in terms of sensitivity and specificity, was obtained. The representation capability of the EMD technique applied to 4-SAA PCG signals and stochastic analysis performed by an ergodic HMM of acoustic features derived from MFCC and statistical moments of HHT offered a high performance in the detection of heart murmurs.

These features substantially outperformed the traditional MFCC applied directly on the signal. The EMD representation enhanced the acoustical content associated with cardiac murmurs and reduced the acoustical components related to normal heart sounds or noises included in the acquisition stage. The relevance analysis based on FRFS allowed a reduced feature space to be found with low complexity and high representation capability, which is related to a high learning capability. The MFCC 9, 10, 11 and 12 of the IMF-C2 contain relevant acoustical information in terms of the detection of heart murmurs. Although this stochastic classifier demonstrated to be highly dependent on the signal representation and parameter initialization for the model optimization.

The combination of different EMD components enhances the acoustical content associated with cardiac murmurs and reduces the acoustical components related to the normal heart sounds or noises included in the acquisition stage. However, the ANFIS demonstrated a similar performance with respect to HMM, but HMM optimized with AG achieved an increase in the accuracy of 0.14% which showed high discriminatory power of the feature sets obtained from EMD-MFCC and low dependence on the performance of the classifier. However, and regarding the ANFIS results, a high performance in terms of accuracy, sensitivity and specificity was achieved, and the fuzzy rules played an important role in the detection procedure. Nevertheless, the operation parameters and the type of fuzzy functions were not optimized by a criterion function. In this sense, the automatic tuning of ANFIS parameters is an issue to be dealt with in future works.

References

- Ahlstrom, C., Hult, P., Rask, P., Karlsson, J.-E., Nylander, E., Dahlström, U., & Ask, P. (2006). Feature Extraction for Systolic Heart Murmur Classification. *Annals of Biomedical Engineering*, 34(11), 1666–1677. <https://doi.org/10.1007/s10439-006-9187-4>
- Al-Aidaroo, K. M., Bakar, A. A., & Othman, Z. (2012). Medical Data Classification with Naive Bayes Approach. *Information Technology Journal*, 11(9), 1166–1174. <https://doi.org/10.3923/ijtj.2012.1166.1174>
- Bartz-Beielstein, T., Branke, J., Mehnen, J., & Mersmann, O. (2014). *Evolutionary Algorithms*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 4(3), 178–195. <https://doi.org/10.1002/widm.1124>

- Becerra, M., Orrego, D., Mejia, C., & Delgado-Trejos, E. (2012). Stochastic Analysis and Classification of 4-Area Cardiac Auscultation Signals using Empirical Mode Decomposition and Acoustic Features. *Computing in Cardiology*, 39, Krakow, 529-532.
- Becerra M., Orrego D. and Delgado-Trejos E. (2013). Adaptive neuro-fuzzy inference system for acoustic analysis of 4-channel phonocardiograms using empirical mode decomposition. 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 969-972. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6609664>.
- Becerra M.A. et al. (2018). Exploratory Study of the Effects of Cardiac Murmurs on Electrocardiographic-Signal-Based Biometric Systems. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning. Lecture Notes in Computer Science*, 11314, 410-418. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03493-1_43.
- Chourasia, V. S., Tiwari, A. K., & Gangopadhyay, R. (2012). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for antepartum antenatal care using phonocardiography. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 8(4), 357-374. <https://doi.org/10.1504/IJBET.2012.046961>
- Dwivedi, A. K., Imtiaz, S. A., & Rodriguez-Villegas, E. (2019). Algorithms for Automatic Analysis and Classification of Heart Sounds—A Systematic Review. *IEEE Access*, 7, 8316-8345. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2889437>
- Ergen, B., Tatar, Y., & Gulcur, H. O. (2012). Time-frequency analysis of phonocardiogram signals using wavelet transform: A comparative study. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 15(4), 371-381. <https://doi.org/10.1080/10255842.2010.538386>
- Fahad, H. M., Ghani Khan, M. U., Saba, T., Rehman, A., & Iqbal, S. (2018). Microscopic abnormality classification of cardiac murmurs using ANFIS and HMM. *Microscopy Research and Technique*, 81(5), 449-457. <https://doi.org/10.1002/jemt.22998>
- Farsaie Alaie, H., Abou-Abbas, L., & Tadj, C. (2016). Cry-based infant pathology classification using GMMs. *Speech Communication*, 77, 28-52. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2015.12.001>
- Fink, G. A. (2007). *Markov Models for Pattern Recognition From Theory to Applications*. Springer.
- Hu, Q., Yu, D., Xie, Z., & Liu, J. (2006). Fuzzy probabilistic approximation spaces and their information measures. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14(2), 191-201. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2005.864086>
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C. C., & Liu, H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454(1971), 903-995. <https://doi.org/10.1098/rspa.1998.0193>

- Huang, X., Acero, A., & Hon, H.-W. (2001). *Spoken Language Processing: A Guide to Theory, Algorithm and System Development* (1 edition). Prentice Hall.
- Ismail, S., Siddiqi, I., & Akram, U. (2018). Localization and classification of heart beats in phonocardiography signals—A comprehensive review. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2018(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s13634-018-0545-9>
- Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23(3), 665–685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>
- Jimenez, J. A., Becerra, M. A., & Delgado-Trejos, E. (2014). Heart murmur detection using Ensemble Empirical Mode Decomposition and derivations of the Mel-Frequency Cepstral Coefficients on 4-area phonocardiographic signals. *Computing in Cardiology 2014*, 493–496.
- Karnath, B., & Thornton, W. (2002). Auscultation of the heart. *Hospital Physician; Hospital Physician*, 39–43.
- Kopsinis, Y., & McLaughlin, S. (2009). Development of EMD-Based Denoising Methods Inspired by Wavelet Thresholding. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 57(4), 1351–1362. <https://doi.org/10.1109/TSP.2009.2013885>
- Kotb, M. A., Elmahdy, H. N., Mostafa, F. E. Z., Shaker, C. W., Refaey, M. A., & Rjoob, K. W. Y. (2019). Recognition of Heart Murmur Based on Machine Learning and Visual Based Analysis of Phonocardiography. In K. Arai, S. Kapoor, & R. Bhatia (Eds.), *Intelligent Computing* (pp. 188–202). Springer International Publishing.
- Kumar, D., Carvalho, P., Couceiro, R., Antunes, M., Paiva, R. P., & Henriques, J. (2010). Heart Murmur Classification Using Complexity Signatures. 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 2564–2567. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.628>
- Lee, L. K. K., Tsai, P. N. W., Ip, K. Y., & Irwin, M. G. (2019). Pre-operative cardiac optimisation: A directed review. *Anaesthesia*, 74(S1), 67–79. <https://doi.org/10.1111/anae.14511>
- MacParthalain, N., & Jensen, R. (2009). Measures for Unsupervised Fuzzy-Rough Feature Selection. 560–565. <https://doi.org/10.1109/ISDA.2009.45>
- Mannepalli, K., Sastry, P. N., & Suman, M. (2015). MFCC-GMM based accent recognition system for Telugu speech signals. *International Journal of Speech Technology*, 19(1), 87–93. <https://doi.org/10.1007/s10772-015-9328-y>
- Omari, T., & Berekse-Reguig, F. (2015). New Algorithm for Assessment of Frequency Duration of Murmurs Using Hilbert-Huang Transform. In F. Ortuño & I. Rojas (Eds.), *Bioinformatics and Biomedical Engineering* (pp. 325–336). Springer International Publishing.

- Orrego, D. A., Becerra, M. A., & Delgado-Trejos, E. (2012). Dimensionality reduction based on fuzzy rough sets oriented to ischemia detection. 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 5282–5285. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6347186>
- Radzikowska, A. M., & Kerre, E. E. (2002). A comparative study of fuzzy rough sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 126(2), 137–155. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(01\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(01)00032-X)
- Reynolds, D. A., & Rose, R. C. (1995). Robust text-independent speaker identification using Gaussian mixture speaker models. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 3(1), 72–83. <https://doi.org/10.1109/89.365379>
- Sengur, A. (2008). An expert system based on linear discriminant analysis and adaptive neuro-fuzzy inference system to diagnosis heart valve diseases. *Expert Systems with Applications*, 35(1–2), 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.06.012>
- Tseng, Y., Ko, P., & Jaw, F. (2012). Detection of the third and fourth heart sounds using Hilbert-Huang transform. *BioMedical Engineering OnLine*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-11-8>
- Tseng, Y.-L., Ko, P.-Y., & Jaw, F.-S. (2012). Detection of the third and fourth heart sounds using Hilbert-Huang transform. *BioMedical Engineering OnLine*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-11-8>
- Uğuz, H. (2012). Adaptive neuro-fuzzy inference system for diagnosis of the heart valve diseases using wavelet transform with entropy. *Neural Computing and Applications*, 21(7), 1617–1628. <https://doi.org/10.1007/s00521-011-0610-x>
- Uğuz, H., Arslan, A., & Türkoğlu, İ. (2007). A biomedical system based on hidden Markov model for diagnosis of the heart valve diseases. *Pattern Recognition Letters*, 28(4), 395–404. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2006.08.009>
- Vepa, J. (2009). Classification of heart murmurs using cepstral features and support vector machines. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2539–2542. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5334810>
- Wei, W., Zhan, G., Wang, X., Zhang, P., & Yan, Y. (2019). A novel method for automatic heart murmur diagnosis using phonocardiogram. *ACM International Conference Proceeding Series*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3358331.3358368>
- World Health Organization. (2020). *Cardiovascular diseases (CVDs)*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))

Hacia una aplicación no-invasiva de análisis inmediato de los movimientos generales de bebés

Wilmer Danilo Esparza¹, Lucía Fernanda Flores Santy^{2,3}, David Pozo-Espín¹,
Karina-Beatriz Jimenes-Vargas¹, Jorge-Luis Pérez-Medina¹

lfflores@puce.edu.ec; wilmer.esparza@udla.edu.ec; david.pozo@udla.edu.ec;
karina.jimenes@udla.edu.ec; jorge.perez.medina@udla.edu.ec

¹ Intelligent and Interactive Systems (SI2-Lab). Universidad de Las Américas (UDLA), 170523, Quito, Ecuador.

² Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 17012184, Quito, Ecuador.

³ Universidad Camilo José Cela. 28692 Villanueva de la Cañada, Madrid, España.

Pages: 79–92

Resumen: El objetivo de este manuscrito es presentar los fundamentos para el desarrollo de una aplicación no-invasiva que analice de manera inmediata los movimientos generales “MGs” espontáneos de los bebés, a partir de un video convencional. En este sentido, una breve revisión de la literatura, una descripción de la arquitectura del software a emplearse, así como un análisis clínico preliminar asociando los MGs con la edad gestacional, serán presentados. Encontramos que la tecnología disponible no es de acceso abierto, usable y accesible que facilite la realización de estudios clínicos. La arquitectura del sistema de adquisición, procesamiento y clasificación de movimientos se perfila como una perspectiva de solución favorable a los usuarios finales. Finalmente, la edad gestacional está asociada con el tipo de MGs, y en casos de prematuridad, con MGs de repertorio pobres. La rápida identificación de los MGs ayudaría a implementar intervenciones terapéuticas tempranas que favorezcan el neurodesarrollo del bebé.

Palabras-clave: movimientos generales; bebés de alto riesgo; cinemática; parálisis cerebral; neurodesarrollo.

Towards a Non-invasive Application of Immediate Analysis of Babies' General Movements

Abstract: The aim of this manuscript is to present foundations for the development of a non-invasive application that immediately analyzes the general spontaneous babies' movements “GMs” from a conventional video. In this way, a brief literature review, a software architecture description to be used, as well as a preliminary clinical analysis associating GMs with gestational age, will be presented. We found that the available technology is not open access, user-friendly and accessible in order to facilitate conducting clinical studies. The proposed architecture of the acquisition, processing and classification system is outlined like a feasible solution

for end-users. Finally, gestational age is associated with the type of GMS, and the prematurity, with poor repertoire GMS. The fast GMS identification would help to implement early therapeutic interventions that enhance baby's neurodevelopment.

Keywords: general movements; high-risk babies; kinematic; cerebral palsy; neurodevelopment.

1. Introducción

En el Ecuador, 435.865 personas presentan alguna forma de discapacidad. De éstas, el 46,65% tiene una discapacidad física, y el 0,50% incluyen a bebés de 0 a 3 años (INEC, 2018). Entre las principales causas de discapacidad física está el nacimiento prematuro, caracterizado por un limitado desarrollo fetal que puede conducir a patologías como la parálisis cerebral "PC" (Emrick and DiCarlo 2020). Según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2018), aproximadamente 15 millones de bebés nacen prematuros cada año, y esta cifra sigue en constante aumento. Con el fin de proporcionar intervenciones terapéuticas adecuadas que limiten la discapacidad, se le ha concedido una importancia capital al reconocimiento temprano, a través del movimiento, de los niños que tienen riesgo de desarrollar PC. Así, se ha determinado que la actividad espontánea (movimientos generales "MGs") del bebé tiene un alto poder predictivo de las alteraciones neurológicas (Kepenek-Varol et al. 2016). La ausencia de patrones típicos de MGs, especialmente de movimientos serpenteantes de 9 a 20 semanas después del término "*Fidgety Movements*" (FM) - es un indicador neurológico temprano de desarrollo anormal y, en particular, de PC (Novak et al. 2017). Incluso se ha demostrado que, en presencia de FM normales, un repertorio motor deficiente es predictivo de disfunciones neurológicas menores relacionadas con habilidades cognitivas y/o de lenguaje sub-óptimas en la edad escolar (Einspieler, Bos, et al. 2016). Los MGs son reconocidos clínicamente por profesionales formados para su evaluación. Sin embargo, a pesar de su alta confiabilidad y reproducibilidad (Bernhardt et al. 2011), la expansión del método de evaluación se ha visto limitada por la obligada necesidad de realizar una capacitación sustancial.

En la última década, las aplicaciones tecnológicas en el campo de la neuro-rehabilitación han crecido de manera acelerada, impulsadas por una robusta investigación en ingeniería. Por ejemplo, recientemente se ha presentado un nuevo enfoque para el análisis cinemático de los MGs, a través de la grabación de videos convencionales combinados con el análisis de datos por computador (Marchi et al. 2019). Este enfoque pretende emular el análisis clínico de los MGs, implementado tecnologías portátiles no-invasivas. Hasta ahora la tecnología se ha venido usando en niños con PC para ayudar a la movilidad, proporcionar asistencia en las actividades de la vida diaria (AVD), optimizar la comunicación y mejorar la educación (Reyes, Niedzwecki, and Gaebler-Spira 2020). En países en desarrollo como el Ecuador, la falta de asistencia sanitaria especializada en comunidades rurales impide que se realice una detección temprana de potenciales déficits neuromotores. Así, el uso de este tipo de tecnología podría ayudar a diagnosticar trastornos del movimiento y, en consecuencia, limitar o disminuir el impacto de una discapacidad. En realidad, varios estudios son capaces de clasificar con buena sensibilidad y especificidad los MGs (Marcroft et al. 2015), utilizando diferentes métodos de captura del movimiento (directos, indirectos e híbridos); sin embargo, estos estudios se realizan en un ambiente investigativo, y aún no están adaptados al medio

clínico. Por el momento, un solo estudio reportó la existencia de una aplicación para teléfonos inteligentes que logra captar con éxito el movimiento de bebés pretérmino y de muy bajo peso (Kwong et al. 2019). No obstante, este estudio se concentró en valorar la captura y la usabilidad de la aplicación, cuyos datos fueron finalmente analizados clínicamente. Por lo tanto, se ha constatado que aún no existe una aplicación clínica no-invasiva de acceso abierto, accesible y de fácil uso, que sea capaz de reconocer y clasificar de manera inmediata los MGs de los bebés, a partir de una captura de video convencional.

En este manuscrito presenta los avances realizados para el desarrollo de esta aplicación. Iniciaremos con una breve revisión bibliográfica acerca de los métodos de detección del movimiento (estado del arte). Luego, se presentará la arquitectura del software propuesta. Posteriormente, la siguiente sección muestra un análisis clínico que busca asociar los MGs con la edad gestacional. Finalmente, se plantean las conclusiones preliminares de este trabajo.

2. Estado del arte

El reconocimiento del movimiento humano a través de diferentes dispositivos tiene como objetivo la detección, clasificación y evaluación automatizada de la calidad de los movimientos de las extremidades. Se pretende establecer modelos de movimiento que sigan un patrón, para considerarlos típicos o atípicos. La captura de los movimientos de las extremidades de los bebés puede realizarse a través de la detección indirecta o directa (Chen et al. 2012). La detección indirecta utiliza dispositivos que están integrados en el entorno de evaluación, como cámaras de video o dispositivos que capturan el movimiento en 3D (Meinecke et al. 2006). En contraste, la detección directa registra datos de movimiento a través de sensores miniaturizados adheridos a las extremidades de los bebés (Gravem et al. 2012; Karch et al. 2012). Los dos métodos de detección capturan el movimiento como series de datos temporales, es decir, secuencias de lecturas de sensores. Dependiendo de la modalidad de detección, los datos muestran diferencias en la resolución temporal y espacial. Los métodos típicamente utilizados para el análisis automatizado de los datos incluyen modelización probabilística secuencial, métodos estadísticos (para modelar gestos específicos de interés) o un monitoreo holístico de los MGs (Marcroft et al. 2015).

2.1. Métodos de detección indirecta del movimiento

Entre los métodos de detección indirecta están las capturas del movimiento por cámaras de video convencionales, y cámaras de percepción de profundidad, comúnmente conocidas como cámaras 3D. Las cámaras de video convencional son portátiles; fácilmente disponibles y de usar; presentan alta resolución espacial y permiten comprender el contexto. Sin embargo, el análisis del video puede ser complejo y requiere de capacidades de almacenamiento y procesamiento elevadas; además de presentarse problemas de oclusión (Adde et al. 2009; Einspieler and Prechtl 2005). En cuanto a las cámaras de percepción de profundidad, éstas obtienen información del entorno en forma de una nube puntos proporcionando mapas de profundidad y por tanto permiten generar un análisis de imágenes en 3D; este tipo de cámaras pueden brindar información tanto de color como de profundidad “RGB-D” (Jaramillo et al. 2019; Pozo et al. 2019).

Las capturas en 3D, tienen alta precisión, confiabilidad y resolución espacio-temporal. No obstante, dependiendo de sus características sus requisitos de funcionamiento son aún mayores que las cámaras de video convencionales. Asimismo, en algunos casos necesitan de marcadores adheridos al cuerpo (para capturar el movimiento); y al igual que las cámaras convencionales también podrían presentar problemas de oclusión (Meinecke et al. 2006). Posiblemente una de las tecnologías más conocidas es la Kinect, desarrollada por Microsoft que tiene una alta resolución espacial; proporciona información de profundidad; y no necesita marcadores. Como limitaciones se puede señalar la baja resolución temporal; problemas de oclusión; un campo de visión limitado; y es poco adecuada para capturar el movimiento de los bebés (Chang, Han, and Tsai 2013).

Varios estudios han empleado estos sistemas indirectos de captura y evaluación del movimiento para distinguir entre bebés sanos y de riesgo (Meinecke et al. 2006); así como, para investigar la relación entre los MGs y el desarrollo del bebé, a diferentes edades (Kanemaru et al. 2013; Kanemaru, Watanabe, and Taga 2012) y en computadores portátiles (Kanemaru et al. 2014). El uso de estos sistemas permitió realizar un análisis continuo y bien detallado del entorno natural donde se mueve el bebé, facilitando el reconocimiento clínico de movimientos anormales (Einspieler and Prechtl 2005; Prechtl, 1997). Las grabaciones con cámaras de video RGB estándar fueron útiles para determinar un diagnóstico temprano y realizar un tamizaje de los lactantes con alto riesgo de desarrollar PC (Adde et al. 2009). Recientemente, a través del uso de una cámara digital y un análisis por inteligencia artificial, se mostró que hay una sensibilidad (92.7%) y una especificidad (81,6%) comparables a las evaluaciones clínicas y de imagen cerebral para la predicción de la PC (Ihlen et al. 2020).

2.2. Métodos de detección directa del movimiento

Con respecto a los métodos de detección directa podemos señalar el uso de sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) y sistemas magnéticos de tracking. Los sensores inerciales son pequeños y de bajo costo; presentan alta resolución temporal; preservan la privacidad del participante; tienen una buena duración de la batería; y son fácilmente disponibles. Sin embargo, la resolución espacial es baja; puede haber pérdidas ocasionales de los datos (inalámbricas); y su uso podría resultar poco cómodo (Heinze et al. 2010). En lo concerniente a los sistemas magnéticos de tracking, éstos tienen una alta resolución temporal; muy alta precisión y generalmente no existen oclusiones en la línea de visión. Presentan desventajas como su alto costo, en comparación con los acelerómetros; requieren de una configuración compleja; y podrían presentar problemas de interferencia magnética y eléctrica (Karch et al. 2012; Philippi et al. 2014).

Pequeños sensores adheridos a las extremidades del bebé mostraron ser eficaces detectando movimientos atípicos y espontáneos (Karch et al. 2008, 2012). El uso de estos sensores, junto con evaluaciones clínicas de los MGs basadas en videos, mostró que la evaluación clínica identifica correctamente el deterioro del neurodesarrollo, incluyendo la existencia de PC. Sin embargo, el análisis clínico no pudo predecir si el bebé se vería afectado o no por la PC. En contraste, el análisis cinemático (con sensores) detectó movimientos estereotipados de los brazos que fueron un excelente predictor de

PC, mientras que los movimientos estereotipados de las piernas predijeron un deterioro del desarrollo neurológico (Philippi et al. 2014). El uso de acelerómetros también ha permitido capturar movimientos espontáneos (Heinze et al. 2010; Karch et al. 2012; Philippi et al. 2014) y patrones de movimiento atípicos. Específicamente, sirvieron para confirmar que los lactantes con lesiones cerebrales inhiben los movimientos espontáneos con mayor dimensionalidad (Fan et al. 2012; Gravem et al. 2012). En otro estudio utilizaron acelerómetros en miniatura para diagnosticar de manera objetiva el desarrollo de trastornos del movimiento en recién nacidos prematuros (Heinze et al. 2010). La tasa de detección general fue >90% en tres mediciones y el momento de la recopilación de datos se correlacionó con las características de los movimientos espontáneos, tal como se describe en la evaluación de los MGs (Prechtl, 1997). Un estudio reciente utilizando un acelerómetro y un giroscopio logró clasificar de manera apropiada la postura y el movimiento del bebé, de la misma manera que la evaluación clínica convencional. Este estudio preconiza que la grabación de las extremidades facilita la clasificación de ambos parámetros (Manu et al. 2020).

2.3. Métodos híbridos

Con el fin de combinar ambos métodos de detección (alta resolución espacial con alta resolución temporal) se han desarrollado algunos enfoques híbridos para el análisis del movimiento con buena fidelidad (Huang and Fu 2008). También se ha propuesto una herramienta de software para la representación y modelación de los MG denominada ENIGMA. Esta herramienta es un soporte útil para visualizar las características del movimiento junto con los datos de video analizados por expertos en MG (Berge et al. 2008). Del mismo modo, un enfoque de detección híbrido para la predicción de PC fue propuesto, utilizando un análisis exhaustivo de las características del movimiento. Los autores encontraron que las características dinámicas son más indicativas que las características estadísticas (Adde et al. 2010). Otro método híbrido que utilizó acelerómetros y videos logró estimar déficits en el movimiento, empleando un filtro Kalman extendido. El movimiento estimado logró una precisión de clasificación del 84% en la identificación de movimientos utilizando un Support Vector Machine (Machireddy et al. 2017). A pesar de los avances en la tecnología, la revisión de la literatura muestra que no existe aún una aplicación (software), adaptada al entorno clínico, que pueda ser capaz de detectar los déficits del movimiento de los bebés. Por el momento, los sistemas de detección del movimiento antes analizados se ven con mayor frecuencia en el entorno de la investigación y, debido a limitaciones prácticas, aún no son fácilmente adaptables al entorno clínico.

Los movimientos espontáneos y voluntarios de los bebés reflejan la integridad del desarrollo de las redes cerebrales. En consecuencia, la detección temprana de bebés con desarrollo motor atípico es prometedora para reconocer a los bebés que corren el riesgo de sufrir una amplia gama de trastornos del desarrollo (por ejemplo, PC, trastornos del espectro autista, etc). La identificación temprana de patrones de movimiento atípicos puede ayudar a mejorar el pronóstico a través de intervenciones basadas en la fisioterapia. Por lo tanto, poder predecir la ausencia, disminución o alteración de los MG a través de la concepción de una aplicación no-invasiva es un aspecto fundamental para el desarrollo de ese bebé.

3. Sistema para el análisis de los movimientos generales

Con el objeto de discriminar entre un bebé sano y otro con riesgo neurológico, este estudio utilizará un enfoque basado en aprendizaje automático para la construcción de un clasificador para definir parámetros de referencia para cada caso (sano vs. riesgo) y modelar la actividad motora del bebé.

3.1. El modelaje de la actividad motora del bebé basado en el aprendizaje automático

La evaluación de la actividad motora del bebé se logra a través de un proceso (Figura 1) que involucra: la adquisición y la filtración de datos brutos; la extracción y selección de atributos relevantes; y la clasificación del movimiento con algoritmos de aprendizaje automático. Esto con el objeto de crear un modelo para identificar si el bebé tiene o no riesgo neurológico. Por tanto, se plantean dos etapas para el futuro desarrollo de un sistema para el análisis de los MGs:

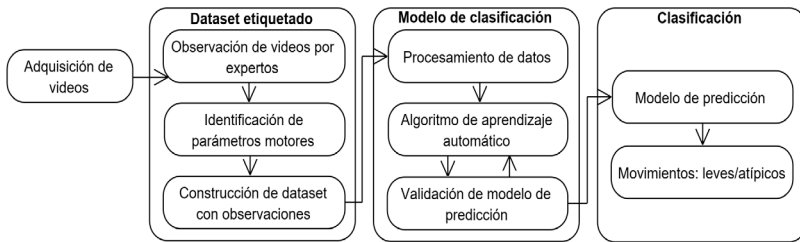


Figura 1 – Proceso de modelaje de la actividad motora.

3.1.1. La elaboración de un clasificador partir de las observaciones de varios videos de bebés que no poseen ningún riesgo

A partir un conjunto de observaciones a los bebés considerados normales, se identificará manualmente los parámetros motores de interés (por ejemplo, amplitud de movimientos, cinemática, etc.). -Un dataset será elaborado con las observaciones etiquetadas por los expertos (clínicos) en un grupo de videos.

Los datos serán utilizados como una prueba piloto para la construcción de un primer clasificador. Este dataset probablemente estará constituido por más atributos que instancias (u observaciones); por lo que, se implementará una selección de atributos con el fin de conservar únicamente los más relevantes y disminuir el riesgo de Overfitting en el modelo resultante. Este proceso nos permitirá conocer si los parámetros motores observados son suficientes para discriminar la función motora de los bebés.

Además, esta primera exploración nos permite detectar parámetros motores que posteriormente podrían ser usados para enriquecer el dataset de entrenamiento y para automatizar la evaluación de la función motora. Esto es importante dado que, si podemos obtener un dataset etiquetado con más observaciones, podríamos tener, en un futuro, un modelo más robusto.

3.1.2. La adquisición y el procesamiento de videos para extraer las zonas de interés al movimiento de los bebés

Una vez identificados manualmente los atributos mínimos (suficientes para una clasificación correcta de los bebés), se debe caracterizar los movimientos en cada video a través de un algoritmo de visión por computador. A partir de este proceso se busca definir los parámetros motores antes detectados para construir una base de datos etiquetada más grande.

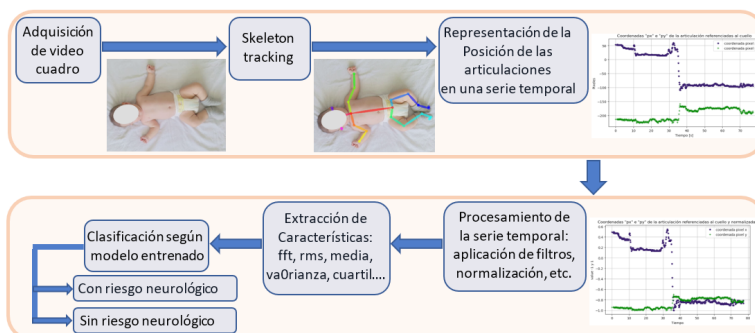


Figura 2 – Esquema general del proceso de adquisición, procesamiento y clasificación de movimientos mediante visión artificial.

La Figura 2 muestra un esquema de adquisición de imágenes por medio de una cámara de video, en la cual, en cada cuadro de la imagen (*frame*), es posible obtener las posiciones en píxeles de las articulaciones mediante “*skeleton traking*”. Cada una de las articulaciones puede generar dos series temporales representadas por el desplazamiento de su posición en píxeles “x” e “y” en las imágenes; por medio de las cuales es posible realizar un procesamiento mediante la aplicación de filtros y establecer la normalización de los datos. Con la información ya tratada se obtienen las características que permitirán establecer mediante un modelo previamente desarrollado (análisis clínico preliminar) y algoritmos de aprendizaje automático, si en base a los MGs el niño puede tener o no un riesgo neurológico. Con base en el procedimiento descrito se deberá proporcionar el mismo porcentaje de clasificación, o incluso superior, porque se podrá añadir variables cuantitativas difíciles de obtener por la extracción manual.

3.2. La especificación y el diseño de un sistema para la integración del modelo de aprendizaje automático y la adquisición del video

Considerando el modelo de aprendizaje automático y la adquisición de datos cinemáticos para la evaluación de la actividad motora del bebé, se realizará la especificación y el diseño de un aplicativo móvil adoptando un paradigma de desarrollo ágil colaborativo centrado en el usuario (CUCD) (Pérez-Medina and Vanderdonckt 2016; Pérez-Medina, Vanderdonckt, and Villarreal Narvaez 2019). En este proceso también se tomarán en cuenta los aspectos de usabilidad y la experiencia de usuario. La metodología de

desarrollo ágil centrada en las necesidades de los usuarios permite un desarrollo dinámico del aplicativo, puesto que es iterativa e incremental. Además, requiere que el usuario objetivo esté involucrado y nos permite gestionar de forma efectiva un conjunto de requisitos cambiantes dada la naturaleza del proyecto de investigación.

De esta forma, el desarrollo del aplicativo se da en periodos cortos denominados *Sprints*, que involucra un incremento del software potencialmente entregable. Cada *sprint* implica la visión, la co-creación y la mejora del aplicativo. La visión del producto abarca la especificación de requerimientos para determinar las condiciones o capacidades que debe cumplir el aplicativo, para satisfacer las necesidades del grupo de usuarios; así como también, la definición de un diseño para producir un modelo o representación del aplicativo que se va a construir. La co-creación del producto incluye la definición de estándares en el diseño de pantallas y pruebas de usabilidad en colaboración con el usuario. Finalmente, la mejora del producto abarca la detección y solución de errores considerando los comentarios y apreciaciones de los usuarios; en esta fase también, se detectarán nuevos requerimientos a ser considerados en el siguiente *Sprints*.

El diseño del aplicativo abarca la definición de una arquitectura, un modelo de datos, diagramas de tareas y procedimientos, y *Mockups*. La arquitectura describe la estructura del aplicativo con sus componentes y su forma de interactuar. Se contempla también en la arquitectura el componente de integración del modelo de aprendizaje automático con el método de adquisición de datos definidos previamente. El modelo de datos representa los conceptos presentes en el dominio del proyecto. El diagrama de tareas y procedimientos representa las actividades que requiere hacer el usuario en el aplicativo a través de sus componentes. Los *Mockups* realizados mediante la herramienta *Balsamiq* serán utilizados para presentar los bocetos preliminares de las interfaces de usuario y así, detectar errores de usabilidad y experiencia de usuario previo a su implementación. El diseño e implementación de las interfaces será apoyado por las directrices de una metodología de desarrollo ágil. Estas serán desarrolladas de manera progresiva a partir de los *Mockups* diseñados y evolucionarán con los *Sprints*. El diseño y construcción del software informático estará guiado por un proceso de desarrollo ágil-flexible basado en SCRUM. SCRUM aplica un conjunto de buenas prácticas para el trabajo colaborativo en equipos multidisciplinarios. Para el descubrimiento de los requerimientos incorporaremos el paradigma de desarrollo ágil CUCD. Hemos elegido este método puesto que forma parte de nuestras investigaciones y se inserta en un proceso de construcción de software ágil de forma interactiva. En tempranas etapas del desarrollo se incorpora al usuario final como parte del equipo de trabajo. La finalidad del paradigma de desarrollo ágil CUCD, en tempranas etapas del desarrollo, es detectar los posibles problemas de usabilidad. Su resultado es diseñar una interfaz del usuario donde se consideren métricas de usabilidad, lo que se conoce como la evaluación de la usabilidad formativa. Para ello contemplaremos las heurísticas de Costin Pribeanu (Pribeanu 2017).

Luego de diseñar las interfaces del usuario, las siguientes interacciones buscarán desarrollar un software. Se prevé realizar la evaluación de la usabilidad mediante la experiencia de usuarios. Para ello estudiaremos el comportamiento de los usuarios finales con base a criterios como: eficiencia, calidad de uso, calidad en la información, calidad en la interacción, satisfacción global.

4. Análisis clínico preliminar de los movimientos generales de Prechtl y la edad gestacional

En la actualidad, existen varios métodos de evaluación del niño en el periodo postnatal, desde métodos clínicos cualitativos observacionales hasta estudios de neuroimagen de alto costo (Bosanquet et al. 2013). La evaluación de los MGs de Prechtl es una alternativa clínica no-invasiva para la valoración postnatal del movimiento en el neonato. Esta valoración permite identificar alteraciones neuro-motrices de manera temprana, como la PC (Einspieler et al. 2012). Además, es un método de fácil aplicación y de bajo costo, que clasifica los movimientos espontáneos fisiológicos de los niños en movimientos WM y FM. También permite identificar movimientos anormales como *Cramped Synchronised* (CS), Caóticos y de Repertorio Pobre (RP) (Einspieler and Prechtl 2005). El objetivo de este trabajo fue analizar la relación existente entre la edad gestacional y el tipo de MG que presentaron los niños evaluados.

Para alcanzar este objetivo se evaluaron las imágenes de video de 20 niños (nacidos a término y prematuros), en edades comprendidas entre 4 y 15 semanas postnatales. Se corrigió la edad de los niños prematuros. Se clasificó el tipo de movimiento de acuerdo con la edad cronológica a partir de la edad a término WM (0-8 semanas) y FM (9-15 semanas). Para establecer la asociación entre las variables mencionadas, se realizó un χ^2 y una regresión lineal simple fue realizada para detectar si el momento del nacimiento influye en el tipo de movimiento. Los resultados del análisis clínico mostraron que 4 niños fueron prematuros y 16 nacieron a término. Se encontraron movimientos WM (n=5), FM (n=13), y RP (n=2), ningún niño presentó movimientos CS y/o Caóticos. Existió una asociación estadísticamente significativa entre la prematurez y el tipo de movimiento ($p=0,00921$). La regresión lineal simple mostró que la semana gestacional predijo el tipo de movimiento ($p=0,005$). Estudios previos muestran que movimientos de RP son MGs anormales observados con mayor frecuencia durante el período prematuro y a término (Nakajima et al. 2006). Estos resultados son consistentes con los encontrados en otro estudio (Olsen et al. 2018), mostrando que la calidad de los MGs es adversamente afectada por la corta duración del embarazo. Se preconiza que durante el período prematuro, los bebés con MGs de RP presentan rotaciones del tronco con menor fluidez y elegancia, con respecto a la edad gestacional (Einspieler, Marschik, et al. 2016). Estudios de neuroimagen usando resonancia magnética en bebés prematuros con MGs anormales mostraron movimientos de RP, mientras que en los bebés nacidos a término los MG fueron normales (Skiöld et al. 2013).

5. Conclusiones

El análisis de la literatura mostró que aún no existe una aplicación clínica no-invasiva, de fácil uso que clasifique de manera inmediata los MGs de los bebés. El desarrollo de la arquitectura del sistema de adquisición, procesamiento y clasificación de movimientos mediante visión artificial parece ser una alternativa clínica no-invasiva que responda a las necesidades de reconocer y clasificar de manera automatizada e inmediata los MGs de los bebés, a partir de una captura de video convencional. Finalmente, encontramos que la edad gestacional está asociada con el tipo de MG. Específicamente, los casos de prematuros se asociaron con el RP de movimiento; y los casos de nacimiento a término con los MGs normales.

Referencias

- Adde, Lars, Jorunn L. Helbostad, Alexander R. Jensenius, Gunnar Taraldsen, Kristine H. Grunewaldt, and Ragnhild Støen. 2010. "Early Prediction of Cerebral Palsy by Computer-based Video Analysis of General Movements: A Feasibility Study." *Developmental Medicine & Child Neurology* 52(8):773–78.
- Adde, Lars, Jorunn L. Helbostad, Alexander Refsum Jensenius, Gunnar Taraldsen, and Ragnhild Støen. 2009. "Using Computer-Based Video Analysis in the Study of Fidgety Movements." *Early Human Development* 85(9):541–47.
- Banos, Oresti, Miguel Damas, Hector Pomares, Alberto Prieto, and Ignacio Rojas. 2012. "Daily Living Activity Recognition Based on Statistical Feature Quality Group Selection." *Expert Systems with Applications* 39(9):8013–21.
- Berge, Pål R., Lars Adde, Gabriela Espinosa, and Øyvind Stavdahl. 2008. "ENIGMA–Enhanced Interactive General Movement Assessment." *Expert Systems with Applications* 34(4):2664–72.
- Bernhardt, I., M. Marbacher, R. Hilfiker, and L. Radlinger. 2011. "Inter-and Intra-Observer Agreement of Prechtl's Method on the Qualitative Assessment of General Movements in Preterm, Term and Young Infants." *Early Human Development* 87(9):633–39.
- Bosanquet, Margot, Lisa Copeland, Robert Ware, and Roslyn Boyd. 2013. "A Systematic Review of Tests to Predict Cerebral Palsy in Young Children." *Developmental Medicine & Child Neurology* 55(5):418–26.
- Chang, Yao-Jen, Wen-Ying Han, and Yu-Chi Tsai. 2013. "A Kinect-Based Upper Limb Rehabilitation System to Assist People with Cerebral Palsy." *Research in Developmental Disabilities* 34(11):3654–59.
- Chen, Liming, Jesse Hoey, Chris D. Nugent, Diane J. Cook, and Zhiwen Yu. 2012. "Sensor-Based Activity Recognition." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 42(6):790–808.
- Draschkowitz, Lukas, Christoph Draschkowitz, and Helmut Hlavacs. 2015. "Using Video Analysis and Machine Learning for Predicting Shot Success in Table Tennis." *EAI Endorsed Transactions on Creative Technologies* 2(5).
- Einspieler, Christa, Arend F. Bos, Melissa E. Libertus, and Peter B. Marschik. 2016. "The General Movement Assessment Helps Us to Identify Preterm Infants at Risk for Cognitive Dysfunction." *Frontiers in Psychology* 7:406.
- Einspieler, Christa, Peter B. Marschik, Arend F. Bos, Fabrizio Ferrari, Giovanni Cioni, and Heinz F. R. Prechtl. 2012. "Early Markers for Cerebral Palsy: Insights from the Assessment of General Movements." *Future Neurology* 7(6):709–17.

- Einspieler, Christa, Peter B. Marschik, Jasmin Pansy, Anna Scheuchenegger, Magdalena Kriebler, Hong Yang, Maria K. Kornacka, Edyta Rowinska, Marina Soloveichick, and Arend F. Bos. 2016. "The General Movement Optimality Score: A Detailed Assessment of General Movements during Preterm and Term Age." *Developmental Medicine & Child Neurology* 58(4):361–68.
- Einspieler, Christa, and Heinz F. R. Prechtl. 2005. "Prechtl's Assessment of General Movements: A Diagnostic Tool for the Functional Assessment of the Young Nervous System." *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews* 11(1):61–67.
- Emrick, Lisa T., and Shannon M. DiCarlo. 2020. "The Expanding Role of Genetics in Cerebral Palsy." *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics* 31(1):15–24.
- Fan, Mingming, Dana Gravem, Dan M. Cooper, and Donald J. Patterson. 2012. "Augmenting Gesture Recognition with Erlang-Cox Models to Identify Neurological Disorders in Premature Babies." Pp. 411–20 in *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*.
- Gravem, D., M. Singh, C. Chen, J. Rich, J. Vaughan, K. Goldberg, F. Waffarn, P. Chou, D. Cooper, and D. Reinkensmeyer. 2012. "Assessment of Infant Movement with a Compact Wireless Accelerometer System." *Journal of Medical Devices* 6(2).
- Heinze, Franziska, Katharina Hesels, Nico Breitbach-Faller, Thomas Schmitz-Rode, and Catherine Disselhorst-Klug. 2010. "Movement Analysis by Accelerometry of Newborns and Infants for the Early Detection of Movement Disorders Due to Infantile Cerebral Palsy." *Medical & Biological Engineering & Computing* 48(8):765–72.
- Huang, En Wei, and Li Chen Fu. 2008. "Gesture Stroke Recognition Using Computer Vision and Linear Accelerometer." Pp. 1–6 in *2008 8th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*. IEEE.
- Ihlen, Espen A. F., Ragnhild Støen, Lynn Boswell, Raye-Ann de Regnier, Toril Fjærtøft, Deborah Gaebler-Spira, Cathrine Labori, Marianne C. Loennecken, Michael E. Msall, and Unn I. Möinichen. 2020. "Machine Learning of Infant Spontaneous Movements for the Early Prediction of Cerebral Palsy: A Multi-Site Cohort Study." *Journal of Clinical Medicine* 9(1):5.
- INEC. (2018). Población menor a 12 años por condición de discapacidad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/?s=discapacidad>
- Jaramillo, Kevin, David Ponce, David Pozo, and Luis Morales. 2019. "A MATLAB-Based Tool for 3D Reconstruction Technologies for Indoor and Outdoor Environments." Pp. 280–90 in *The International Conference on Advances in Emerging Trends and Technologies*. Springer.

- Kanemaru, Nao, Hama Watanabe, Hideki Kihara, Hisako Nakano, Tomohiko Nakamura, Junji Nakano, Gentaro Taga, and Yukuo Konishi. 2014. "Jerky Spontaneous Movements at Term Age in Preterm Infants Who Later Developed Cerebral Palsy." *Early Human Development* 90(8):387–92.
- Kanemaru, Nao, Hama Watanabe, Hideki Kihara, Hisako Nakano, Rieko Takaya, Tomohiko Nakamura, Junji Nakano, Gentaro Taga, and Yukuo Konishi. 2013. "Specific Characteristics of Spontaneous Movements in Preterm Infants at Term Age Are Associated with Developmental Delays at Age 3 Years." *Developmental Medicine & Child Neurology* 55(8):713–21.
- Kanemaru, Nao, Hama Watanabe, and Gentaro Taga. 2012. "Increasing Selectivity of Interlimb Coordination during Spontaneous Movements in 2-to 4-Month-Old Infants." *Experimental Brain Research* 218(1):49–61.
- Karch, Dominik, Keun-Sun Kang, Katarzyna Wochner, Heike Philippi, Mijna Hadders-Algra, Joachim Pietz, and Hartmut Dickhaus. 2012. "Kinematic Assessment of Stereotypy in Spontaneous Movements in Infants." *Gait & Posture* 36(2):307–11.
- Karch, Dominik, Keun-Sun Kim, Katarzyna Wochner, Joachim Pietz, Hartmut Dickhaus, and Heike Philippi. 2008. "Quantification of the Segmental Kinematics of Spontaneous Infant Movements." *Journal of Biomechanics* 41(13):2860–67.
- Kepenek-Varol, Büsra, Mine Çaliskan, Zeynep İnce, Burak Tatli, Emine Eraslan, and Asuman Çoban. 2016. "The Comparison of General Movements Assessment and Neurological Examination during Early Infancy." *The Turkish Journal of Pediatrics* 58(1):54.
- Kunze, Kai, Michael Barry, Ernst A. Heinz, Paul Lukowicz, Dennis Majoe, and Jürg Gutknecht. 2006. "Towards Recognizing Tai Chi-an Initial Experiment Using Wearable Sensors." Pp. 1–6 in *3rd International Forum on Applied Wearable Computing 2006*. VDE.
- Kwong, Amanda K. L., Joy E. Olsen, Abbey L. Eeles, Christa Einspieler, Katherine J. Lee, Lex W. Doyle, Jeanie L. Y. Cheong, and Alicia J. Spittle. 2019. "Occurrence of and Temporal Trends in Fidgety General Movements in Infants Born Extremely Preterm/Extremely Low Birthweight and Term-Born Controls." *Early Human Development* 135:11–15.
- Machireddy, Archana, Jan Van Santen, Jenny L. Wilson, Julianne Myers, Mijna Hadders-Algra, and Xubo Song. 2017. "A Video/IMU Hybrid System for Movement Estimation in Infants." Pp. 730–33 in *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. IEEE.
- Manu, Airaksinen, Räsänen Okko, Ilén Elina, Häyrynen Taru, Anna Kivi, Marchi Viviana, Gallen Anastasia, Sonja Blom, Varhe Anni, and Kaartinen Nico. 2020. "Automatic Posture and Movement Tracking of Infants with Wearable Movement Sensors." *Scientific Reports (Nature Publisher Group)* 10(1).

- Marchi, Viviana, Anna Hakala, Andrew Knight, Federica D'Acunto, Maria Luisa Scattoni, Andrea Guzzetta, and Sampsa Vanhatalo. 2019. "Automated Pose Estimation Captures Key Aspects of General Movements at Eight to 17 Weeks from Conventional Videos." *Acta Paediatrica* 108(10):1817–24.
- Marcroft, Claire, Aftab Khan, Nicholas D. Embleton, Michael Trenell, and Thomas Plötz. 2015. "Movement Recognition Technology as a Method of Assessing Spontaneous General Movements in High Risk Infants." *Frontiers in Neurology* 5:284.
- Meinecke, L., N. Breitbach-Faller, C. Bartz, R. Damen, G. Rau, and C. Disselhorst-Klug. 2006. "Movement Analysis in the Early Detection of Newborns at Risk for Developing Spasticity Due to Infantile Cerebral Palsy." *Human Movement Science* 25(2):125–44.
- Nakajima, Yayohi, Christa Einspieler, Peter B. Marschik, Arend F. Bos, and Heinz F. R. Prechtl. 2006. "Does a Detailed Assessment of Poor Repertoire General Movements Help to Identify Those Infants Who Will Develop Normally?" *Early Human Development* 82(1):53–59.
- Novak, Iona, Cathy Morgan, Lars Adde, James Blackman, Roslyn N. Boyd, Janice Brunstrom-Hernandez, Giovanni Cioni, Diane Damiano, Johanna Darrah, and Ann-Christin Eliasson. 2017. "Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy: Advances in Diagnosis and Treatment." *JAMA Pediatrics* 171(9):897–907.
- Olsen, Joy E., Leesa G. Allinson, Lex W. Doyle, Nisha C. Brown, Katherine J. Lee, Abbey L. Eeles, Jeanie L. Y. Cheong, and Alicia J. Spittle. 2018. "Preterm and Term-equivalent Age General Movements and 1-year Neurodevelopmental Outcomes for Infants Born before 30 Weeks' Gestation." *Developmental Medicine & Child Neurology* 60(1):47–53.
- Pérez-Medina, Jorge-Luis, and Jean Vanderdonckt. 2016. "A Tool for Multi-Surface Collaborative Sketching." in *WorkShop Cross-Surface 2016: Third International Workshop on Interacting with Multi-Device ecologies* in the wild".
- Pérez-Medina, Jorge-Luis, Jean Vanderdonckt, and Santiago Villarreal Narvaez. 2019. "CROSSIDE: A Design Space for Characterizing Cross-Surface Collaboration by Sketching." *Journal of Visual Language and Computing* 1:1.
- Philippi, Heike, Dominik Karch, Keun-Sun Kang, Katarzyna Wochner, Joachim Pietz, Hartmut Dickhaus, and Mijna Hadders-Algra. 2014. "Computer-based Analysis of General Movements Reveals Stereotypes Predicting Cerebral Palsy." *Developmental Medicine & Child Neurology* 56(10):960–67.
- Pozo, David, Kevin Jaramillo, David Ponce, André Torres, and Luis Morales. 2019. "3D Reconstruction Technologies for Using in Dangerous Environments with Lack of Light: A Comparative Analysis." in *II Congreso Internacional de Sistemas Inteligentes y Nuevas Tecnologías: Tendencias Interdisciplinarias en Comunicación* (2019, Submitted).

- Prechtl, Heinz F. R. 1997. "State of the Art of a New Functional Assessment of the Young Nervous System. An Early Predictor of Cerebral Palsy."
- Pribeanu, Costin. 2017. "A Revised Set of Usability Heuristics for the Evaluation of Interactive Systems." *Informatica Economica* 21(3):31.
- Reyes, Fabiola, Christian Niedzwecki, and Deborah Gaebler-Spira. 2020. "Technological Advancements in Cerebral Palsy Rehabilitation." *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics* 31(1):117–29.
- Rybarczyk, Yves, Jan Kleine Deters, Arián Aladro Gonzalo, Danilo Esparza, Mario Gonzalez, Santiago Villarreal, and Isabel L. Nunes. 2017. "Recognition of Physiotherapeutic Exercises through DTW and Low-Cost Vision-Based Motion Capture." Pp. 348–60 in *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer.
- Skiöld, Béatrice, Christina Eriksson, Ann-Christin Eliasson, Ulrika Ådén, and Brigitte Vollmer. 2013. "General Movements and Magnetic Resonance Imaging in the Prediction of Neuromotor Outcome in Children Born Extremely Preterm." *Early Human Development* 89(7):467–72.

Aumento da performance de modelos de detecção de Estrabismo através da síntese de imagens fotorrealistas da região dos olhos

Jonathan Silva Santos¹, Ismar Silvera Frango¹

silva.santos.jonathan@gmail.com; ismarfrango@gmail.com

¹ Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930, 01213-907, São Paulo, Brasil.

Pages: 93–104

Resumo: O Estrabismo é uma condição médica que afeta cerca de 4% da população mundial. Em casos graves, o estrabismo pode levar à cegueira. Além de potencialmente afetar a visão, o aspecto estético do estrabismo pode gerar constrangimento público suficiente para influenciar todo o desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional do indivíduo. Felizmente, na maioria dos casos, a condição é tratável. Neste estudo é desenvolvido um modelo capaz de aumentar a performance de detectores e classificadores de Estrabismo computacionais por meio da geração de imagens sintéticas fotorrealistas através do uso de redes de arquitetura Deep Convolutional Generative Adversarial Network (DCGAN) e de técnicas de aumento de dados. No experimento apresentado, se obtém um aumento de acurácia de 7% em um modelo de detecção de Estrabismo (classificador binário).

Palavras-chave: estrabismo; síntese de imagens; GAN, DCGAN.

Increasing performance of strabismus detection models through the synthesis of photorealistic images of the eye region

Abstract: This study, using a Deep Convolutional Generative Adversarial Networks technique, develops a generative model capable of generating photorealistic images of the eye region that can be used as objects of a data augmentation approach to increase the accuracy of strabismus detection models. This paper contains a simple experiment, a strabismus detector model, which shows a 7% accuracy gain when using synthetic images as a data augmentation.

Keywords: strabismus, image synthesis, GAN; DCGAN.

1. Introdução

A publicação de trabalhos que buscam trazer tecnologias da computação para o estrabismo ainda é numericamente diminuta. A principal razão que motiva tal escassez deve-se ao fato de não haver base de dados de estrabismo pública, portanto, os trabalhos existentes utilizam bases privadas (Lu et al., 2018, p.2). Esta pesquisa surge com o propósito de

oferecer apoio aos pesquisadores diante de um cenário onde há escassez de dados públicos, sobretudo fotografias, relacionados ao Estrabismo. Um modelo generativo da região dos olhos de pessoas com Estrabismo, conforme é apresentado ao longo deste estudo, pode aumentar uma base de dados pré-existente, potencialmente implicando em um aumento de performance de modelos de aprendizagem de máquina. Este estudo é uma extensão dos trabalhos apresentados no artigo: *Generating photorealistic images of people's eyes with strabismus using Deep Convolutional Generative Adversarial Networks* (Santos & Silveira, in-press).

2. Fundamentação teórica

Nesta secção apresentam-se fundamentos teóricos que são alicerces para a compreensão desta pesquisa.

2.1. Estrabismo

De acordo com as informações fornecidas pelo Dr. Ronaldo Barcellos - médico cirurgião especialista em Estrabismo e professor na Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa - e também com base nos fundamentos sobre estrabismo contidos em (Prieto-Díaz et al., 2005), esta pesquisa apresenta de forma sumária o estrabismo conforme definição à seguir:

Quando um ser humano olha para um objeto, pode perceber profundidade e é capaz de acompanhar o seu deslocamento pelo espaço.

Por trás deste evento, há um processo físico e neurológico delicado e complexo:

A luz refletida pelo objeto atravessa a córnea e o cristalino (a lente humana responsável por focar os objetos) e segue por meio de uma substância gelatinosa e transparente denominada humor vítreo.

As ondas luminosas continuam sua trajetória até terminar na retina que é um tecido complexo composto de várias camadas de células e que fará o processo de converter a luz em impulsos elétricos e enviar estas informações para o cérebro humano. A retina possui capacidades distintas de processamento sendo a fóvea a região com maior densidade de fotorreceptores e que terá preferência sobre as outras regiões para centralização da imagem.

Utilizando um sistema de circuitos cerebrais, as fóveas de ambos os olhos são capazes de localizar o mesmo objeto no espaço.

A manutenção deste alinhamento dependerá dos ajustes finos dos músculos que movimentam os olhos. A espécie humana possui um conjunto de 6 (seis) músculos para cada olho, 2 (dois) horizontais,

2 (dois) verticais e 2 (dois) oblíquos que permitem a rotação do olho para qualquer posição dentro de um campo de 150 (cento e cinquenta) graus aproximadamente.

Quando há a perda de alinhamento das fóveas em relação ao objeto fixado de forma não voluntária, podemos chamar esta condição de estrabismo.

2.2. Redes neurais convolucionais

As redes neurais convolucionais foram originalmente projetadas para solucionar o desafio de reconhecer dígitos manuscritos (Fukushima, 1980, Lecon, 1989). Trata-se de uma arquitetura de rede neural artificial onde há processos convolucionais conectados às camadas da rede. Os processos convolucionais podem ocorrer em N dimensões e podem ser compreendidos como sendo multiplicações de matrizes. Os valores de entrada do modelo formam a matriz de N dimensões que será multiplicada por N matrizes denominadas kernels ou filtros. Os filtros utilizados em redes convolucionais são comumente análogos àqueles relacionados a processos de computação gráfica como realce de contornos, aumento de contrastes, entre outros. Os filtros são responsáveis por discretizar diferentes aspectos de uma entrada. Realizar um processo convolucional em uma imagem, por exemplo, é equivalente a passar um detector de características visuais (filtro) local pela imagem e registrar todos os locais na imagem em que a característica visual estava presente. A saída desse processo é um mapa de todos os locais na imagem em que a característica relevante ocorreu. Por esse motivo, a saída de um processo de convolução é também conhecida como mapa de características (Kelleher, 2019, pp.159). As características discretizadas pelos filtros se tornam os valores utilizados como entrada para a camada de uma rede neural artificial (Goodfellow et al., 2016, pp.322). A Figura 1 apresenta um exemplo de arquitetura de uma rede convolucional simples para reconhecimento de gatos e cachorros em imagens. Além da camada Conv2D, processo convolucional já descrito, temos BatchNormalization, MaxPooling2D, Flatten, Dense. BatchNormalization, camada responsável pela normalização de valores - geralmente os valores passam a ser estabelecidos no intervalo de 0 a 1.0. MaxPooling2D é a camada que realiza agrupamentos de características. O agrupamento é feito com o propósito de aumentar a velocidade de treinamento da rede e dar maior semântica às características encontradas. Em uma rede treinada, os valores correspondentes aos pixels da imagem pertencentes à região da orelha de um cachorro, por exemplo, provavelmente serão agrupados em grupos próximos ou estando em um só grupo que corresponde a conjunção de todas essas informações. Portanto há uma redução do tamanho do mapa de características dado que essas são agrupadas, em vez de serem tratadas individualmente, o que torna a rede mais performática no que diz respeito ao seu treinamento. Flatten é uma camada adaptativa que é responsável pela serialização

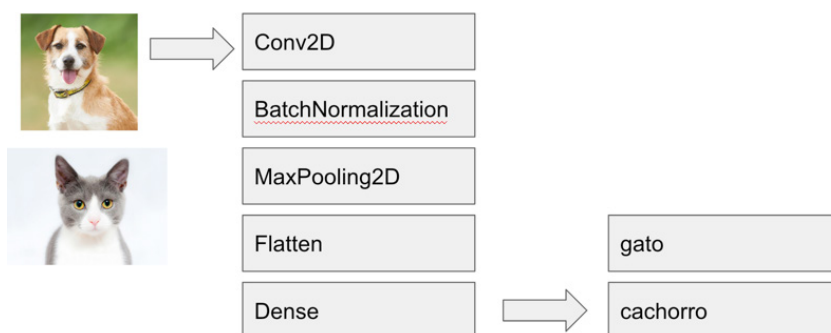


Figura 1 – Exemplo da arquitetura de uma rede convolucional.

(ou achatamento) dos seus valores de entrada, os valores de saída desta camada estão prontos para serem computados em uma camada densa (completamente conectada). Densa é uma camada densa, cujos neurônios estão completamente conectados.

2.3. Redes neurais convolucionais

As redes adversárias generativas (GAN), propostas em (Goodfellow et al., 2014), são fundamentadas em uma arquitetura com o propósito de construir modelos generativos, que, por sua vez, são modelos que tentam aprender a distribuição dos dados (ou, modelar o processo que gerou os dados) (Kelleher, 2019, p.234). As GAN são constituídas por uma estrutura que contém em duas redes neurais que aprendem juntas por meio da competição mútua. Existe a rede D que cumpre o papel do discriminador, responsável por identificar se um objeto em particular faz parte de uma classe específica: um classificador binário. E existe também a rede G, que é o gerador, responsável por fornecer uma entrada feita de valores aleatórios que formam um objeto que será então avaliado pela rede D (Goodfellow et al., 2014, pp.1). A dinâmica entre redes é a mesma que em um jogo Minimax de dois jogadores, onde a rede geradora procura gerar objetos cada vez mais difíceis de distinguir pela rede discriminadora. Com dificuldade crescente, a rede discriminadora aprimora cada iteração de objetos de classificação, decidindo se eles pertencem ou não a uma classe específica (Goodfellow et al., 2014, pp.1). O modelo gerador pode ser pensado como análogo a uma equipe de falsificadores, tentando produzir moeda falsa e usá-la sem serem descobertos, enquanto o modelo discriminador é análogo à polícia, tentando detectar a moeda falsa. A competição neste jogo impulsiona ambas as equipes aprimorarem seus métodos até que as falsificações sejam indistinguíveis das originais (Goodfellow et al., 2014, p.1). As Redes Adversárias Generativas Convolucionais Profundas (DCGAN) são um uso prolongado do GAN (Radford et al., 2015), construindo suas redes neurais em uma arquitetura de aprendizado profundo; mais especificamente: redes convolucionais

3. Trabalhos correlatos

Os trabalhos correlatos que relacionam o uso da computação com o Estrabismo são:

- Em (Abrahamsson et al., 1986), é utilizado fotorrefração para obter a detecção de estrabismo de ângulo pequeno.
- Em (Loudon et al., 2011) é utilizado o scanner de visão pediátrica para realizar a detecção de estrabismo.
- Em (De Almeida et al., 2012) há aplicação de uma câmera digital e o teste de Hirschberg para identificar estrabismo.
- Em (Valente et al., 2017) existe a abordagem da realização de detecção de estrabismo em vídeos digitais através do cover test.
- Em (Chen et al., 2018) é usado um sistema de rastreamento ocular e redes neurais convolucionais para detectar estrabismo.
- Em (Lu et al., 2018) é apresentado um sistema de detecção automático de estrabismo para uso em telemedicina.
- Em (Santos & Silveira, 2020) é explorado a geração de imagens da região dos olhos de pacientes estrábicos usando redes neurais generativas.

Relacionado aos trabalhos correlatos que visam gerar dados sintéticos para medicina:

(Frid-Adar et al., 2018), usam imagens sintéticas geradas com GAN para aumentar a performance de redes neurais convolucionais que classificam imagens médicas de diferentes tipos de lesões hepáticas. No domínio da biomedicina (Calimeri et al., 2017) exploram os potenciais de data augmentation com o uso de GAN.

4. Metodologia

Nesta secção são explorados os aspectos metodológicos da pesquisa, assim como a natureza e a estrutura dos dados que nestas foram utilizados.

4.1. Base de dados

No experimento realizado neste artigo, cujo propósito é elaborar um modelo capaz de gerar imagens sintéticas fotorrealistas, é utilizada uma base de dados que contém 296 (duzentas e noventa e seis) imagens. Trata-se de uma composição da base SID v2 (De Almeida et al., 2015) combinadas com imagens da região dos olhos extraídas de fotografias encontradas na base Eye Diseases (Eye, 2020). Todas as imagens foram redimensionadas para o tamanho de 112 (cento e doze) pixels de largura. Cada imagem fica com aproximadamente 42 (quarenta e dois) pixels de altura, uma vez que é utilizado apenas o recorte da região dos olhos. Porém, fora aplicado nesta implementação a técnica de zerofill (preenchimento de pixels cujo o valor é o (zero) para completar a imagem), desse modo cada instância da base, quando está pronta para ser utilizada pelo modelo, possui um aspecto quadrado de 112 (cento e doze) por 112 (cento e doze) pixels. Cada imagem da base possui 3 (três) canais para cores (vermelho, verde, azul), cada canal com 128 (cento e vinte oitos) bits de comprimento. Há o aumento do número de objetos presentes na base de dados com um procedimento que duplica cada imagem da base e aplica um espelhamento horizontal em cada uma das cópias. Portanto, a base de dados passa a conter 592 (quinhentos e noventa e dois) objetos. A Figura 2 apresenta um exemplo de objeto da base de dados utilizada.

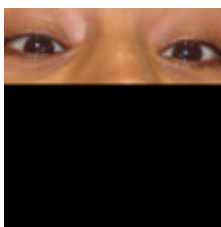


Figura 2 – Exemplo de uma imagem que pertence à base de dados utilizada.

Para a avaliação do potencial aumento de performance gerado pelo uso de imagens sintéticas da região dos olhos de pessoas com estrabismo em modelos de aprendizagem de máquina supervisionada, fez-se necessário coletar uma base de dados de imagens de pessoas não estrábicas. Este estudo utiliza a base Celebrities Images (Cel, 2020).

Trata-se de uma coleção com cerca de 100.000 (cem mil) imagens de faces de celebridades de todo o mundo. Todas as imagens estão em formato 128 x 128 (cento e vinte e oito por cento e vinte e oito) pixels. Foram selecionadas manualmente 296 (duzentos e noventa e seis) imagens de pessoas que não apresentavam - ao julgamento dos autores desta pesquisa - estrabismo aparente. Todas as imagens foram recortadas e redimensionadas para se adequarem à porção de imagens de pessoas com estrabismo.

4.2.Arquitetura e descrição do modelo DCGAN

O modelo generativo que é proposto neste estudo é baseado na arquitetura de aprendizagem profunda DCGAN Deep Convolutional Generative Adversarial Networks (Radford et al., 2015). A implementação da arquitetura fundamental para o modelo proposto neste trabalho, baseia-se na implementação de (Keras-GAN, 2020). As principais adaptações aplicadas dizem respeito sobretudo ao redimensionamento das redes neurais profundas em virtude de suportarem os objetos da base de dados que está disponível para este estudo, novas camadas foram adicionadas às redes geradora e discriminadora. Os parâmetros das camadas foram definidos de acordo com ensaios realizados no sentido de comparar a qualidade das imagens geradas. A rede neural profunda geradora tem sua arquitetura apresentada na Tabela 1. Por sua vez, a rede neural profunda discriminadora é apresentada na Tabela 2.

Tipo de Camada	Parâmetros
Fully Connected ANN	6.272 units, ativação = 'relu', entrada (Z) = 100
Reshape	formato = (7, 7, 128)
Up Sampling 2D	Redimensiona o formato para 14x14
Convolutional Neural Network 2D	units = 256, tamanho do kernel = (3,3)
Batch Normalization	momentum = 0.8
Activation	'relu'
Up Sampling 2D	Redimensiona para o formato 28x28
Convolutional Neural Network 2d	units = 512, tamanho do kernel = (3,3)
Batch Normalization	momentum = 0.8
Activation	'relu'
Up Sampling 2D	Redimensiona para o formato 56x56
Convolutional Neural Network 2D	units = 102, tamanho do kernel = (3,3)
Batch Normalization	momentum = 0.8
Activation	'relu'
Up Sampling 2D	Redimensiona para o formato 112x112
Convolutional Neural Network 2D	units = 3, tamanho do kernel = (3,3)
Activation	'tanh'

Tabela 1 – Camadas da rede profunda geradora.

Observação: Tanto a rede geradora, quanto a rede discriminadora são modelos sequenciais, logo, são descritas sequencialmente, da primeira à última camada.

Tipo de Camada	Parâmetros
<i>Convolutional Neural Network 2D</i>	units = 64, kernel = (3,3), striders = 2, entrada = (112,112,3)
<i>Activation</i>	'leaky relu', alpha = 0.2
<i>Dropout</i>	valor = 0.25
<i>Convolutional Neural Network 2D</i>	units = 128, tamanho do kernel = (3,3), striders = 2
<i>Zero Padding</i>	((0, 1), (0, 1))
<i>Batch Normalization</i>	momentum = 0.8
<i>Activation</i>	'leaky relu', alpha = 0.2
<i>Dropout</i>	valor = 0.25
<i>Convolutional Neural Network 2D</i>	units = 256, tamanho do kernel = (3,3), striders = 2
<i>Batch Normalization</i>	momentum = 0.8
<i>Activation</i>	'leaky relu', alpha = 0.2
<i>Dropout</i>	valor = 0.25
<i>Convolutional Neural Network 2D</i>	units = 512, tamanho do kernel = (3,3), striders = 2
<i>Batch Normalization</i>	momentum = 0.8
<i>Activation</i>	'leaky relu', alpha = 0.2
<i>Dropout</i>	valor = 0.25
<i>Flatten</i>	<sem parâmetro>
<i>Fully Connected ANN</i>	units = 1, activation = 'sigmoid'

Tabela 2 – Camadas da rede profunda discriminadora.

Tanto para a rede neural profunda geradora quanto para a rede neural profunda discriminadora: a função de perda (loss) é entropia cruzada (Loss, 2020), o otimizador é Adam (Opt, 2020) e a métrica é a acurácia (Metrics, 2020). Para a implementação, foi utilizado a linguagem de programação Python (Python, 2020) em sua versão 3.6. As arquiteturas de aprendizagem profunda foram construídas utilizando o framework Keras (Keras, 2020) em sua versão 2.2.0. Como 'backend' para o Keras, foi utilizado o Tensorflow (Tensorflow, 2020) em sua versão GPU 1.10.0.

4.3. Classificador binário

Para esta pesquisa foi desenvolvido um modelo simples, um classificador binário para classificar imagens entre duas classes: estrabismo, sem estrabismo aparente. Trata-se apenas de um modelo para que seja possível experimentar o potencial do uso de imagens sintéticas de estrabismo como fator que possa aumentar sua performance. A Tabela 3 descreve cada camada - de forma sequencial - deste modelo classificador.

Tipo de Camada	Parâmetros
<i>Convolutional Neural Network 2D</i>	units = 64, kernel = (3,3), entrada = (112,112,3)
<i>Activation</i>	'relu'
<i>Batch Normalization</i>	<sem parâmetro>

Tipo de Camada	Parâmetros
Max Pooling 2D	pool = (2,2)
Convolutional Neural Network 2D	units = 64, kernel = (3,3)
Batch Normalization	<sem parâmetro>
Max Pooling 2D	pool = (2,2)
Flatten	<sem parâmetro>
Fully Connected ANN	units = 128, activation = 'relu'
Dropout	valor = 0.2
Fully Connected ANN	units = 128, activation = 'relu'
Dropout	valor = 0.2
Fully Connected ANN	units = 1, activation = 'sigmoid'

Tabela 3 – Camadas da rede profunda (classificador binário).

Do mesmo modo que ocorre com as redes que formam a arquitetura DCGAN, o modelo classificador é sequencial, sua função de perda (loss) é entropia cruzada (Loss, 2020), o otimizador é Adam (Opt, 2020) e a métrica é a acurácia (Metrics, 2020).

5. Resultados

O modelo DCGAN foi treinado ao longo de 3000 (três mil) épocas, com o batch size definido em 128 (cento e vinte e oito). Foi utilizado um computador com um processador Intel i7 7700, uma placa de vídeo GeForce GTX 1080ti, com 8GB de memória RAM e 1TB de capacidade de armazenamento em disco. O treinamento levou aproximadamente 50 (cinquenta) minutos. Por volta da época 2500 (dois mil e quinhentos), o modelo alcançou uma acurácia de 50%. Nesse ponto de equilíbrio, o discriminador não é mais capaz de reconhecer com precisão o que é uma imagem gerada pelo gerador e o que é uma imagem pertencente ao conjunto de treinamento. Na época 3000 (três mil), a perda (loss) do gerador foi de 16,118, a perda do discriminador foi de 8,059 e a precisão foi de 50,00%. A Figura 3 mostra seis imagens geradas pelo método proposto neste estudo.



Figura 3 – Exemplo de imagens geradas pelo modelo gerador.

Com as imagens da região dos olhos de pessoas com estrabismo geradas pelo modelo proposto, foram realizados experimentos no sentido de aumentar a base de dados de um modelo classificador adicionando imagens sintéticas. Como resultado desta prática verifica-se ganhos de acurácia e queda na função de perda (loss). A Figura 4 apresenta os resultados relacionado à métrica acurácia. A Figura 5, por sua vez, apresenta os resultados obtidos em relação à queda dos valores da função de perda (loss).

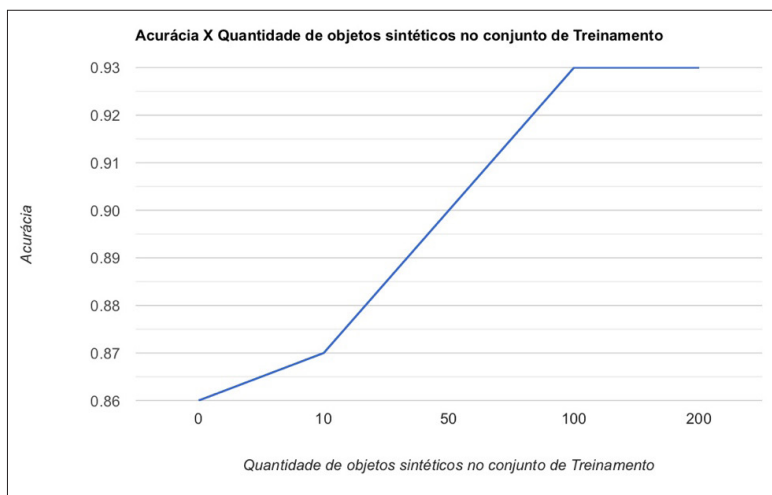


Figura 4 – Gráfico que relaciona a acurácia com a quantidade de imagens sintéticas injetadas no conjunto de Treinamento do Classificador.

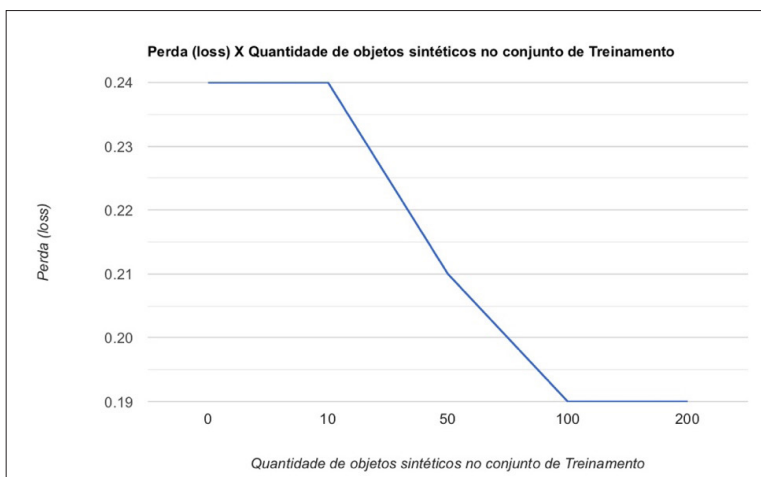


Figura 5 – Gráfico que relaciona o valor da função de perda (loss) com a quantidade de imagens sintéticas injetadas no conjunto de Treinamento do Classificador.1.

O classificador que utilizamos para esse experimento fora treinado com o batch size = 400 (quatrocentos), ao longo de 5 (cinco) épocas. Utilizamos validação cruzada com 10 (dez) k-pastas. As bases de dados foram compostas por duas classes: estrabismo, sem estrabismo aparente. Inicialmente a distribuição das classes na base de dados é uniforme, cada classe possui exatamente 592 (quinhentos e noventa e duas) imagens. Gradualmente inserimos objetos sintéticos apenas pertencentes à classe estrabismo. Verificamos que quando aumentamos a base com 100 (cem) objetos sintéticos, atingimos o melhor desempenho paramétrico, com acurácia em 0.93 e função de perda (loss) em 0.19, caracterizando assim um ganho de 7% (sete por cento) na métrica da acurácia e cerca de 0.05 no valor da função de perda (loss).

6. Agradecimento especial

Os pesquisadores autores deste estudo têm muito a agradecer ao Dr. Ronaldo Barcellos, cirurgião, especialista em estrabismo, professor da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, por todo suporte a pesquisa. Sem seu apoio, este estudo não teria sido realizado.

7. Conclusão

A abordagem de gerar imagens da região ocular de pessoas com estrabismo mostrou-se eficaz, no sentido de que as imagens geradas realmente possuem uma qualidade que pode ser entendida como imagens fotorrealistas. Além da síntese de dados, pode ser confirmado através deste estudo que as imagens sintéticas fotorrealistas geradas com método proposto neste estudo são artifícios importantes no tocante ao ganho de performance de modelos pré-existentes. Obteve-se um ganho de 7% na métrica de acurácia, assim como uma queda de 0.05 no valor da função de perda (loss) do modelo de classificação (detector de estrabismo) elaborado em experimento. Em trabalhos futuros os autores pretendem explorar hipóteses para o aumento da performance em relação a capacidade do discriminador da arquitetura DCGAN em reconhecer simetrias, imagens do olho esquerdo pouco compatíveis com o olho direito ainda podem ocorrer entre as imagens geradas (aspecto raramente presente em humanos).

Referências

- Abrahamsson, M., Fabian, G., and Sjöstrand, J. (1986). Photorefraction: a useful tool to detect small angle strabismus. *Acta ophthalmologica*, 64(1):101–104.
- Calimeri, F., Marzullo, A., Stamile, C., and Terracina, G. (2017). Biomedical data augmentation using generative adversarial neural networks. In *International conference on artificial neural networks*. Springer.
- Cel (2020). Celebrities images | kaggle. <https://www.kaggle.com/greg115/celebrities-100k>. (Acessado em 15/02/2020).
- Chen, Z., Fu, H., Lo, W.-L., and Chi, Z. (2018). Strabismus recognition using eye-tracking data and convolutional neural networks. *Journal of healthcare engineering*, 2018.

- De Almeida, J. D. S., Silva, A. C., De Paiva, A. C., and Teixeira, J. A. M. (2012). Computational methodology for automatic detection of strabismus in digital images through hirschberg test. *Computers in biology and medicine*, 42(1):135–146.
- De Almeida, J. D. S., Silva, A. C., Teixeira, J. A. M., Paiva, A. C., and Gattass, M. (2015). Computeraided methodology for syndromic strabismus diagnosis. *Journal of digital imaging*, 28(4):462–473.
- Eye (2020)). Eye disease dataset | kaggle. <https://www.kaggle.com/kondwani/eye-disease-dataset>. (Acessado em 20/02/2020).
- Frid-Adar, M., Diamant, I., Klang, E., Amitai, M., Goldberger, J., and Greenspan, H. (2018). Gan-based synthetic medical image augmentation for increased cnn performance in liver lesion classification. *Neurocomputing*, 321:321–331.
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological cybernetics*, 36(4):193–202.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., and Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. In *Advances in neural information processing systems*, pages 2672–2680.
- Kelleher, J. D. (2019). *Deep Learning*. MIT press.
- Keras, (2020). Home - keras documentation. <https://keras.io/>. (Acessado em 27/01/2020).
- Keras-GAN (2020). Keras-gan/dcgan.py at master · eriklindernoren/keras-gan. <https://github.com/eriklindernoren/Keras-GAN/blob/master/dcgan/dcgan.py>. (Acessado em 27/01/2020).
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., and Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, 1(4):541–551.
- Loss. (2020). Losses - keras documentation. <https://keras.io/losses/>. (Acessado em 27/01/2020).
- Loudon, S. E., Rook, C. A., Nassif, D. S., Piskun, N. V., and Hunter, D. G. (2011). Rapid, high-accuracy detection of strabismus and amblyopia using the pediatric vision scanner. *Investigative ophthalmology & visual science*, 52(8):5043–5048.
- Lu, J., Fan, Z., Zheng, C., Feng, J., Huang, L., Li, W., and Goodman, E. D. (2018). Automated strabismus detection for telemedicine applications. *arXiv preprint arXiv:1809.02940*, page 2.
- Metrics. (2020). Metrics - keras documentation. <https://keras.io/metrics/>. (Acessado em 27/01/2020).
- Opt, (2020). Optimizers - keras documentation. <https://keras.io/optimizers/>. (Acessado em 27/01/2020).

- Prieto-Díaz, J., Souza-Dias, C., et al. (2005). Estrabismo. Ediciones científicas argentinas Buenos Aires.
- Python. (2020). Python.org. <https://www.python.org/>. (Acessado em 27/01/2020).
- Radford, A., Metz, L., and Chintala, S. (2015). Unsupervised re- presentation learning with deep convolutional generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1511.06434.
- Santos, J. S., Silveira, I. F. (in-press). Generating photorealistic images of people's eyes with strabismus using Deep Convolutional Generative Adversarial Networks,
- Tensorflow. (2020). Tensorflow. <https://www.tensorflow.org/>. (Acessado em 27/01/2020).
- Valente, T. L. A., de Almeida, J. D. S., Silva, A. C., Teixeira, J. A. M., and Gattass, M. (2017). Automatic diagnosis of strabismus in digital videos through cover test. Computer methods and programs in biomedicine, 140:295–305.

Asistente de voz autónomo: un soporte de adherencia a tratamientos médicos

Elizabeth Vidal¹, Jefry Acuña², Danny Rosas², Eveling Castro¹

evidad@unsa.edu.pe; jacunam@ulasalle.edu.pe; drosas@ulasalle.edu.pe; ecastro@unsa.edu.pe

¹ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

² Universidad La Salle, Arequipa Perú.

Pages: 105–113

Resumen: La poca adherencia a los tratamientos médicos es reconocido como un problema con diferentes aristas a nivel mundial. El no seguir el tratamiento puede complicar la situación actual del paciente o extender el periodo de recuperación del paciente lo que implica gastos adicionales tanto para el paciente o para el gobierno cuando se refiere a salud pública. Muchos son los factores que inciden en este problema y también son muchas las estrategias, siendo una de ellas el apoyo de la familia quien vele por que se cumpla el tratamiento. Hoy en día existen en el mercado asistentes de voz especializados con funcionalidades clínicas, pero de alto costo. Bajo este contexto este trabajo muestra la etapa inicial de un Asistente de Voz Autónomo de bajo costo que brinde recordatorios automáticos a los pacientes sobre el tratamiento médico a seguir: nombre de medicamento, horario y cantidad. Nuestra propuesta hace uso de Google Home Mini y Raspberry Pi 3. La primera etapa de nuestro trabajo demuestra la factibilidad de la programación del dispositivo y el funcionamiento autónomo.

Palabras-clave: asistente de voz; Google Home Mini; recordatorio; medicina.

Autonomous Voice Assistant: a support for adherence to medical treatments

Abstract: The low adherence to medical treatments is recognized as a problem with different edges worldwide. Failure to follow the treatment extends the patient's recovery period which implies additional expenses for both the patient or the government when it refers to public health. There are many factors that influence this problem and there are also many strategies, one of them being the support of the family that ensures that the treatment is fulfilled. Today there are specialized voice assistants in the market with specialized clinical features but high cost. In this context, this work shows the initial stage of a low-cost Automated Voice Assistant that provides automatic reminders to patients about their medical treatment: name of medication, schedule and quantity. Our proposal makes use of Google Home Mini and Raspberry Pi 3. The first stage of our work demonstrates the feasibility of device programming and autonomous operation.

Keywords: voice assistant, Google Home Mini, reminders, medicine.

1. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define “adherencia terapéutica” como el grado en que el comportamiento de una persona: el tomar el medicamento, seguir un régimen alimentario y ejecutar cambios del modo de vida; se corresponde con las recomendaciones dadas por el prestador de salud (Ortega et al., 2018). En un informe de la OMS (OMS, 2003) se expone que los problemas relacionados con el incumplimiento del tratamiento se observan en todas las situaciones en las que éste tiene que ser administrado por el propio paciente, independientemente del tipo de enfermedad. Asimismo, resalta que el incumplimiento del tratamiento es la principal causa de que no se obtengan todos los beneficios que los medicamentos pueden proporcionar a los pacientes y aumenta la probabilidad de aparición de resistencia a los fármacos y desperdicia recursos asistenciales.

La falta de adherencia a los tratamientos médicos es reconocida como un problema común y costoso. En la investigación de (Marcum, Sevik & Handler, 2015) se expone que entre el 30% y 50% de los adultos en los Estados Unidos no siguen los tratamientos médicos a largo plazo lo que lleva a un estimado de US\$ 100 billones en costos anuales. Bosworth (Bosworth et al., 2011) explica que las estrategias que permitirían un mejor cumplimiento del tratamiento médico por parte de los pacientes son complejas e incluyen una combinación de cuidado, información, recordatorios, auto disciplina, orientaciones, terapia familiar, seguimiento telefónico entre otras.

Siguiendo esta línea, el área Medicina Personalizada (MP), una de las principales prioridades de la Unión Europea (UE). MP es entendida como un modelo médico para diseñar a medida la estrategia terapéutica que mejor convenga a la persona en un momento dado. La MP se relaciona con el concepto más amplio de atención centrada en el paciente que tiene en cuenta que en general los sistemas de salud necesitan responder mejor a sus necesidades (Eulac-Permed, 2019).

En los últimos años los asistentes de voz se han establecido en los hogares a un ritmo acelerado. Los asistentes de voz son agentes de software que pueden interpretar el habla humana y responder vía sintetizadores de voz. Hoy en día se encuentran como parte de los teléfonos inteligentes, o como dispositivos dedicados. De acuerdo a un estudio de ventas de Amazon y Google, principales proveedores de dispositivos de asistentes de voz con Alexa y Google Home, en el 2015 habían 1.1 millones y se espera que existan 15.1 millones para el 2020, lo que hace un incremento anual del 54.74% (Watkins, 2016).

Bajo este contexto nuestro trabajo muestra la etapa inicial de un Asistente de Voz programado para funcionar de manera autónoma y personalizada que brinde recordatorios automáticos a los pacientes sobre el tratamiento médico recibido: nombre de medicamento, horario y cantidad. Nuestra propuesta hace uso de Google Home Mini y Raspberry Pi 3. *Nuestro trabajo describe cómo expandir las funcionalidades de Google Home Mini para que el paciente reciba notificaciones para cada prescripción hasta en tres ocasiones: 30 minutos antes, 10 minutos antes y justo en el momento que le toca tomar el tratamiento.*

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera, la sección II describe algunos trabajos relacionados. La sección III describe los principales conceptos. La sección IV describe la propuesta y las pruebas iniciales. Finalmente se muestran las conclusiones.

2. Trabajos relacionados

En el campo médico existen diversos trabajos especializados que hacen uso de asistentes de voz así por ejemplo CardioCube que es un asistente de voz que se ejecuta sobre el Alexa siendo su objetivo principal comunicarle al paciente su condición cardiaca, registrar citas y gestionar su registro médico (CardioCube, 2020). CardioCube tiene la característica de ser inicializado con un comando de voz “Computadora abrir CardioCube” el cual permite iniciar la interacción con las funcionalidades del dispositivo (Jadczyk et al., 2019). PilloHealth es un dispositivo que gestiona la entrega y reposición de medicinas del paciente. PilloHealth también brinda respuestas a preguntas relacionadas a la salud (Pillohealth, 2020).

El trabajo de Dojchinovski, Ilievski y Gusev presenta el uso de los asistentes de voz de Amazon y Google para el cuidado de la salud del corazón y hace sugerencias, programa citas y hace recordatorios de las acciones que debe realizar el paciente de acuerdo a la prescripción (Dojchinovski, Ilievski y Gusev, 2019). Este trabajo es una prueba de concepto de cuatro funcionalidades que hace uso tanto de Google Home como de Alexa y se comunica con servicios web. Este desarrollo también necesita que el paciente inicie la comunicación con una palabra clave.

Dado que nuestro contexto es un país en vías de desarrollo, hemos optado por una propuesta de bajo costo la cual está basada en la versión Mini de Google Home. Así mismo nuestra propuesta busca el funcionamiento autónomo del asistente de voz.

3. Background

3.1. Asistente de voz

Los Asistentes de Voz (AV) son agentes de software que pueden interpretar el habla humana y responder vía sintetizadores de voz. Actualmente son parte de los teléfonos inteligentes o son equipos dedicados. Solamente cuando el dispositivo detecta una palabra clave inicial, el dispositivo inicia a grabar y enviar mensajes de audio para su análisis. El audio es transformado en texto, haciendo el texto una estructura que es reconocida por la máquina y determina la mejor manera de responder para la interacción. Los AV han estado ya en el mercado por un largo tiempo siendo los más conocidos Alexa de Amazon, Cortana de Microsoft y Google Home. Entre ellos hay características comunes y consideraciones de privacidad y seguridad (Hoy, 2018).

3.2. Google Home

El asistente de voz de Google permite la comunicación con el usuario a través de comando de voz. Es capaz de buscar en línea, configurar recordatorios entre otras cosas

(Moore, 2017). Está presente en dos versiones: Google Home y Google Home Mini (GHM). Nuestro trabajo hace uso de la versión Mini (Figura 1a).



Figura 1 – Asistentes de Voz de Google.

El API de Google Home está dividido en dos categorías: (a) Acciones de Conversación: que permiten al desarrollador completar los requerimientos del usuario a través de la programación del Sistema el tener mediante el manejo de interacciones. (b) Acciones directas: que están actualmente en desarrollo para los desarrolladores. Una de las características más útiles de Google Home es su habilidad de conectarse con otras aplicaciones y herramientas que nos permiten crear comandos personalizados para una variedad de tareas que pueden ser integradas en Google Home. Para iniciar la interacción con el dispositivo el usuario deber decir la frase clave “Ok Google” y luego indicar la pregunta o acción que desea que se realice (Google, 2020).

Detras de Google Home hay un concepto importante: “Google Actions”. Esto consiste de tres componentes: (a) El Intento: que describe la necesidad u objetivo de lo que el usuario quiere lograr a través del asistente. Cada intento tiene su propio identificador y es reconocido por un comando de traducción habla-a-texto del usuario. (b) La Acción: que puede servir a diversos intentos específicos de usuario. Hay dos tipos de acciones: “Smart home Actions” que se utilizan para controlar dispositivos IoT y “Acciones Conversacionales” que pueden tener una variedad de aplicaciones. Finalmente, (c) cada acción tiene su propio código que es utilizado para manejar el Intento y el proceso de consulta del usuario (Google, 2020).

4. Metodología

4.1. Descripción

El trabajo realizado es de tipo exploratorio dado que se busca ampliar la capacidad de Google Home Mini para que funcione de forma autónoma, esto es sin la necesidad de que el paciente inicie su funcionamiento con la frase clave “OK Google”. Se propone su uso como un asistente que envíe recordatorios para que el paciente pueda adherirse al tratamiento médico en lo referido a la toma de medicinas. Los pacientes recibirán la

información de la medicina que le toca tomar: nombre, hora y cantidad. El paciente recibirá hasta tres notificaciones por cada medicina: 30 minutos antes, 10 minutos antes y en el momento preciso. Si bien es cierto que Google Home Mini tiene una funcionalidad de recordatorio, el detalle y adecuación propuesta debe ser programada para que se haga de forma autónoma. Para ello se hace uso de Raspberry Pi 3.

4.2.Arquitectura

Como se muestra en la Figura 2 el primer componente de la arquitectura es la receta/ prescripción médica. La información respecto al nombre de la medicina, horarios y cantidad serán programados en el Raspberry Pi 3. Esta programación será lo que establezca los recordatorios. En el comportamiento normal del Google Home Mini el usuario es quien inicia la comunicación con el dispositivo a través de la frase “Ok Google” seguido del requerimiento. Nuestro objetivo es que Google Home Mini inicie la comunicación de forma autónoma enviándole al paciente recordatorios sobre qué medicina le toca tomar y a qué hora.

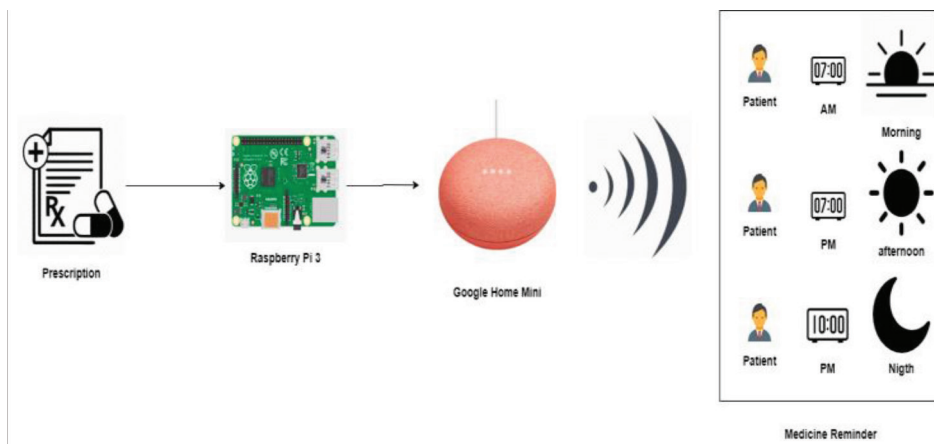


Figura 2 – Arquitectura del Sistema. La prescripción será programada en el Raspberry Pi 3 que se conecta con GHM para enviar los recordatorios al paciente.

4.3.Implementación

La Figura 3 muestra el código parcial. El código recibe dos parámetros de entrada, uno es la dirección IP del Google Home Mini (línea 12) y el otro es el pre procesamiento de la receta, puesta en un archivo excel (línea 18).

La implementación hizo uso del Sistema Operativo NOOBS (New Out of the Box Software) para Raspberry PI. Fue necesario el uso de (a) Servidor Apache, utilizado para grabar los audios de los recordatorios y luego ser enviados a la memoria cache del Google Home Mini (línea 99). (b) Python 3, como lenguaje de programación. Se hizo uso de la extensión “pip install” para agregar la librería “pychromecast” importante para que se pueda utilizar el Raspberry Pi en un tipo de chromecast (línea 2).

Inicialmente hemos hecho uso de una receta manual (Figura 4) la cual fue transcrita a un archivo excel (líneas 20 a 24). La lectura del archivo excel es el primer paso de acuerdo a la arquitectura (línea 18) a partir de la lectura se hace una carga en un array para cada tipo, según la cabecera (líneas 26 a 28) esta parte es muy importante porque se puede tener varios pacientes y cada uno de ellos con sus respectivos medicamentos y horarios. A continuación, haciendo uso de listas se realiza la carga de cada una de los medicamentos prescritos con sus horarios (línea 30) para esto se hace uso de un agrupador zip, para después poder agrupar los medicamentos que se toman en la mañana, en la tarde y por último en la noche (líneas 32 a 42). Como se puede ver el horario no es exacto y depende mucho de la calidad de vida de los pacientes por eso los médicos generalmente ponen tomar en la mañana, tarde y noche; pero no se define una hora específica por eso, se propuso una hora de alerta aproximada específica para el paciente (líneas 46 a 48), para esto se utiliza una librería time para poder obtener la hora actual y poder hacer operaciones con nuestras horas aproximadas (líneas 52 a 62), es cierto que al tener una lista de medicamentos la respuesta automática del Google Home Mini debe ser coherente con la cantidad, para eso son las operaciones que se menciona anteriormente. Finalmente se muestra la programación de los recordatorios y acceso a los audios a ser reproducidos por Google Home Mini (líneas 98 a 121).

```

1  import sys
2  import pychromecast
3  import os
4  import os.path
5  from gtts import gTTS
6  import time
7  import hashlib
8  import pandas as pd
9  import numpy as np
10
11  #creamos dos variables de entrada
12  ip=sys.argv[1]; #Establece la ip del Google Home Ejm: 192.168.0.32
13  #/antes/#
14
15  #say=sys.argv[2]; #Establece el texto a reproducir Ejemplo: "Falta media hora para tomar pandadol"
16
17  #/cambio/#
18  recetaData = pd.read_excel("recetaMedicana.xls")
19
20  #Ejemplo de excel
21  #|Paciente |Pastillas |Tiempo | Hora
22  #| Jorge | parasetamol | m-n |
23  # | amoxicilida | t-n |
24  # | sertralina | m-t-n |
25
26  patientName = recetaData['Paciente']
27  pildoras = np.array(recetaData['Pastillas'])
28  tiempo = np.array(recetaData['Tiempo'])
29
30  horasAprox = zip(pildoras,tiempo)
31
32  pilManana = []
33  pilTarde = []
34  pilNoche = {}
35
36  for pil, tim in horasAprox:
37      if (tim.split('-') == 'm'):
38          pilManana.append(pil)
39      elif (tim.split('-') == 't'):
40          pilTarde.append(pil)
41      elif (tim.split('-') == 'n'):
42          pilNoche.append(pil)
43
44  import time as tm
45
46  alertTimeManana = tm('8:00:00')
47  alertTimeTarde = tm('14:00:00')
48  alertTimeNoche = tm('20:00:00')
49
50  now = datetime.now().time()
51
52  if (now < alertTimeManana):
53      if(len(pilManana) == 1):
54          say = "Buenos dias", patientName, "no te olvides de tomar tu pastilla", pilManana
55      else:
56          say = []
57          says = "Buenos dias", patientName, "no te olvides de tomar tu pastillas"
58          say.append(says)
59          for pil in pilManana:
60              say.append(pil,"")

```

```

97 #Guardamos los audios en cache para reutilizarlos
98 try:
99     os.mkdir("/var/www/html/mp3_cache/")
100 except:
101     pass
102
103 if not os.path.isfile("/var/www/html/mp3_cache/"+fname):
104     tts = gTTS(say, lang='en')
105     tts.save("/var/www/html/mp3_cache/"+fname)
106
107 mc = castdevice.media_controller
108 mc.play_media("http://"+local_ip+"/mp3_cache/"+fname, "audio/mp3")
109 mc.block_until_active()
110 mc.pause() #pone el audio en pausa y después..
111 time.sleep(1)
112
113 castdevice.set_volume(vol_prec) #se establece el volumen predeterminado
114 time.sleep(0.2)
115 mc.play() #finalmente se reproduce
116
117 while not mc.status.player_is_idle:
118     time.sleep(0.5)
119 mc.stop()
120
121 castdevice.quit_app()

```

Figura 3 – Código Parcial Python programación Raspberry Pi - recordatorios autónomos de voz.

4.4.Pruebas iniciales

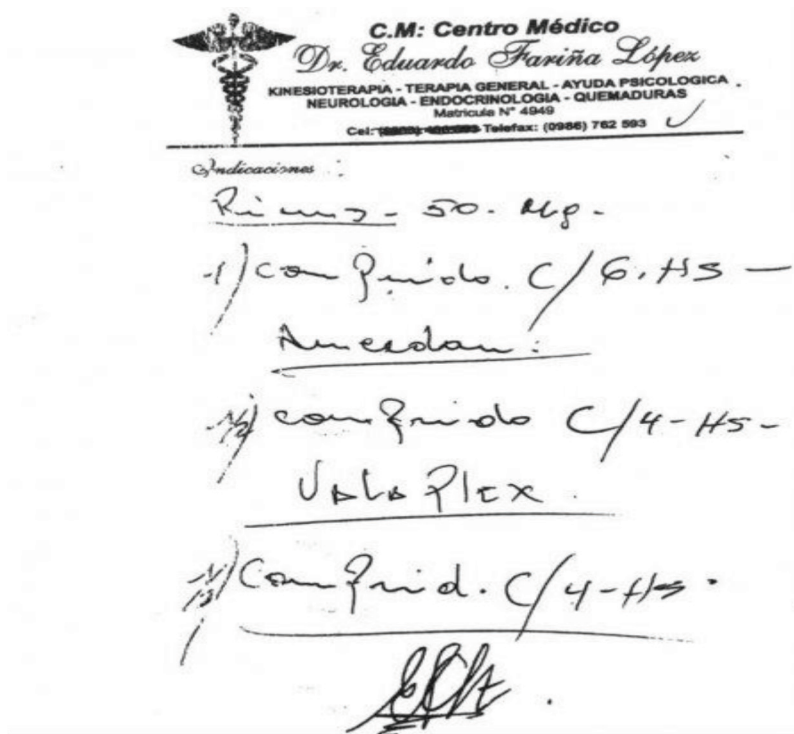


Figura 4 – Receta Médica escrita a mano en consulta privada que consta de tres medicinas.

De la revisión de la literatura hemos encontrado muchas aplicaciones que se encargan del cuidado de la salud y realizan interacciones con el paciente, pero todas ellas necesitan que el paciente inicie la comunicación para lograr la respuesta del dispositivo. Nuestro trabajo busca que el paciente reciba el recordatorio sin ese requisito previo. En la Figura 4 se muestra la receta médica utilizada para la programación. Se pueden identificar los nombres de las medicinas, la cantidad y la frecuencia. Para el caso de prueba programado se hizo uso de la tableta de Clonazepam que debe ser tomada cada cuatro horas. Para este ejemplo se puso como hora de inicio las 8 am. Se puede observar los resultados de las pruebas en el video disponible en YouTube (Prueba, 2020). El video muestra las tres notificaciones para la misma medicina. Test 1: GHM notifica al paciente treinta minutos antes de la hora (7:30 am). Test 2: GHM notifica al paciente diez minutos antes (7:50 am) y Test 3: GHM notifica al paciente 8 am, hora exacta en la que debe tomar la medicina.

4.5. Resultados iniciales y discusión

Si bien en este trabajo se busca demostrar la factibilidad de la programación del dispositivo y el funcionamiento autónomo del Google Home Mini, el uso de hojas electrónicas para transcribir la receta y la programación en Raspberry Pi 3 complicarían a los usuarios no técnicos no solo por la falta de experiencia en programación sino por la dificultad que muchas veces implica el leer diferentes tipos de escritura. Lo ideal es obtener los datos de los historiales clínicos de los pacientes registrados en un sistema informático. Dicha integración podría generar un archivo de texto con la información necesaria para la programación del Google Home Mini.

5. Conclusiones

De las pruebas realizadas hemos podido comprobar la factibilidad de la programación de Google Home Mini a través de Raspberry Pi3 para lograr su funcionamiento autónomo para el envío de las notificaciones. Al hacer uso de programación es posible configurar las horas, nombres de medicinas, y hasta el tipo de mensaje que se quiere dar. Así mismo es posible configurar la cantidad de recordatorio que se quiere recibir. En esta primera etapa se hizo uso de una receta manual la cuál fue luego traducida a una hoja excel. Es posible obviar este paso si se tuviera acceso a un Sistema médico que genera las recetas y poder convertirlo a un archivo “.txt” o “.csv”. La programación permite también realizar la programación para más de un paciente.

Referencias

- Bosworth, H. B., Granger, B. B., Mendys, P., Brindis, R., Burkholder, R., Czajkowski, S. M., & Kimmel, S. E. (2011). Medication adherence: a call for action. *American heart journal*, 162(3), 412-424
- Cardiocrube (2020). Recuperado de <https://cardiocrube.com/>

- Dojchinovski, D.; Ilievski A. and Gusev, M. (2019). Interactive home healthcare system with integrated voice assistant. In Proc IEEE 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) pp. 284-288, May 2019
- Eulac-Permed (2019) <http://www.eulac-permed.eu/index.php/es/inicio/>
- Hoy, M. B. (2018). Alexa, Siri, Cortana, and more: an introduction to voice assistants. *Medical reference services quarterly*, 37(1), 81-88
- Google (2020). Actions on Google. Recuperado de <https://developers.google.com/actions/>
- Jadczyk, T., Kiwic, O., Khandwalla, R. M., Grabowski, K., Rudawski, S., Magaczewski, P., & Henry, T. D. (2019). Feasibility of a voice-enabled automated platform for medical data collection: CardioCube. *International journal of medical informatics*, 129, 388-393
- Marcum, Z. A., Sevick, M. A., & Handler, S. M. (2013). Medication nonadherence: a diagnosable and treatable medical condition. *Jama*, 309(20), 2105-2106
- Moore, C. (2007) "The Most Useful Skills for Google Home." *Digital Trends*. Recuperado de <https://www.digitaltrends.com/home/google-home-most-useful-skills/>
- Organización Mundial de la Salud (2003). El incumplimiento del tratamiento prescrito para las enfermedades crónicas es un problema mundial de gran envergadura. Recuperado de <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2003/pr54/es/>
- Ortega, J. J., Sánchez, D., Rodríguez Miranda, Ó. A., & Ortega Legaspi, J. M. (2018). Adherencia terapéutica: un problema de atención médica. *Acta médica Grupo Ángeles*, 16(3), 226-232.
- Pillohealth (2020). Recuperado de <https://pillohealth.com/>
- Pruebas (2020). Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=SRdbS6YMJas>
- Watkins, D. (2016) "Strategy analytics: Amazon, google to ship nearly 3 million digital voice assistant devices in 2017," <https://news.strategyanalytics.com/press-release/intelligent-home/strategy-analytics-amazon-google-ship-nearly-3-million-digital-voice>

Implementación de un guante como interfaz hombre computador para personas con discapacidad motriz

Santiago Criollo-C¹, Jean Andres García¹, Ángel Jaramillo-Alcázar¹

luis.criollo@udla.edu.ec; jean.garcia@udla.edu.ec; angel.jaramillo@udla.edu.ec

¹ Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, Universidad de Las Américas, 170124, Quito, Ecuador.

Pages: 114–126

Resumen: Los gestos o movimientos que pueden realizar las manos pueden ser el control para hacer muchas tareas, como mover un robot, escribir texto en una pantalla, etc. Estas características pueden ser aprovechadas, y junto con la tecnología, se puede ayudar a personas con algún tipo de discapacidad. Este trabajo presenta el diseño y construcción de un guante equipado con un sensor de flexión en cada dedo para realizar diferentes funciones. Estos eventos emiten una alerta sonora que se reproduce en un sistema de audio. El sistema de gestión almacena todos los eventos en una base de datos. Los resultados son muy alentadores y muestran que el prototipo puede ser utilizado para el monitoreo de personas con algún tipo de discapacidad motriz.

Palabras clave: base de datos; discapacidad; guante electrónico; sensores flexibles.

Implementation of a glove as a computer man interface for people with motor disabilities

Abstract: The gestures or movements that the hands can perform can be the control to do many tasks, such as moving a robot, writing text on a screen, etc. These features can be exploited, and together with technology, people with some type of disability can be helped. This work presents the design and construction of a glove equipped with a flexion sensor on each finger to perform different functions. These events emit an audible alert that is played on an audio system. The management system stores all events in a database. The results obtained are very encouraging and show that the prototype can be used for the control and monitoring of people with some type of motor disability.

Keywords: database; disability; electronic glove; flexible sensors.

1. Introducción

En los últimos años, los avances tecnológicos han ido de la mano con las comunicaciones inalámbricas, por lo que se han descubierto nuevas formas de ver y entender nuestro entorno (Darsa, 1991). Actualmente, la comunicación entre los seres humanos es muy

variada, por ejemplo, las personas con algún tipo de discapacidad quieren ser parte de grupos sociales y el principal reto que enfrentan es la comunicación con las demás personas (Sengupta, Mallick, & Das, 2019). Impulsar la igualdad de oportunidades para todos y la inclusión social de las personas con discapacidad es una preocupación de las sociedades modernas en general y un tema clave en los objetivos de desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (ONU, 2015).

Los gestos o movimientos que se pueden realizar las manos pueden traducirse para hacer muchas tareas, como mover un robot de un lugar a otro, escribir texto en una pantalla LCD, apagar/encender equipos, etc. (Gupta, Singh, Pandey, & Solanki, 2015). Un guante electrónico es un dispositivo equipado con sensores para detectar la posición de las manos y el movimiento de cada uno de los dedos. Los sensores que se pueden usar para detectar tales movimientos incluyen sensores flexibles, acelerómetros o cámaras (Basjaruddin, Sutjiredjeki, & Caesar Akbar, 2019). Esta tecnología de guantes electrónicos se puede utilizar para ayudar a mejorar estilo de vida de las personas que tienen algún tipo de discapacidad (Ganeson, Ambar, & Jamil, 2017). Varios elementos se juntan para permitir que, mediante el movimiento de una parte de su cuerpo, una persona con discapacidad pueda realizar varias tareas. Una de las más importantes y es la base de este trabajo es la comunicación con otras personas (Kudo, Oshima, Arizono, Hayashi, & Moromugi, 2014).

2. Revisión de literatura

En el trabajo *Design And Development Of A Low Cost Electronic Hand Glove For Deaf And Blind* (Gupta et al., 2015) se muestran alternativas de guantes de mano útiles para distintas tareas con el uso de varios elementos como: sensores, flexómetros, acelerómetros, etc. Ejemplos de estos son los siguientes:

- *Digital data entry glove*: Utiliza sensores táctiles y de proximidad para detectar que el pulgar toca otra parte de la mano, sensores *Knuckle Bend* para dedos y sensores inerciales en la muñeca para detectar la torsión de la mano.
- *Data Glove Z-Glove*: Utiliza varios sensores (5 a 15) hechos de tubos flexibles con un detector en un extremo para detectar rayos directos y reflejados y una fuente de luz.
- *Pinch Glove*: tiene contactos eléctricos en los dedos y el pulgar. Se realizan diferentes combinaciones completando un camino conductivo cuando dos o más de los contactos eléctricos se encuentran.
- *Space Glove*: Utiliza sensores que miden la flexión de las articulaciones metatarsófalangicas.
- *5DT Data Glove*: La flexión de la mano está determinada por los sensores de fibra óptica.
- Gupta detalla también el primer guante que utilizó sensores, fotocélulas y una fuente de luz. Fue el desarrollado por Thomas Defanti y Daniel Sandin en el año 1977 y su nombre es *Sayre Glove*.

El prototipo de guante desarrollado en este trabajo es un modelo equipado con 5 sensores de flexión que detectan la curvatura de cada dedo. Estos sensores se conectan al microcontrolador ATMEGA y este a su vez a la placa LOLIN v3. Se procesa la información

mediante una programación adecuada, para ello se incluyen diferentes librerías útiles para el manejo de los sensores y las alertas sonoras. Una vez procesada la información, la placa LOLIN v3 envía los datos al servidor de gestión vía WIFI, el cual está configurado en una computadora. La información enviada se almacena en una base de datos que se encuentra alojada en el servidor de gestión, este cuenta con una interfaz gráfica donde se podrá visualizar la información de los eventos emitidos.

3. Una breve visión de la discapacidad en Ecuador.

En Ecuador, el número de personas con discapacidad física es del 46% según el consejo nacional la igualdad de discapacidades (CONADIS). Esto se traduce en un total de 209.681 personas con un rango de edad de entre 30 y 65 años (CONADIS, 2019). La figura 1 muestra los porcentajes de algunas discapacidades que se encuentran en el país. Cada una de ellas presenta retos distintos en el día a día a la persona que la padece, pero sin duda una de las problemáticas más comunes, sobre todo a personas afectadas con discapacidades asociadas al desplazamiento, es la de la interacción del individuo con la sociedad.

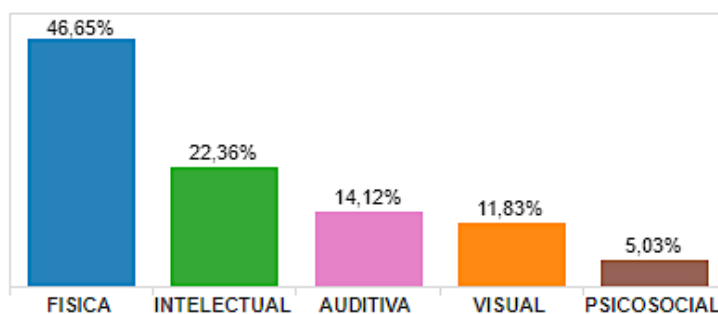


Figura 1 – Porcentajes de discapacidades en el Ecuador (CONADIS,2019).

Según la UNESCO, la inclusión es un enfoque que responde positivamente a la diversidad de las personas y a las diferencias individuales, entendiendo que la diversidad no es un problema, sino una oportunidad para el enriquecimiento de la sociedad. Esta oportunidad se refleja a través de la activa participación en la vida familiar, en la educación, en el trabajo y en general en todos los procesos sociales, culturales y en las comunidades (UNESCO, 2019). La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la discapacidad como un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive. El término engloba los problemas que afectan a una estructura o función corporal, a las limitaciones en la actividad y a las restricciones en la participación que estos conllevan (OMS, 2019).

La OMS indica también que el 15% del total de la población sufre una discapacidad física. Entre estas, muchas son causadas por la edad, accidentes, genética, etc. Teniendo en consideración que todos somos propensos a sufrir accidentes ya sea por propia culpa o de terceras personas, podemos afirmar que cualquier persona puede adquirir una discapacidad, temporal o permanente. Eso hará que su estilo de vida

cambie drásticamente sobre todo porque surge la necesidad de dependencia ya sea de cuidado o ayuda (Leeb et al., 2015). Por todo lo mencionado anteriormente nace la idea de ayudar a cubrir estas necesidades utilizando la tecnología para asistencia ante necesidades básicas del cuidado personal en personas con discapacidad física o motriz temporal o permanente.

3.1. Discapacidad motriz

Se define así a la limitación permanente o transitoria que tiene una persona para realizar actividades propias de la vida cotidiana (WHO, 2019). Existen varios problemas que enfrenta una persona con discapacidad motriz, por ejemplo, movimientos incontrolados, dificultades de coordinación, alcance limitado, fuerza reducida, dificultad con la motricidad fina y gruesa, mala accesibilidad al medio físico. Esto implica adecuar tanto el espacio físico como el ambiente en el que se desarrolla la persona, esto con el fin de otorgar un mejor estilo de vida (Machado Neto et al., 2016).

3.2. Clasificación de las discapacidades Motrices

Existe un sin número de discapacidades motrices, entre ellas a destacar y como más importantes, tenemos:

- **Daño cerebral: Daño cerebral adquirido y parálisis cerebral.**

La parálisis cerebral se trata de una afectación crónica originada durante el desarrollo cerebral del feto o el bebé. Produce graves efectos en la motricidad, tales como la rigidez, agitación, convulsiones o incluso una parálisis completa de la musculatura (WHO, 2019).

- **Daños en la médula espinal: Lesión en la médula espinal y Espina Bífida**

La espina bífida es una formación incompleta de la espina dorsal en el útero. Aunque el rango de síntomas es variable, en los casos graves puede conllevar discapacidades físicas como parálisis en las piernas (WHO, 2019).

- **Daños en la musculatura: Distrofias musculares progresivas**

La miopatía es una enfermedad genética que genera debilidad y degeneración en los músculos durante el movimiento, estos trastornos varían de acuerdo a la edad, nivel de gravedad y los músculos que se ven afectados (WHO, 2019).

Teniendo en cuenta todos los factores y problemas que acarrearán las discapacidades, este proyecto se enfoca a personas que mantengan movimiento mínimo en los dedos de la mano. El funcionamiento del prototipo depende de una mano con cierto nivel de movilidad para realizar acciones que serán traducidas en sonoras y se almacenarán en una base de datos para el análisis de usuarios.

4. Metodología

Para la construcción del guante electrónico se utilizó la metodología experimental. La tabla 1 muestra cada uno de los requerimientos necesarios para la construcción del prototipo.

Requerimiento	Descripción
Monitoreo	Descripción de las actividades que realiza el paciente e historial de alertas.
Alertas	Indica la actividad necesaria del paciente
Movilidad	Desplazamiento en diferentes ambientes, con la limitante de la red wifi.
Comunicación	Interacción entre el paciente y la persona encargada de su cuidado.
Adaptabilidad	Capacidad para operar en cualquier ambiente enfocado a las discapacidades.
Activación	Activación con movimiento de los dedos de la mano.
Funcionalidad	Puede estar operativo las 24 horas del día con un espacio de recarga de 30 minutos.

Tabla 1 – Requerimientos del prototipo.

4.1. Módulos del sistema

Los cinco sensores flexibles están conectados al microcontrolador ATMEGA y este a su vez a la placa LOLIN v3, conformando el primer módulo el cual se encarga de emitir los eventos para que estos sean procesados. En el segundo modulo se procesa la información mediante una programación adecuada, para ello se incluyen diferentes librerías útiles para el manejo de los sensores y las alertas sonoras. Una vez procesada la información, la placa LOLIN envía los datos vía WIFI al servidor de gestión que está configurado en una computadora, conformando así el módulo tres. El cuarto modulo hace referencia a la base de datos, que se encuentra alojada en el servidor de gestión. Esta cuenta con una interfaz gráfica donde se podrá visualizar la información de los eventos emitidos.

4.2. Conexión de componentes del prototipo

Los dispositivos están conectados de la siguiente manera:

- Los sensores se conectan a los puertos ADC del módulo ATMEGA.
- El módulo ATMEGA se enlaza al NodeMCU LOLIN v3 mediante el puerto digital.
- La placa LOLIN v3, al tener integrado el módulo ESP8266 tiene la capacidad de conectarse a una red inalámbrica, permitiendo la conexión al servidor de gestión, quien a su vez se enlaza a la base de datos, que se aloja en un computador, para almacenar la información adquirida.
- El sistema de gestión almacena y procesa cada evento enviado por los sensores flexibles, estos eventos son procesados para emitir una alerta sonora dependiendo el dedo al cual este enlazado el sensor
- El circuito es energizado con una batería recargable de 3,7 voltios con un sistema de carga directa sin tener la necesidad de desmontar el guante y con un led indicador cuando la batería esta próxima a agotarse.

4.3. Configuraciones de software

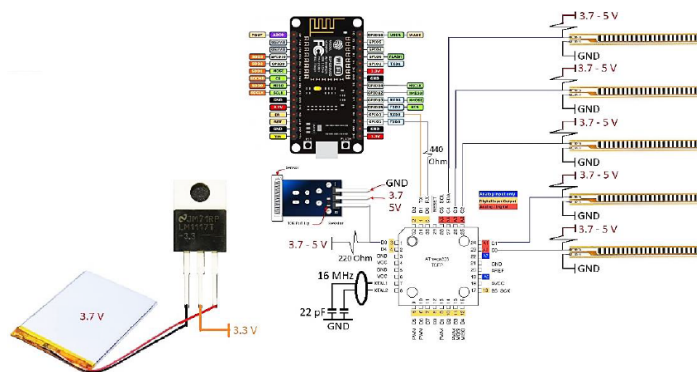


Figura 2 – Diagrama de conexión de componentes.

4.3.1. Arduino IDE

El primer paso, es descargar el IDE desde el sitio oficial de Arduino, el cual es gratuito, se lo puede descargar del siguiente link:

<https://www.arduino.cc/en/main/software>

La instalación es muy sencilla de realizar, una vez descargado el ejecutable, se extrae el archivo y se instala siguiendo los pasos del *wizard*. Cumpliendo con los pasos de instalación, se genera automáticamente un acceso directo del *IDE* de Arduino en el escritorio.

A continuación, se procede a la configuración del módulo LOLIN v3 el cual permite el envío y control de eventos del guante, de forma inalámbrica. Previo al desarrollo se crea una secuencia de pasos a seguir:

Emisión de eventos:

- Ingresar datos a la red (Nombre, contraseña, puerto).
- Establecer la conexión. (Inicio o fin del Programa).
- Lectura de los sensores.
- Activación sensor 1 (Pulgar), si, enviar evento A, activar alerta sonora.
- Activación sensor 2 (Índice), si, enviar evento B, activar alerta sonora.
- Activación sensor 3 (Medio), si, enviar evento C, activar alerta sonora.
- Activación sensor 4 (Anular), si, enviar evento D, activar alerta sonora.
- Activación sensor 5 (Meñique), si, enviar evento E, activar alerta sonora.

La aplicación donde se procesa los eventos se localiza en el servidor de gestión. Este fue desarrollado utilizando en Visual Studio 2017.

4.3.2. Visual Studio Community

La instalación de Visual Studio es sencilla, sin embargo, demanda, cierta cantidad de tiempo. Para ello se tiene que dirigir al siguiente link:

<https://visualstudio.microsoft.com/es/downloads/>.

Con la herramienta instalada correctamente se diseña la forma con las diferentes interfaces a ser utilizadas en el proyecto, como se indica en la figura 3. La pestaña principal, consta de los datos de conexión y los botones que permiten iniciar y finalizar, la ejecución del sistema. La pestaña principal también incluye el reproductor de audio que permite la ejecución de archivos mp3, para las alertas correspondientes de los eventos emitidos por los sensores flexibles.

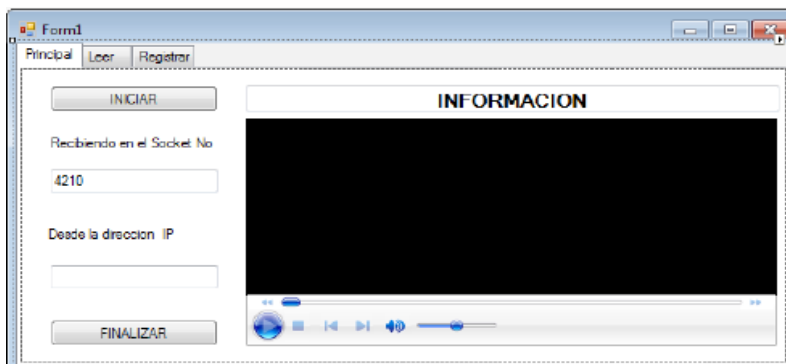


Figura 3 – Ventana principal del sistema de gestión.

La siguiente pestaña denominada "leer", muestra un historial de registros creados en la base de datos, en la cual se almacenan diferentes campos como, nombre del evento, fecha y hora de cada proceso.

4.3.3. Base de datos MySQL

El almacenamiento de la información, tanto de registro de usuarios, como de eventos emitidos por los sensores se almacenan en la base de datos. Para la instalación, se debe iniciar como modo administrador y seguir los pasos de la instalación a lo largo del proceso. Con los módulos y el motor de base de datos instalados correctamente, se prosigue a configurarla. Los datos para almacenar son pocos, así que la versión estándar es considerada adecuada para este proceso. Debido a esto se crean roles y cuentas de usuario para su correcta administración.

En la primera ventana, se configura el usuario administrador. Este que tiene acceso total a la base de datos, por lo que se debe establecer una contraseña segura, próximo a esto se crea un usuario, el cual va a ser encargado del monitoreo. Cumpliendo los pasos como se indica

la configuración queda finalizada. Para ingresar a la interfaz gráfica de la base de datos, es necesario ingresar una contraseña de usuario administrador. Como último paso, se agrega la interfaz gráfica para que la administración de la base de datos sea eficiente y fácil de usar. Se añade el componente de *workbecht*, interfaz similar a las anteriores, donde solo se debe seguir los pasos de instalación y descargar los módulos necesarios de ser el caso.

4.4. Construcción del guante electrónico

El primer paso es el montaje de los dispositivos electrónicos, los cuales están soldados a una placa de 5cm de largo, 5 cm de ancho y 2 cm de espesor. Dando un peso total de 70 gramos, incluyendo el peso del guante. La batería utilizada tiene un peso aproximado de 20 gramos, es recargable y su tamaño es adecuado para la estación en la caja de protección de los dispositivos. Por los resultados obtenidos en otros proyectos (Basjaruddin et al., 2019) se determina que el guante debe tener ciertas características para que el funcionamiento de los sensores flexibles sea correcto. Por ello, se utilizó un guante de motocross, donde su textura es más rígida y su peso es menor. Al ser guantes usados para un deporte que conlleva una alta exigencia, tiene protecciones en los cada uno de los dedos. Estas protecciones son aprovechadas para la instalación adecuada de los sensores con el menor daño posible.

Con la placa completa, se construye una caja protectora. Esta contendrá los diferentes dispositivos aislados de golpes o posibles accidentes que causen daño en el prototipo. Para adherir los sensores a cada dedo se utiliza silicón e hilo nylon, evitando así que los sensores no sufran daño. La caja contenedora, al ser la parte más pesada del prototipo y más importante, está sujeta con una mayor resistencia. Para lograr esta resistencia se utiliza de la misma forma silicón y un ajuste con hilo nylon garantizando su firmeza.

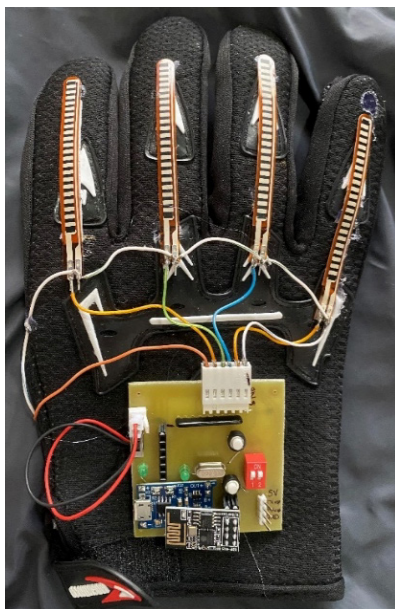


Figura 4 – Guante electrónico.

Cada parte del guante está instalada y sujeta de tal forma que no sufra ningún daño. Esto debido a que las personas con discapacidad motriz muchas ocasiones presentan movimientos bruscos, que pueden afectar con el funcionamiento (Kim, Lee, Koh, & Chang, 2011). También es importante indicar que cada elemento electrónico del guante esté adherida, de tal forma, que si falla pueda ser reemplazado fácilmente. Todas estas características las podemos observar en la figura 4. El sistema de audio, encargado de emitir las alertas en el hogar está conformado por 6 parlantes de 20 watts que estarán distribuidos en las diferentes áreas del hogar con el fin de cubrir la mayor área posible.

5. Resultados

Para evidenciar el correcto funcionamiento del prototipo se realiza una tabla de valoración que verifica cada uno de los eventos registrados desde las diferentes áreas del hogar. Los datos son ingresados en la tabla 3 con un porcentaje. Los resultados obtenidos muestran que las áreas que presentan irregularidades son: cocina, dormitorios y baño. Esto se debe a varios factores que desencadenan en la distancia, características del área y a la infraestructura de las paredes del hogar.

Área	Descripción
Gestión	Ubicación del servidor de gestión, se encuentra junto al punto de red.
Sala – comedor	Área más concurrida de la vivienda, misma que es utilizada por personas residentes o visitas del hogar.
Cocina	Área donde se realizan los alimentos, un área restringida para la persona con discapacidad.
Dormitorios	Área donde descansan las personas de la vivienda. Es la segunda área más concurrida por la persona con discapacidad.
Baño	Área donde los residentes realizan sus actividades de aseo.
Bodega	Área donde se almacenan materiales de uso no concurrido.

Tabla 2 – Descripción de áreas de la vivienda.

Las pruebas no presentan afectación ya que las áreas donde hay irregularidades, son áreas donde la persona no tiene acceso a solas. Terminadas las pruebas de la primera etapa, se obtiene un promedio de funcionamiento que se muestra en la tabla3.

Área de prueba	Distancia en metros	Total
Sala-comedor	1.5	100%
Cocina	6.0	80%
Dormitorio 1	3.0	100%
Dormitorio 2	9.5	100%
Baño	8.0	93.33%
Bodega	3.5	100%

Tabla 3 – Porcentaje de envío de eventos.

El envío de los eventos, en las diferentes áreas con conexión fue exitoso en el 100% de los casos. Para verificar que los eventos se hayan almacenado correctamente, se ingresa a la interfaz gráfica de *MySQL*, aquí se realiza una consulta directa a la tabla en la cual se almacenan los eventos. Se muestra el resultado de la consulta, validando que los eventos se almacenan correctamente. Los eventos registran el nombre del evento, la fecha y la hora en la que se realizó el envío. Se verifica que el sistema de gestión funciona correctamente, ya que cumple con los requisitos previos del prototipo. El audio alerta es reproducido en la aplicación correctamente. La conexión a la base de datos es exitosa, así como se muestra el historial de eventos registrados. Todas estas pruebas se pueden evidenciar en las figuras 5 y 6.

Para esta etapa de prueba es necesario aclarar que la duración de la batería depende de varios factores. Las pruebas descritas son un aproximado de autonomía y duración de carga. Para la validación de la respectiva carga, se hace uso de un multímetro. Mismo ayuda a medir el voltaje que tiene la batería.



Figura 5 – Resultado de Sistema de audio en la aplicación.

The screenshot shows the same 'Form1' window, but the 'Leer' tab is active. It contains a button 'LEER' at the top left. Below it is a table with 4 columns: 'ITEM', 'EVENTO', 'FECHA', and 'HORA'. The table contains 7 rows of data. To the right of the table is a large grey rectangular area, likely a placeholder for a chart or additional data.

ITEM	EVENTO	FECHA	HORA
203	Evento Calor	27/11/2019	18:27:21
204	Evento Sed	27/11/2019	18:34:27
205	Evento Sed	27/11/2019	18:34:55
206	Evento Sed	27/11/2019	18:35:04
207	Evento Frio	6/1/2020	13:20:02
208	Evento Frio	6/1/2020	13:20:48
209	Evento Calor	6/1/2020	13:20:56

Figura 6 – Resultado de Sistema de Gestión.

La batería cuenta con una autonomía aproximada de 12 horas, por lo que es recomendable adquirir dos baterías. Ya que el tiempo de carga total es de 2 horas aproximadamente. Después de realizar varias pruebas con diferentes cargas y descargas de la batería,

se evidencia que no existen alteraciones en el funcionamiento de los sensores, ni del guante en general. Al termino de las pruebas realizadas al prototipo, se verifica que la efectividad esta el 92%, esto debido a la respuesta y accionar de cada uno de los eventos. La diferencia del 8% restante, se debe al no funcionamiento o dificultad de accionar los sensores.

6. Análisis y discusión

Las pruebas indican que el funcionamiento del prototipo está al 92%, teniendo una cobertura total de las diferentes áreas a las que la persona con discapacidad accede autónomamente. Cabe mencionar que el alcance es mayor, ya que la distancia máxima de cobertura depende del modem y de la señal WIFI, llegando a cubrir fácilmente de 5 a 7 metros fuera del hogar.

El sistema de gestión al igual cumple con los requisitos planteados teniendo un tiempo de respuesta aceptable en la reproducción de las alertas para que la persona que este al cuidado pueda asistir a la persona con discapacidad. Además, es un dispositivo que puede ser construido con un bajo presupuesto. Los costos de cada uno de los materiales de puede evidenciar en la tabla4.

Material	Cantidad	Valor	Sub total
Sensor Flex	5	12	60
Atmega 328	1	7.99	7.99
Modulo wifi	1	6.50	6.50
Cargador TP4056	1	7.00	7.00
Bateria 3,7 v	1	10.60	10.60
Guante	1	5.25	5.25
Otros	-	-	8.75
TOTAL			106.09

Tabla 4 – Costo de materiales en dólares (USD).

De tal manera la implementación del sistema es una opción viable para las familias que tengan una persona con algún tipo de discapacidad. Si a esto se le añade un monitoreo con cámaras IP, el resultado de comunicación y monitoreo sería mucho mejor. Esto se puede ver reflejado como una mejora de la autonomía de la persona y la calidad de vida. Gracias a esta iniciativa la persona discapacitada va a poder desempeñar actividades por si sola y cuando necesite una ayuda, activara las respectivas alertas.

7. Conclusiones

En el ecuador el 46% del total de personas con discapacidad, tienen una discapacidad motriz. Por el mismo hecho el enfoque principal del proyecto estaba dirigido hacia esas personas. Sin embargo, a lo largo de la construcción y de la realización de las pruebas se puede concluir que el sistema también brinda beneficios a otras discapacidades como:

visual y del habla. Esto debido a que los audios que emite cada uno de los eventos, son variables y configurables según la necesidad de la persona.

De acuerdo, a las necesidades previstas en la investigación, el material del guante debe ser liviano, de tela para que no genere molestia o cansancio en la persona. El prototipo debe ser de fácil uso y que genere las alertas en tiempo real para que la persona que este al cuidado cubra la necesidad a tiempo y se eviten accidentes.

El prototipo cumple con todos los requerimientos necesarios para las personas con discapacidad. Tiene un peso ligero y se mueve con facilidad. Sin embargo, existe una limitante y es que, al depender de una red WIFI, nos limita su alcance. Este factor es determinante para el funcionamiento. Los sensores flexibles cumplen muy bien su funcionamiento en el envío de las alertas, pero se recomienda ver otro tipo de tecnología y es que al momento de activar los eventos individualmente presenta cierto grado de dificultad para activar los sensores y mayormente en el dedo meñique.

Se recomienda estudiar una alternativa para la comunicación ya que la red WIFI permite alcances relativamente pequeños. Se podría implementar un módulo GSM en donde el guante no solo se conecte a una red WIFI, sino que también tenga acceso una red de datos. Esto mejoraría significativamente el alcance del proyecto. Además, se puede optar por cambiar el sistema de gestión de manera local a uno que este en la nube. Allí los eventos se puedan almacenar en una base de datos desde cualquier ubicación con conexión a la red.

Referencias

- Basjaruddin, N. C., Sutjiredjeki, E., & Caesar Akbar, H. W. (2019). Developing an electronic glove based on fuzzy logic for mobile robot control. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(2), 1639–1645. <https://doi.org/10.3233/JIFS-18968>
- CONADIS. (2019). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Retrieved from <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Darsa, S. (1991). Engineering And Technology Management in Developing Countries. In IEEE (Ed.), *Technology Management : the New International Language* (p. 848).
- Ganeson, S., Ambar, R., & Jamil, M. M. A. (2017). Design of a low-cost instrumented glove for hand rehabilitation monitoring system. *Conference on Control System, Computing and Engineering*.
- Gupta, D., Singh, P., Pandey, K., & Solanki, J. (2015). Design and development of a low cost electronic hand glove for deaf and blind. *Conference on Computing for Sustainable Global Development*.
- Kim, Y., Lee, J., Koh, Y., & Chang, N. (2011). Bluetooth wireless handset for people with severe motor disabilities: Capstone design project for rehabilitation technology. *Conference on Microelectronic Systems Education*.
- Kudo, S., Oshima, K., Arizono, M., Hayashi, Y., & Moromugi, S. (2014). Electric-powered glove for CCI patients to extend their upper-extremity function. *International Symposium on System Integration*.

- Leeb, R., Tonin, L., Rohm, M., Desideri, L., Carlson, T., & Millán, J. D. R. (2015). Towards independence: A BCI telepresence robot for people with severe motor disabilities. *Proceedings of the IEEE*, 103(6), 969–982. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2419736>
- Machado Neto, O. J., Peracini, A. P. P., Da Cunha, B. C. R., Rocha, A. L. C., Elui, V. M. C., Castro, P. C., & Pimentel, M. D. G. C. (2016). An architecture for creating mobile assistive products: A case study on posture monitoring of people with motor disability. *IET Conference Publications*, 2016(4). <https://doi.org/10.1049/ic.2016.0055>
- OMS. (2019). OMS _ Disabilities. Retrieved from <https://www.who.int/topics/disabilities/es/>
- ONU. (2015). United Nations Sustainable Development. Retrieved from <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>
- Sengupta, A., Mallick, T., & Das, A. (2019). A Cost Effective Design and Implementation of Arduino Based Sign Language Interpreter. *Conferrence Devices for Integrated Circuit*.
- UNESCO. (2019). UNESCO. Retrieved from <https://es.unesco.org/themes/inclusion-educacion>
- WHO. (2019). World Health Organization (WHO). Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

Novus Spem, 3D printing of upper limb prosthesis and geolocation mobile application

Joe Llerena-Izquierdo¹, Melissa Barberan-Vizueta¹, Jéssica Chela-Criollo¹

jlllerena@ups.edu.ec; mbarberan@ups.edu.ec; jchela@est.ups.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 127–140

Abstract: This paper presents the design and construction of an upper limb prosthesis prototype, Novus Spem, created using 3D printing considering the following factors: time needed for elaboration, the use of materials that facilitate the prosthesis manufacturing and durability, functionality for tasks such as gripping and holding objects and the incorporation of computational components adapted for a geolocation monitoring experience. The durability of the prosthesis is considered, especially accounting for high-temperature spaces, and the design includes an anti-flammable coating according to established standards. A mobile application is also developed as a complementary part of the prosthesis to improve user safety, using Arduino to identify the prosthesis's location and position at low cost. The investigation also includes the results of the analysis of the following aspects: improved quality of life, functionality, improved physical appearance, emotional wellness, and satisfaction. The mobile application and results can be found in the following website: <https://github.com/MelissaBarberan/NOVUS-SPEM>.

Keywords: 3D prostheses; functional orthosis; mobile applications.

1. Introduction

Efforts to improve the quality of life, the performance, feelings and sensations of people with disabilities represents one of the greatest concerns for doctors and researchers around the world (Moulic *et al.*, 2019), (Hurst, 2019). For people with physical disabilities of the upper extremity, the design of a prosthesis that allows him or her to replace the lost functional tasks is one of the interaction factors that affect their perception towards him or herself and that influence the recovery of health, physical, psychological and social well-being (Alkhatib, Mahdi and Cabibihan, 2019), (Wong, Asnaghi and Leung, 2019), (Cuellar *et al.*, 2019).

A disability is diagnosed when an individual does not have the ability to perform interaction activities by his own means (body functionality). When classifying a disability factors such as context, space, and environment, as well as personal factors that prevent the individual from participating properly in the activity are also included (see Fig. 1).

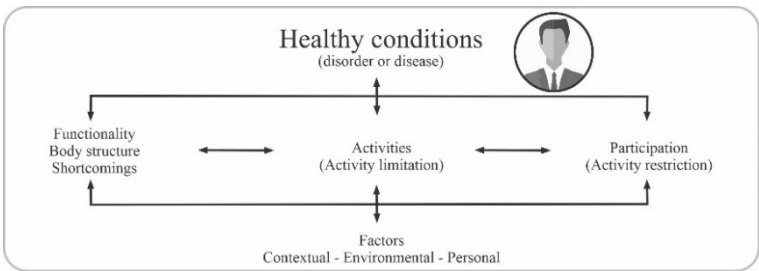


Figure 1 – Interactions¹, components from the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF).

In Latin America, specifically in Ecuador, the World Health Organization has determined that 1,636,800 people have some sort of disability (‘WHO | World report on disability’, 2019). Of these, 46,62% have physical disabilities (see Fig. 2). According to the United Nations, in its Disability and Development Report, 2018, pp 54, “in Ecuador, Mexico and Panama, the largest gaps can be identified”, with regards to the number of years spent at school between persons with disabilities, who spent fewer years, and people without disabilities (UN-ESCAP, 2018). Wellbeing and quality of life are severely affected by the following problematic national contexts: education, labor market, mobility, medical assistance, general ignorance regarding disabilities, and the lack of legislation to protect citizens with disabilities.

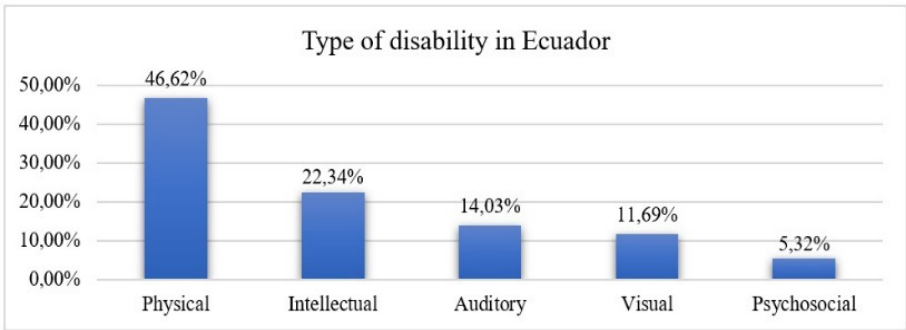


Figure 2 – Percentage of disabilities by type in Ecuador, Conadis².

In Ecuador at least fifteen thousand people require a new prosthesis due to the continuous wear and tear of their current prosthesis. Prices range from \$5,000 to \$8,000 dollars, depending on the type of amputation the patient has, as well as the prosthesis material and required functionality.

¹ Taken from <https://www.imsero.es/InterPresent2/groups/imsero/documents/binario/435cif.pdf>, p. 29.

² Available at <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad>.

The Ecuadorian national government, via the Ministry of Health, distributes aesthetic prostheses, which lack functionality. Alternatively, an individual with a disability could buy a prosthesis from a private company: the Ecuadorian companies dedicated to the manufacturing of prostheses sell their products for \$7,000 - \$10,000; their products are designed with aluminum (see Fig. 3a) and though they are functional they are not aesthetic (see Fig. 3b). The use of strong and durable materials is contrasted with the weight of the materials. The weight, for example, of an upper body limb corresponds to 10% of a body's weight; if a prosthesis is not light enough, it will cause continuous exhaustion in the patient.



Figure 3 – a) Hook type aluminum prosthesis, b) Aesthetic prosthesis of plastic material for coating.

1.1. 3D printing of prostheses

The technology of 3D printers is increasingly used in different areas, especially in medicine and in the fabrication of prostheses. New techniques are applied to replace the absent limb's functionality (Day, 2020). The challenges facing the industry are at the manufacturing level in the identification of materials that allow durability, coupling, an aesthetic image and above all functionality. Computer-aided manufacturing is emerging as one of the most commonly used methods by researchers (Barrios-Muriel *et al.*, 2020). The designs of prosthetic devices depend on the type of amputation and the different measures of adaptation in the patient. In addition to existing design programs, a single model per patient should be considered (Nickel *et al.*, 2020). Pre-designed bases are used (see Fig. 4a) with personalized adaptations.



Figure 4 – Designs available in thingiverse.com a) MyPO 2.0³, b) Flexy-Arm Remix⁴.

³ Available at: <https://www.thingiverse.com/thing:2409406>.

⁴ Available at: <https://www.thingiverse.com/thing:894705>.

The prosthesis construction process is carried out according to the functional needs of the patient. Each piece is modeled according to the specifications of the base model prototype; for example, an interface made with the characteristics of a patient’s hand is usually born from a cube as the base and then the piece is modified with functions of extrusion of layers, rotation, movement of vertices, joints, cuts and functions provided by the design program. The base prototype for this study was made by the Thingiverse community of the Flexy Hand 2 project (see Fig. 4b). This study optimized the Flexy Hand 2 design and personalized the prototype for the needs of our patient.

1.2. Materials used for 3D printing of prostheses

3D printing requires printing filaments made of raw materials and produced with technology that allow the filaments to reach high values of functional mechanical resistance, heat resistance, flexibility, and durability to facilitate printing. Material costs vary according to the specific structural design. The duration of the mate-rial is found in its specifications⁵. Table 1 shows the types of 3D printer material currently available in Ecuador.

Material	Description	Request Minimum	Cost
PLA	Polylactic acid or lactic polyacid, biodegradable, withstands up to 230° C (446° F).	1KG	\$29.99
ABS	Fossil fuel derivative, non-biodegradable, withstands up to 300° C (572° F)	1KG	\$24.99
PC-MAX	Polycarbonate, non-biodegradable, with-stands up to 110° C (212° F)	750GR	\$39.99
Flexible Filament	Thermoplastic elastomers, biodegradable, withstands up to 135° C (275° F)	750GR	\$39.99
PETG	Polyethylene terephthalate, non-biodegradable, withstands up to 120° C (248° F)	750GR	\$39.99

Table 1 – Table of types of materials for 3d printing.

Table 2 shows the programs and their respective drivers currently used with 3D printers to model, render, create simulations, test lighting and printer interaction.

Software	Description	Cost	Type
Simplify 3D ⁶	Allows printing simulation, support structures, optimization of multiple extruders, mesh generation.	\$149/Year	No Free
Autodesk Inventor	Allows 3D parametric modeling of solid objects.	\$1,985/Year	No free
Blender 3D	Allows 3D modeling, lighting, rendering and animation.	\$0	Free
Matter Control	Allows the design of the piece, uses manageable variables.	\$0	Free
MeshMixer	Allows the design of the 3D object, uses 3D measurements.	\$0	Free

Table 2 – 3D Printer Programs.

⁵ See specifications at: <https://polymaker.com>.
⁶ Used for this study, characteristics can be seen at: <https://www.simplify3d.com>.

In Ecuador manufacturers nationwide offer printing, design and post-sale services (Ordoñez-Alemán, 2017). Table 3 shows Ecuador's prosthesis manufacturing companies located in all three of the country's major cities.

PYME	Address	City
<i>Electromakers</i>	Urb. Metropolis 2, fase F.	Guayaquil
<i>InNovus 3D</i>	Víctor E. Estrada 1240 and Costanera, office 3.	Guayaquil
<i>3DSbprintig</i>	Garzota 1, mz 42, dwelling 26, local 2.	Guayaquil
<i>Helguero 3D</i>	Vía Daule km. 5.5, av. 7th and alleyway 1ro.	Guayaquil
<i>Indiproh S.A. – Asiri</i>	Cdla. Nueva Kennedy, street E, 222 and 9th east.	Guayaquil
<i>SAIS 3D</i>	Toledo N23-158 and Madrid, sector La Floresta.	Quito
<i>Matter Makers</i>	Finlandia N36-146 - Suecia building Victoire PB.	Quito
<i>personalizalo.net</i>	10 de August N50-152 and Rafael Bustamante	Quito
<i>3DPrintecuador</i>	José Tamayo n21-258 and Jerónimo Carrión.	Quito
<i>Protindec</i>	De los Nardos, N56 - 100 and Av. De los Fres-nos.	Quito
<i>Maker Gruop 3DPrinting</i>	Building Shyris Park	Quito
<i>Taiced</i>	Island Baltra 38-78	Quito
<i>Sim3D</i>	González Suárez, Cuenca 010104, Ecuador	Cuenca
<i>Todo-3D</i>	Highway Valencia, km. 2, Cuenca, 16004	Cuenca
<i>Erviplagas 3d</i>	Street Bonifacio Alfonso, 19, Cuenca, 16001	Cuenca

Table 3 – Information table of 3D printing service companies in Ecuador.

The prostheses are tailored to the patient by conducting a previous study to measure the limb and joint size and to define dimensions and functionalities. The final design considers each of these factors in order to print the most adequate prosthesis.

1.3. The perception of patients with disabilities

The Ecuadorian Government distributes low cost prostheses to people who need them. These prostheses esthetically replace the missing limb. Unfortunately, these artificial limbs are not comfortable, nor are they completely functional and above all they are not aesthetically pleasing (see Fig. 5). The artificial limbs use hooks which cause a change in the patients' habitual movements with the affected limb. The defects of the prostheses generate low self-esteem in the patients.

When a patient receives a prosthesis his or her therapist initiates a process of adaptation, physical rehabilitation, and psychological therapy to accept the new limb and recover the patients' emotional health. The material used in these prostheses requires maintenance and the periodic replacement of parts and pieces. The material wears out, especially when exposed to the elements and is negatively affected by temperature changes, humidity, and heat. Additionally, the prosthesis can be lost or stolen so its owner must constantly care for and protect it

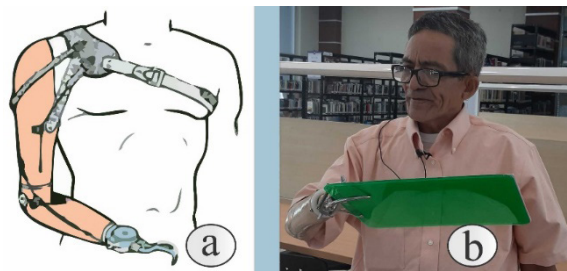


Figure 5 – a) Structural shape of the hook-shaped prosthesis, b) Mr. Eduardo Cepeda beneficiary of the prosthesis in this study.

2. Methods and material

This study uses a quasi-experimental methodology with a quantitative approach as well as the interview as a data collection technique for the selected patient. To determine the level of satisfaction of the mobile application implanted into the Novus Spem device in the prosthesis, a survey is applied to 99 people from a total population of 240 people. The survey has a confidence level of 99% and a margin of error of 10%.

Eduardo Cepeda Luque, the patient selected for the interview, is 62 years old Ecuadorian ex-marine. He has a physical disability caused by an accident in the Gulf of Guayaquil in May 2001; he lost his arm while guarding the vessel of a maritime company in an armed conflict with pirates. He was 42 years old. He receives medical attention from the Ecuadorian Ministry of Health as well as the Ecuadorian Integral Rehabilitation Center (CRIE) for persons with disabilities. Mr. Cepeda received a hook-type prosthesis with an aesthetic accessory. The lifespan of the prosthesis is 2 to 3 years due to the daily physical activity Mr. Cepeda preforms. Because of the type of prosthesis, he has, Mr. Cepeda has difficulty receiving help from close relatives, friends, or co-workers. He has difficulty handling small objects due to the lack of hand and fingers on his prosthesis. His work has been affected by the loss of his arm; he lost his formal job and now preforms an informal job.

Mr. Cepeda suffers functional limitations with the prosthesis delivered by the government, as well as failures in the structure of the prosthesis's functional design, comfort, and appearance. Through the interview Mr. Cepeda compares his previous prosthesis with the new prosthesis delivered through this study specifically comparing the following characteristics: design, flexibility, productivity, comfort, tension pain, "phantom" sensation, problem solving capability and adaptation.

Measurements are taken from the base of the lost limb (see Fig. 6a) to design a fitting that does not cause discomfort when installed (see Fig. 6b) and has the defined functionality (see Fig. 6c).

The prototype is designed with Autodesk Inventor which allows the modification of the base prototype to insert the spaces necessary to install the GPS positioning device proposed in this study (see Fig. 7). The Simplify3D program is used for the 3D printer, as it interacts with the printer's drivers.

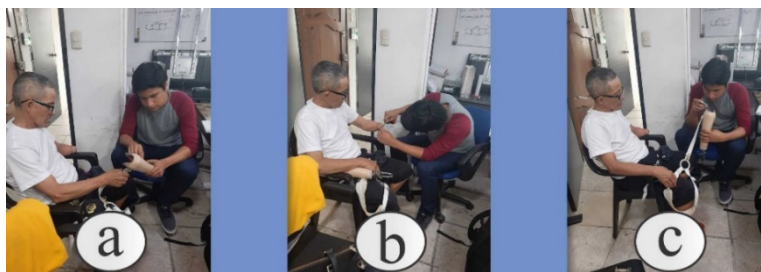


Figure 6 – a) Measurements being taken, b) Installation y c) Prosthesis functionality.

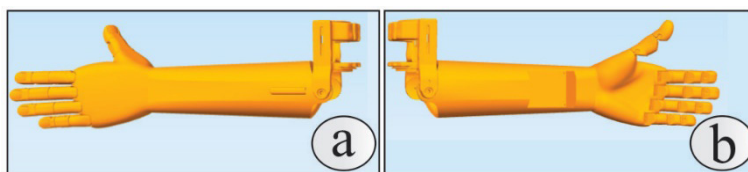


Figure 7 – Prosthesis design a) Top view b) Bottom view of forearm and palm of the hand in 3D, space for connectors and GPS device.

This study uses the Creality CR10-S5 printer from the Guayaquil based company InNovus 3D for filaments of polylactic acid (PLA) and Ninjaflex (used in the joints). The printer uses a 35% fill density; thus, the pieces are resistant and fulfill the functionality requirement of the patient. To use PLA an adjusted temperature of 60 °C is required, whereas the bed and extruder require a temperature of 210 °C. Ninjaflex requires a set temperature of 60 °C, whereas the for the bed and the extruder require a temperature of 230 °C.

Finally, the design is converted into layers to generate a G-Code file to operate under the control of the 3D printer and instruct it in the printing process. The following table (Table 4) shows the estimated time needed to melt each filament into the piece designed in this study.

Quantity	Piece	Printing time (hh:mm)
1	Palm of hand	08:29
1	Proximal phalanx of the thumb	00:20
1	Distal phalanx of the thumb	00:20
1	Proximal phalanx of the index finger	00:20
1	Middle phalanx of the index finger	00:20
1	Distal phalanx of the index finger	00:20
1	Proximal phalanx of the middle finger	00:20
1	Middle phalanx of the middle finger	00:20
1	Distal phalanx of the middle finger	00:20

Quantity	Piece	Printing time (hh:mm)
1	Proximal phalanx of the annular finger	00:20
1	Middle phalanx of the annular finger	00:20
1	Distal phalanx of the annual finger	00:20
1	Proximal phalanx of the little finger	00:20
1	Middle phalanx of the little finger	00:20
1	Distal phalanx of the little finger	00:20
14	Union of the proximal and distal phalanges	00:39
1	Forearm	16:41
1	Arm	03:05

Table 4 – Print time for each part of the prosthesis design.

The prosthesis is covered with an intumescent material, Montofoc varnish⁷, (fireproof varnish) which gives passive protection in the presence of fire or heat, avoiding the creation of air cells, and protecting the prosthesis for a certain period of time while directly immersed in flames.

The use of an Arduino device in Arduino, incorporated into the prosthesis with components such as GPS (see Fig. 8), allows the patient’s relatives to continuously track the device. The mobile application allows continual real time monitoring of the prosthesis implanted in the limb, increasing patient safety, and limiting the risk of losing the device.

This study is part of the scientific field of person - electronic mechanical device interaction, through the design of a prosthesis with an integrated GPS to determine the geolocation in real time using a mobile application developed on the Android platform.

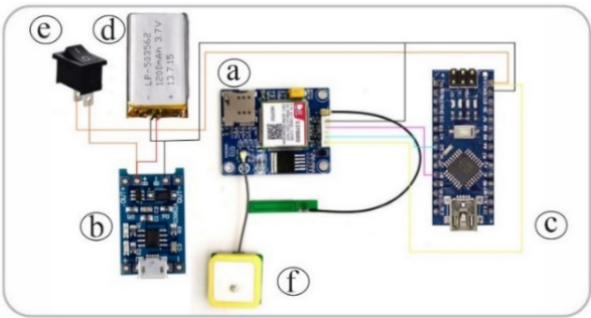


Figure 8 – Connections prototype, a) Mini SIM808 GSM GPRS GPS module, b) Micro USB to lithium battery charger module, c) Arduino nano CH340, d) 3.7V lithium polymer battery, e) Switch and f) GPS module.

⁷ Available at <https://www.pintulac.com.ec/montofoc-barniz-4lt>.

A 3D prosthesis design is developed capable of housing components in Arduino that permit the emission of a geo-positioning signal to obtain a report of the prosthesis's location adjusted to the patient; this component permits continuous monitoring (Llerena-Izquierdo, Viera-Sanchez and Rodriguez-Moreira, 2020).

The forearm complies with the required 90-degree curvature so that the patient does not lose the direction of exerted force and at the same times does not exert more pressure than needed on the joints (see Fig. 9a). The prosthetic hand uses the proximal and distal phalanges created with Ninjabflex. Non-elastic cords are passed through holes to simulate the tendons of the hand and thereby allow the fingers to close and hold on to objects (see Fig. 9b). The product of the 3D printing process is shown below.



Figure 9 – Design of the prosthesis in 3D printing, a) Upper part of the prosthesis, b) Lower part of the prosthesis.

Novus Spem uses code to communicate between the sensor in the device and the mobile app. The registered locations are emitted by GPS signal and stored in a database on the web. The dimensions of the implanted kit are 2.19 inches wide by 2.98 inches long (see Fig. 10); the device is located at the bottom of the forearm. To increase flexion and extension a Velcro strap is used to couple the arm to the prosthesis.

Finally, the mobile application developed in Kodular⁸ for Android devices allows the user to register one person per available GPS device, through the Inter-national Mobile Equipment Identity (IMEI), associated with an email. For the safety of the prosthesis and the patient, the application records information, and routes in real time.



Figure 10 – Novus Spem Device Dimensions.

The history of daily routes taken by the patient are recorded by mobile app in a database on the web (see Fig. 11).

While the GPS device transmits the position, the mobile application records it (see Fig 12).

⁸ Available at <https://www.kodular.io>.

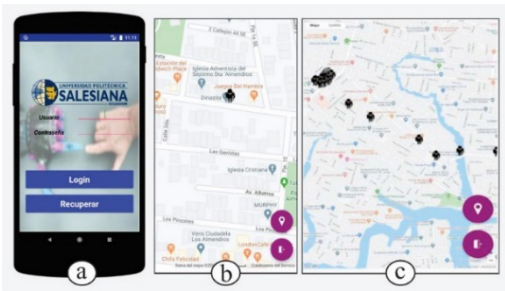


Figure 11 – Novus Spem mobile application, a) Login to the application with username and password, b) Initial registration, c) Subsequent registrations.

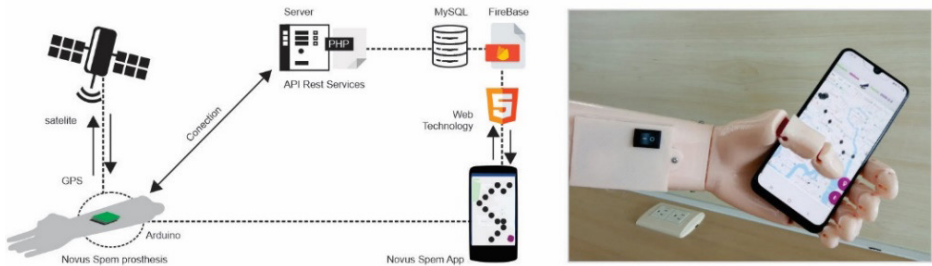


Figure 12 – Novus Spem Equipment Operation.

3. Results

According the results of the survey, 63% of users have experience using mobile applications with geolocation features (see Fig. 13). Study participants have used the GPS of their mobile device and 37% of study participants experience its use-fulness when testing the Novus Spem application.

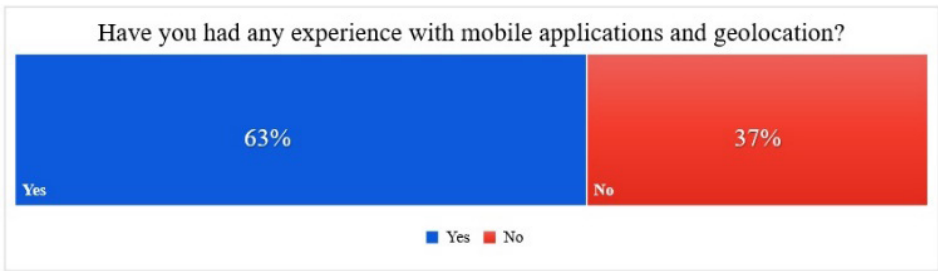


Figure 13 – Percent of participants with experience using geolocation on their mobile phones.

84% of the participants believe that new technologies including objects build with 3D printers contribute to improvements in people's quality of life (see Fig. 14). It is noted

that objects built with 3D printers are not common in the environments in which study participants live. The study presents the finished prosthesis to the participants.

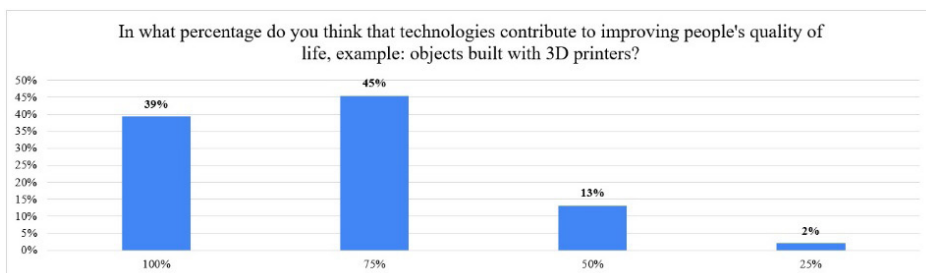


Figure 14 – Percentage of participants who believe that 3D printed objects can improve people's quality of life.

80% of study participants who evaluated the Novus Spem app state that 75% to 100% of mobile applications can help people with disabilities in their daily activities (see Fig. 15). It is emphasized that a variety of mobile applications allow the disabled, according to their degree of disability, to be helped with this type of technology.

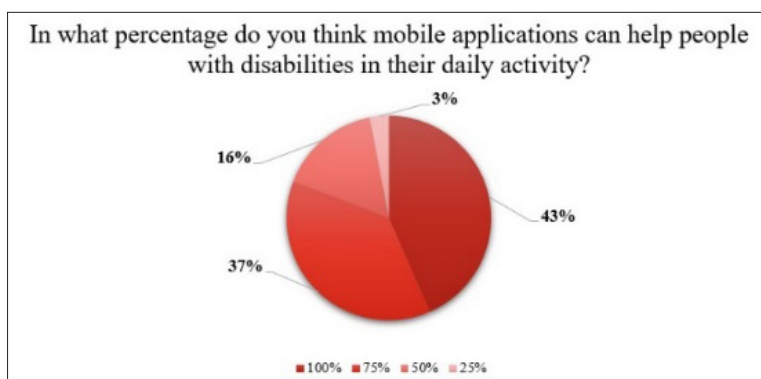


Figure 15 – Percentage of participants who believe that mobile applications help people with disabilities in their daily activity.

97% of those who participated in the survey and observed the operation of Novus Spem affirm that the mobile application is easy to use; with this result the goal of the study is achieved. In addition, 99% of study participants confirm that a geolocation device with Novus Spem can help a person with disabilities and allow family members to locate them when they are in a risky situation. Accordingly, 86% of participants determine that the mobile application is very valuable. The acquisition of a prostheses in Ecuador is not very common due to the high cost of prostheses, the technology required in the design and the elaboration process.

The results of the study show that 94% of participants would be willing to acquire a 3D prosthesis and the mobile application presented in this study (see Fig 16).

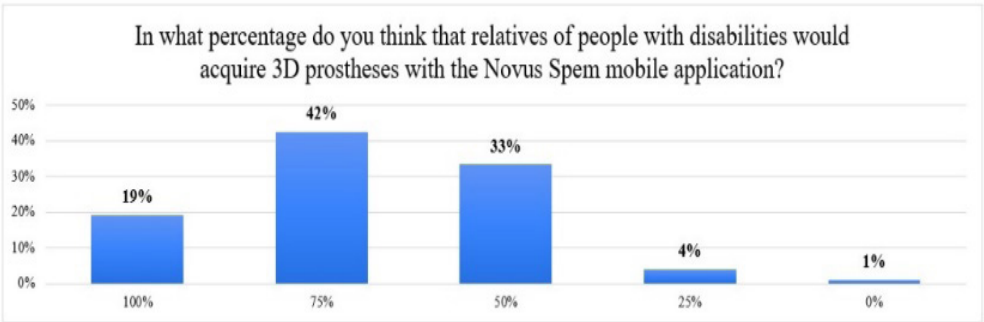


Figure 16 – Percentage of participants who would acquire 3D prostheses with the Novus Spem application.

These values are congruent with the results obtained in the question “Would you recommend Novus Spem to institutions that collaborate with people with physical disabilities for their implementation and use” with 95% affirmative responses (see Fig. 17).

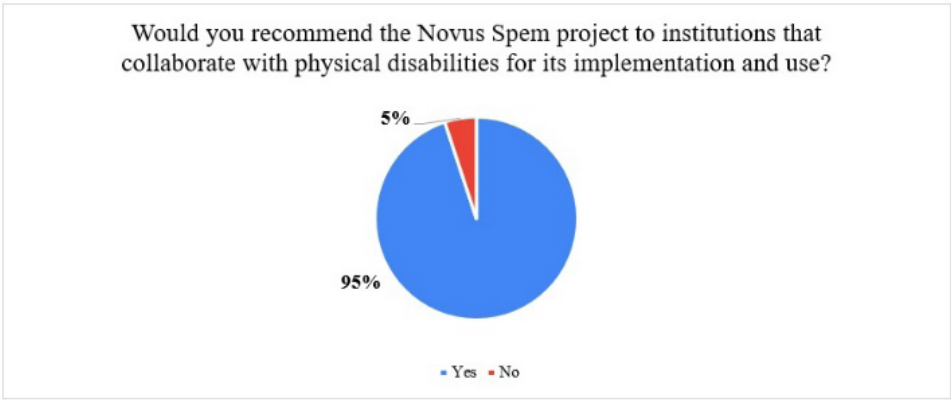


Figure 17 – Percentage of participants who would recommend the Novus Spem project.

4. Discussion

Low cost 3D printing materials are not easily acquired. All the materials used in this study must be purchased from local suppliers that sustain the market. The creation of new products with 3D printing is increasingly common and new alloys and compounds that allow for greater durability are being produced, though proposals for their use are scarce. There are many different design and construction combinations to produce prostheses, allowing for improved coupling and functionality of the new limb.

5. Conclusions

Finding a job for people with a disability is very difficult due to the loss of functionalities which they experience. Although health centers provide assistance to people with disabilities, there is a clear lack of specific specialized care to help people with disabilities achieve a complete recovery of their health due to lack of support in the process of physical rehabilitation, therapy, and psycho-social assistance for the reinsertion in the society as well as the acceptance of the lost limb and the accompaniment in the process of adaptation to a new prosthesis. The need for low-cost design and construction of prostheses is still a big challenge for people with disabilities who want to improve their health and quality of life. Obtaining a conventional prosthesis is the most common option for people with limited economic resources, with negative effects in the sensitive areas such as adjustment to the prosthesis functionality, the weight of the new limb, its aesthetics and the person's self-perception.

This study presents the design and construction of a prosthesis created through 3D printing for patients with upper limb loss. The prosthesis is made with materials that allow adequate functionality and are flame resistant. A GPS implant in Arduino is used for prosthetic and patient safety. A mobile application interacts with the GPS and keeps a daily record of the patient's location. The results of the patient's adaptation to the prosthesis were as expected. The patient shows improvement in functionality in movements that he was unable to perform with his previous prosthesis. Indicators pertaining to the physical appearance of the limb are improved leading to an improved emotional well-being and satisfaction with the delivered equipment. The patient will continue to be monitored to determine new investigations, and to identify factors that condition the material used including possible causes of deterioration and effects of chemical substances exposed to the patient's prosthesis, which were not considered in this study.

References

- Alkhatib, F., Mahdi, E. and Cabibihan, J.-J. (2019) 'Design and Analysis of Flexible Joints for a Robust 3D Printed Prosthetic Hand', in *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE, pp. 784–789. doi: 10.1109/ICORR.2019.8779372.
- Barrios-Muriel, J. *et al.* (2020) 'Advances in Orthotic and Prosthetic Manufacturing: A Technology Review', *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 13(2), p. 295. doi: 10.3390/ma13020295.
- Cuellar, J. S. *et al.* (2019) 'Functional evaluation of a non-assembly 3D-printed hand prosthesis.', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of engineering in medicine*. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 233(11), pp. 1122–1131. doi: 10.1177/0954411919874523.
- Day, S. (2020) 'Using rapid prototyping in prosthetics: Design considerations', *Rapid Prototyping of Biomaterials*. Woodhead Publishing, pp. 325–338. doi: 10.1016/B978-0-08-102663-2.00005-8.

- Hurst, A. (2019) 'Fabrication, 3D Printing, and Making', in. Springer, London, pp. 755–776. doi: 10.1007/978-1-4471-7440-0_38.
- Llerena-Izquierdo, J., Viera-Sanchez, N. and Rodriguez-Moreira, B. (2020) *Portable Device and Mobile Application for the Detection of Ultraviolet Radiation in Real Time with a Low Cost Sensor in Arduino, Communications in Computer and Information Science*. doi: 10.1007/978-3-030-42517-3_23.
- Moulic, S. G. *et al.* (2019) 'Digital transformation and 3D printing of transtibial load-bearing prosthesis in India: recent advances, challenges and future perspectives', *Journal of 3D Printing in Medicine*. Future Medicine Ltd London, UK , 3(4), pp. 185–193. doi: 10.2217/3dp-2019-0013.
- Nickel, E. A. *et al.* (2020) 'Strength Testing of Definitive Transtibial Prosthetic Sockets Made Using 3D-Printing Technology', *Journal of Prosthetics and Orthotics*, p. 1. doi: 10.1097/JPO.0000000000000294.
- Ordoñez-Alemán, G. (2017) 'La contribución al emprendimiento ecuatoriano de una empresa de tecnología 3D', *Revista de Negocios y PYMES*, 2017, pp. 3–7. Available at: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Negocios_y_PYMES/vol3num7/Revista_de_Negocios_y_PYMES_V3_N7.pdf#page=42 (Accessed: 13 February 2020).
- UN-ESCAP (2018) *Disability and Development Report: Realizing the Sustainable Development Goals by, for and with persons with disabilities, Disability and Development Report*. doi: 10.4337/9781847202864.00035.
- 'WHO | World report on disability' (2019) WHO. World Health Organization, (Disability in Latin America), p. 15. Available at: https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/en/ (Accessed: 29 January 2020).
- Wong, T. H., Asnaghi, D. and Leung, S. W. W. (2019) 'Mechatronics Enabling Kit for 3D Printed Hand Prosthesis', *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*. Cambridge University Press, 1(1), pp. 769–778. doi: 10.1017/dsi.2019.81.

Evaluación e implementación de técnicas de clustering para un sistema de recuperación de documentos judiciales

Cristian Camilo Ordoñez¹, José Armando Ordoñez¹,
Cristian Méndez¹, Hugo Armando Ordoñez²

camilo.ordonez@docente.fup.edu.co; jaordonez@unicauca.edu.co;
cristian.mendez@docente.fup.edu.co; haordonez@unicauca.edu.co,

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

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

Pages: 141–151

Resumen: La denominada informática jurídica se define como la técnica interdisciplinaria que tiene por propósito la aplicación de la informática a la recuperación de información jurídica, así como el análisis y tratamiento de dicha información necesaria para toma de decisiones con repercusiones jurídicas. La agrupación (Clustering) de documentos, ha tomado gran interés por parte de investigadores, los cuales han involucrado modelos de recuperación de información complementados con algoritmos de Clustering, buscando aumentar la cobertura de características en los documentos presentados para que el usuario tome una decisión. De esta manera este trabajo presenta una metodología para la evaluación de métodos de Clustering en un sistema de recuperación de documentos judiciales donde se identifica que algoritmo tiene mejores características para ser implementado, como resultado se obtiene una mejora considerable en satisfacción de usuario y precisión en la búsqueda realizada, por parte de expertos en derecho.

Palabras-clave: clustering; recuperación de documentos; metodología; informática jurídica; satisfacción de usuario.

Evaluation and implementation of clustering techniques for a judicial document recovery system

Abstract: The so-called legal informatics is defined as the interdisciplinary technique whose purpose is the application of informatics to the recovery of legal information, as well as the analysis and treatment of said information necessary for decision-making with legal repercussions. The clustering of documents has taken great interest from researchers, which have involved information retrieval models complemented with clustering algorithms, seeking to increase the coverage of features in the documents submitted for the user to make a decision. In this way, this work presents a methodology for the evaluation of Clustering methods in a judicial document recovery system where it is identified which algorithm has better

characteristics to be implemented, as a result a considerable improvement in user satisfaction and accuracy in the search carried out by experts in law.

Keywords: clustering; document recovery; methodology; legal informatics; user satisfaction.

1. Introducción

Frente a las necesidades del derecho en Colombia, es común acudir a la denominada informática jurídica como la técnica interdisciplinaria que tienen por propósito la aplicación de la informática a la recuperación de información jurídica, así como la elaboración y aprovechamiento de instrumentos de análisis y tratamiento de dicha información, necesarios para una toma de decisión con repercusiones jurídicas. La agrupación (Clustering) de documentos web, ha tomado gran interés por parte de investigadores académicos y científicos, los cuales han involucrado modelos de recuperación de información complementados con algoritmos de Clustering, buscando aumentar la cobertura de los documentos presentados para que el usuario los revise, estos métodos se han estudiado recientemente debido a la aplicabilidad en áreas tales como, motores de búsqueda, recuperación de información, minería web. Agrupar documentos en grupos puede organizar grandes grupos de texto para poder realizar una búsqueda eficiente por ello existe una variedad de algoritmos que realizan Clustering entre ellos K-means (Z. Wang & Yang, 2010) DBSCAN (Tran, Drab, & Daszykowski, 2013) etc. Estos métodos son evaluados para buscar como resultado un agrupamiento aceptable y eficiente (Salem, Naouali, & Chtourou, 2018), por esta razón, dentro de esta investigación el aporte se establece contribuir en el mejoramiento de los procesos jurisprudenciales en Colombia cuanto a la búsqueda de sentencias como documentos jurisprudenciales, buscando de manera adecuada de implementar algoritmos que pueden ser utilizados en un sistema de recuperación de documentos, todo ello para mejorar el porcentaje de exactitud y agilidad del resultado de la misma. Para ello se utilizaron dos algoritmos de Clustering más representativos del tema K-Means y DBSCAN los cuales fueron implementados y evaluados de manera interna utilizando métricas del estado del arte, como también la evaluación basado en la percepción de los usuarios expertos en el tema; a partir de los resultados obtenidos se determinó el mejor algoritmo el cual va a ser utilizado en la herramienta de búsqueda de sentencias jurisprudenciales.

2. Estado del arte

El Clustering es un método que puede dividir conjuntos de datos en múltiples grupos donde hace que los diferentes objetos se junten en un mismo grupo partiendo de sus similitudes donde sus algoritmos son óptimos cuando tienen mayor exactitud y eficiencia mostrando los resultados (Xu & Tian, 2015), es por ello que en la actualidad estos métodos son utilizados en diferentes áreas como biología para clasificar animales y plantas, medicina para identificar enfermedades, marketing donde identifican y clasifican hábitos de compra de las personas como también en de la ingeniería informática en la recuperación de documentos web etc. Estos métodos de agrupación contienen una variedad de algoritmos categorizados entre los que destacan:

La primera categoría se encuentra el algoritmo de agrupamiento basado en partición, K-means, el segundo tipo de algoritmo de agrupamiento son basados en jerárquica (Raghunandan, Rani, Nanditha, & Swathi, 2017) y el tercero, algoritmos de agrupamiento basado en densidad (Bryant & Cios, 2018). El algoritmo de K-means es simple y eficiente, pero debe ser dirigido a conjuntos de datos con cúmulos esféricos donde la agrupación jerárquica puede ser mejor agrupación para conjuntos de datos.

Por este motivo en esta propuesta el aporte genera el análisis y evaluación de diferentes métodos de Clustering dentro de un sistema de recuperación de documentos de texto de manera óptima, a continuación, se realiza un reporte detallado de las investigaciones relacionadas con la propuesta a abordar:

En 2016 (Zhang, Pu, Yang, Zhou, & Gao, 2017) propuso un sistema de consulta legal para China el cual se basó en algoritmos genéticos y aproximaciones de tipo KNN dando gran importancia al contexto de la región además de las 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, lo cual facilitó el mejor uso de los recursos y mayor velocidad en las respuestas sin perder la forma. Con este estudio se demostró la eficiencia de los Algoritmos Genéticos (GA) con KNN.

También en (Ma, Zhang, & Ma, 2018) la estructura de la documentación fue de gran importancia para poder dar solución al problema de recuperación de datos y dejando a cargo una sola herramienta de categorización y agrupamiento KNN, la recurrencia de los escritos sobre como 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 (Boella et al., 2016) cuyo software EUNOMOS, trabajo sobre ontología jurídicas para poder dar solución a la gran cantidad de temas 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, se usó 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.

En (Papastefanatos, 2016) planteó una extracción de palabras, frases por medio de la construcción de un repositorio de documentos sin estructura es decir sin formato, esta información se guarda en bloques de información creado bajo herramientas XML con etiquetas más elaboradas dirigidos de procesamiento de lenguaje natural PLN, esto para poder tener documentos más fieles de acuerdo a la semántica que se maneja, identificando palabras o frases importantes y transformando los menos importantes.

En (Y. Wang et al., 2017) trabajó una metodología de clasificación, agrupación y búsqueda de documentos la cual se encuentra basada en redes neuronales, esto ayuda todos aquellos que necesiten una herramienta para hacer uso de estos documentos en diferentes casos para que haya una aplicación de la ley y administrar escritos de juicios criminales de manera más eficiente. También hizo un tratamiento sobre las palabras chinas en este caso para darle efectividad al proceso de agrupamiento de textos mediante el esquema de extracción de términos para seleccionar las palabras clave con la frecuencia más alta como entradas de la Red de Propagación.

En (Chou & Hsing, 2010) propone un método para realizar resúmenes de multidocumentos altamente informativos, en el cual se utiliza Clustering con un enfoque híbrido basado en estadísticas que calculan la importancia de las oraciones en función de elementos de texto, además simplifica por medio de lenguaje natural para mostrar solo la información necesaria, con el objetivo de generar resúmenes más útiles. Utilizan una versión adaptada del algoritmo K-means para agrupar las oraciones por palabras claves. Al realizar el agrupamiento por similitud y por palabras claves se obtiene un agrupamiento doble, con el objetivo de elegir las oraciones que contienen la información más importante y además que no redunde con otras oraciones para que finalmente se conforme el documento resumido.

3. Propuesta

Los sistemas de recuperación de documentos jurisprudenciales se componen por tareas de búsqueda, consulta de información, clasificación de resultados, almacenamiento de la información, clasificación de documentos en grupos predefinidos y agrupamiento de documentos en conjuntos definidos a partir del análisis automático del contenido del documento Clustering (Vester & Martiny, 2005). Por ello a continuación se presenta la metodología denominada evaluación e implementación de algoritmos de Clustering (EI-Clustering) utilizada para evaluar los algoritmos de Clustering con el fin de extraer e identificar documentos con diferentes características, permitiendo optimizar los procesos de búsqueda de jurisprudencia ver Figura1.

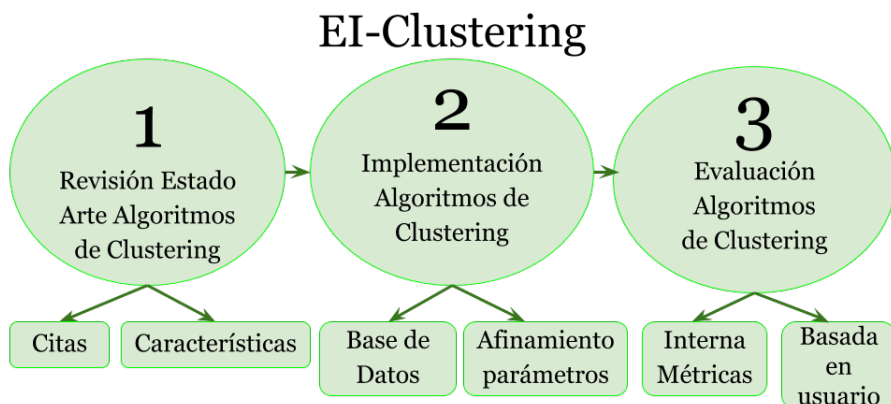


Figura 1 – Metodología de evaluación e implementación.

3.1. Revisión Estado del arte algoritmos de clustering

En esta primera etapa se indagan las diferentes bases de datos científicas donde se hace una revisión sistémica en ella se encuentran los algoritmos que han dado respuesta al problema que se desea resolver, este primer paso se divide en 2 fases la primera buscar por citas, es decir cantidad de veces que sido utilizado y número de veces que ha sido identificado en la respectiva revisión, segundo se identifica sus características las cuales

pueden ser basados en como hace su trabajo de agrupamiento. Después de realizar estas 2 actividades se determina que los algoritmos a utilizar en el presente trabajo son ver Tabla 1.

Algoritmo	Citas	Características de Clustering
C-means	6 (3)	Partición Aleatoria K
DBSCAN	8 (2)	Densidad
K-means	10(1)	Partición Aleatoria K
Knn	5(4)	Vecindad

Tabla 1 – Resultados.

Después de observar y basado en la búsqueda de algoritmos que realicen Clustering en este tema se determina que los algoritmos más citados son K-means y DBSCAN ocupando en el ranking el 1 y 2 puesto respectivamente de igual manera cumple con las características ya que su manera de realizar agrupamiento se hace de manera diferente por tanto es una manera valida de hacer una comparación en este escenario.

3.2. Implementación algoritmos de Clustering

En el paso número 2 se implementan los algoritmos en el sistema previamente realizado en ello se realiza la prueba, en la construcción de la base de datos se utilizaron herramientas como Scrapy, y el gestor de base de datos MySQL a continuación se representa la construcción de la base de datos. Como parte inicial para la construcción de la base de datos utilizo Scrapy una herramienta de Python que permite inspeccionar etiquetas HTML de las páginas de internet donde su información se almacena en las diferentes etiquetas del front-end, de esta manera se ingresa al repositorio de la corte constitucional los datos extraídos son el documento y el año (Constitucional, 2015), después se parametrizan los algoritmos previamente seleccionados para que arrojen los mejores resultados, los parámetros utilizados son basados en el estado del arte y se describen a continuación.

Algoritmo DBSCAN: Para este algoritmo se trabajó con un $EPS = 1$ y un $MinPt = 2$ los cuales garantizaran un trabajo optimo y con poco ruido.

Algoritmo K-means: Para este algoritmo se usó un $K=8$ lo cual se traduce en tener 8 agrupaciones del dataset preparado con anterioridad. Después de haber terminado el proceso se pueden determinar los K clusters desde los de mayor población hasta los de menor población.

Los métodos de Clustering y sus respectivos algoritmos tanto K-means como DBSCAN tienen algo en común y es la preparación de los datos con los cuales trabajaran, es decir, llevarlo a un dataset optimo con el cual trabajar, dividiendo este apartado en dos, el primero explicando la preparación la cual es similar en ambos casos y la segunda parte que se encargara de explicar el uso de estos datos con cada uno de los métodos de Clustering. Primero se ubicaran los documentos bajo los parámetros de búsqueda que se

generan en el navegador estos son una frase a buscar y el año para ubicar este documento, cada uno de estos documentos contiene un id, descripción, contenido, cuando una descripción de la base de datos tenga elementos similares con la búsqueda dada por el usuario este documento se guardaran en un arreglo para ser convertidos en una matriz de datos (dataset) numéricos gracias a librerías especializadas para su posterior análisis, con el dataset creado se pasara al segundo apartado que es la explicación de cada uno de los métodos de Clustering.

3.3.Evaluación algoritmos de clustering

Esta sección divide 2 formas de evaluar los métodos de Clustering la primera de manera interna donde se realiza una evaluación por medio de métricas utilizadas en el estado del arte la métrica utilizada es el coeficiente de Silhouette esta realiza una evaluación interna del agrupamiento, la silueta mide por medio de la cohesión la distancia promedio de la búsqueda ingresada a cada uno de los documentos existentes en base de datos en cuanto a similitud en el mismo grupo; por medio de la separación se mide la distancia promedio de la búsqueda ingresada a los documentos existentes en base de datos en cuanto a la similitud en los grupos más cercanos buscando así que internamente en cada grupo su precisión sea mayor y externamente su similitud sea muy poca o nula. El coeficiente de silueta es indicador del número ideal de clusters. Un valor más alto de este índice indica un caso más deseable del número de clusters.

El coeficiente de Silueta para una observación *i* se denota como *s(i)* y se define como Ecuación 1.

$$s(i)=\frac{b-a}{Max(a,b)} \tag{1}$$

Dónde: *a* es el promedio de las disimilitudes (o distancias) de la observación *i* con las demás observaciones del cluster al que pertenece *i*, *b* es la distancia mínima a otro cluster que no es el mismo en el que está la observación *i*. Ese cluster es la segunda mejor opción para *i* y se lo denomina vecindad de *i*, el resultado arrojado por los algoritmos evaluados se puede observar en la Tabla 2, se identifica la posición del algoritmo en negrita y el numero en el escalafón.

Algoritmo	Resultado
K-means	0,920124 (1)
DBSCAN	0,730945 (2)

Tabla 2 – Resultados Coeficiente de Silhouette.

Después para adoptar métodos de evaluación orientados al usuario (Knijnenburg, Willemsen, Gantner, Soncu, & Newell, 2012) (Mcnee, 2006), se tienen en cuenta aspectos como satisfacción, usabilidad, grado de cumplimiento de objetivos diversos, etc. En este caso, se diseñaron por parte de expertos en el derecho 5 casos de búsqueda, además de un cuestionario respondiendo preguntas para identificar que algoritmo realiza una mejor agrupamiento de documentos en base a la búsqueda realizada todo esto en un entorno y

contexto jurídico, no parece muy propicio enfocar el proceso de evaluación del sistema aspectos técnicos y dejar de lado otros aspectos como las necesidades y características de los abogados y demás usuarios del ámbito jurídico (Manouselis, Drachsler, Vuorikari, Hummel, & Koper, 2011).

A continuación, se presenta el proceso de búsqueda y satisfacción con usuarios reales del sistema, se presenta los resultados obtenidos después de la evaluación por parte de los usuarios especializados en el área de derecho de distintas universidades de la ciudad de Popayán. En la Figura 2 presenta cada uno de los casos evaluados por los 96 abogados, indicando (si o no) encontró un resultado de búsqueda positivo. En el proceso de evaluación de expertos se realizaron las búsquedas con una base de datos de aproximadamente 26000 documentos divididas en diferentes años.

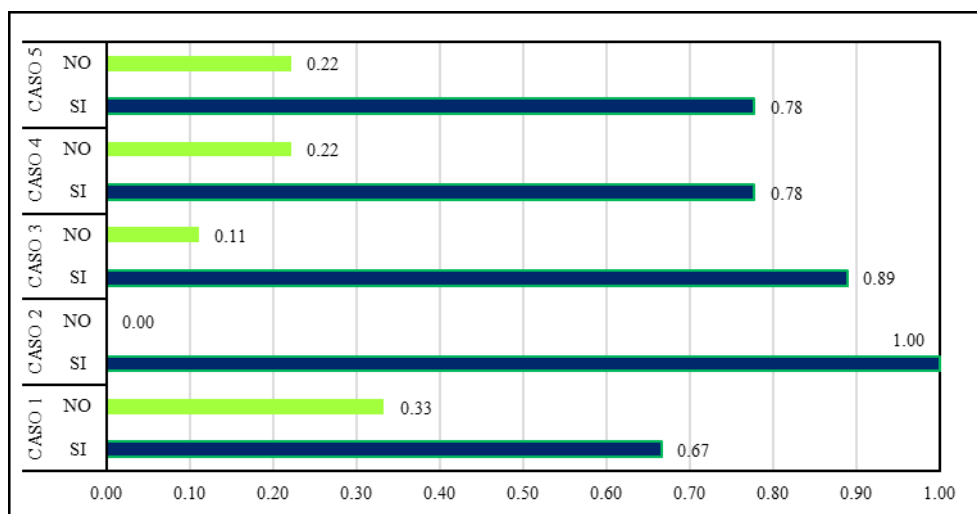


Figura 2 – Evaluación basada en el usuario.

Se identifica que en los 5 casos evaluados por expertos del derecho logran encontrar los documentos se identifica que en el caso numero 2 el 100% de los usuarios que utilizaron el sistema lograron evidenciar los documentos necesarios para resolver el caso en cuestión en el caso numero 3 el 89%, los casos 4 y 5 con el 78% y finalmente el caso 1 donde el 67% de los usuarios encontraron documentos relacionados a su caso en cuestión, se identifica que en esta oportunidad los algoritmos tienen tendencia a encontrar los documentos ya se observa que en los 5 casos es mayor a 50% demostrando que si logran encontrar los documentos para resolver los casos en cuestión, de esta manera el paso siguiente es evaluar que algoritmo lo hace mejor, por ello, se realizan diferentes preguntas buscando determinar cual de los 2 algoritmos K-means o DBSCAN tiene mejores agrupaciones de documentos, se realiza una evaluación de 1 a 5 donde primero se hace la búsqueda con K-means y luego la misma búsqueda con DBSCAN.

Teniendo en cuenta que la escala de puntuación 1: Malo, 2: regular, 3: bueno, 4: Muy Bueno, 5: Excelente, se pregunta a los usuarios la pregunta numero 1 Q1 ¿Qué

algoritmo tiene mejor precisión a la hora de encontrar documentos judiciales? Después de preguntar a 96 expertos se observa el promedio ver Figura 3, se puede ver como el Algoritmo K-means con un valor de 3,7% presenta de forma más eficiente los resultados posicionando las mejores sentencias según los criterios de búsqueda del usuario en los primeros puestos, a diferencia de DBSCAN con un 3,3% que mostraba buenos resultados, pero en menor medida quedando clara una diferencia al momento de tener una mejor precisión a la hora de agrupar los principales documentos.

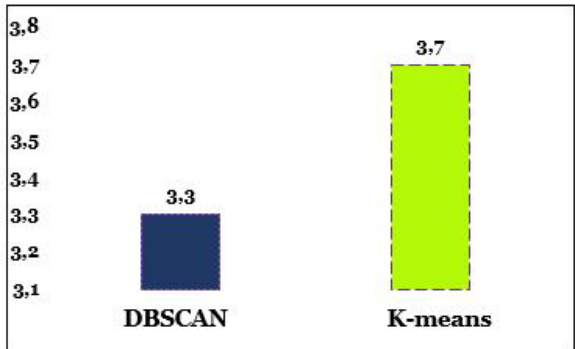


Figura 3 – Q1 Precisión de búsqueda realizada.

Después de evaluar la precisión de los algoritmos se pregunta a los usuarios Q2 ¿Que algoritmo tiene mejor tiempo de respuesta a la hora de realizar una búsqueda? Ver Figura 4.

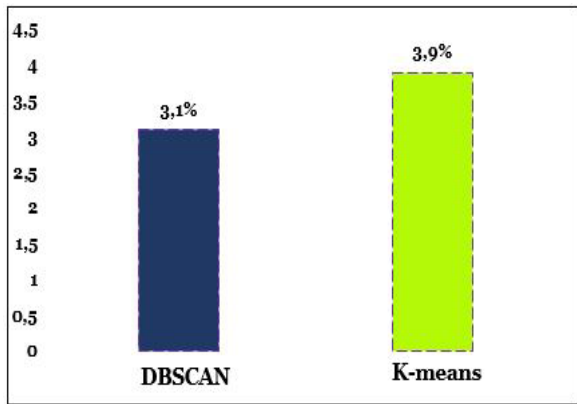


Figura 4 – Q2 Tiempo de respuesta.

Con un 3,9% el algoritmo K-means tiene una mejor respuesta en cuanto a tiempo de respuesta a contrario de 3,1% del algoritmo DBSCAN esto se puede evidenciar ya que el algoritmo DBSCAN es diseñado para manejar grandes volúmenes de datos y por ello tarda un poco más en entregar los resultados de búsqueda.

El nivel de agrupamiento hace referencia a identificar que algoritmo entrega mejor el grupo de documentos para resolver los casos en cuestión de esta manera se pregunta a los usuarios que algoritmo entrega de forma más apropiada el grupo de documentos en la Figura 5 se identifica el nivel de agrupamientos del algoritmo K-means donde el 33% de los usuarios mencionan un nivel excelente, muy bueno 33% y solo el 11% menciona que es malo de igual manera se identifica el nivel de DBSCAN donde se observa que el 44% es muy bueno, se identifica que no se presenta una evaluación excelente además se observa que en un valor alto de 22% menciona tener un valor regular y bueno.

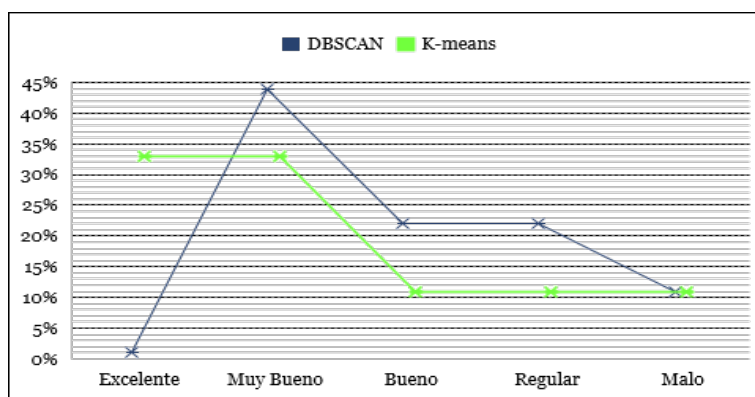


Figura 5 – Nivel de agrupamiento K-means, DBSCAN.

4. Conclusiones y trabajo futuro

A medida que se desarrollaron las pruebas del buscador de sentencias jurisprudenciales se logró identificar como los usuarios ingresaban diferentes cadenas de texto para realizar la búsqueda de un mismo caso, la herramienta respondió de manera eficiente ya que aunque se ingresaban diferentes palabras, el sistema arrojó respuestas similares en las búsquedas para llegar a la solución, esto se traduce en el manejo efectivo de la semántica que se da alrededor del derecho y en este aspecto se puede concluir que la implementación arrojó buenos resultados donde el 67% de los usuarios encontraron respuesta del caso uno, el 100% el caso dos, 89% el caso 3 y el 78% en el caso 4 y 5 respectivamente, dando una efectividad de más del 75% en cada uno de los casos pasando un nivel más que muy bueno para su uso.

La metodología propuesta es una opción acertada ya que establece un orden de cómo realizar este tipo de evaluaciones además de dar un aporte significativo a los diferentes investigadores dando las pautas importantes para validar no solo algoritmos de Clustering si no diferentes algoritmos, además de pruebas basadas en usuarios.

Los resultados obtenidos denotan que el algoritmo que mejor resultados arrojó en la evaluación interna como validación por parte del usuario es K-means se identificó en las diferentes preguntas su respuesta fue mejor a la observada por DBSCAN esto en cada una de las pruebas realizadas.

Como trabajos futuros se espera realizar la hibridación del algoritmo ganador basado en el usuario K-means además de probar diferentes algoritmos para mejorar el agrupamiento de documentos, se espera validar más métricas e implementar en diferentes sistemas de recuperación de información

Referencias

- Boella, G., Caro, L. Di, Humphreys, L., Robaldo, L., Rossi, P., & van der Torre, L. (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), 245–283. <https://doi.org/10.1007/s10506-016-9184-3>
- Bryant, A., & Cios, K. (2018). RNN-DBSCAN: A Density-Based Clustering Algorithm Using Reverse Nearest Neighbor Density Estimates. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 30(6), 1109–1121. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2017.2787640>
- Chou, S., & Hsing, T.-P. (2010). Text Mining Technique for Chinese Written Judgment of Criminal Case. In H. Chen, M. Chau, S. Li, S. Urs, S. Srinivasa, & G. A. Wang (Eds.), *Intelligence and Security Informatics* (pp. 113–125). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Constitucional, C. (2015). Corte contitucional. Retrieved from <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/>
- Knijnenburg, B. P., Willemsen, M. C., Gantner, Z., Soncu, H., & Newell, C. (2012). Explaining the user experience of recommender systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(4), 441–504. <https://doi.org/10.1007/s11257-011-9118-4>
- Ma, Y., Zhang, P., & Ma, J. (2018). An Ontology Driven Knowledge Block Summarization Approach for Chinese Judgment Document Classification. *IEEE Access*, 6, 71327–71338. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2881682>
- Manouselis, N., Drachsler, H., Vuorikari, R., Hummel, H., & Koper, R. (2011). Recommender Systems in Technology Enhanced Learning. In F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, & P. B. Kantor (Eds.), *Recommender Systems Handbook* (pp. 387–415). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_12
- Mcnee, S. M. (2006). Being Accurate is Not Enough: How Accuracy Metrics have hurt Recommender Systems, 1097–1101.
- Papastefanatos, G. (2016). Towards Automatic Structuring and Semantic Indexing of Legal Documents. In *in Proc. PCI, Patras, Greece*.
- Raghunandan, G. H., Rani, A. S., Nanditha, S. Y., & Swathi, G. (2017). Hierarchical agglomerative clustering based routing algorithm for overall efficiency of wireless sensor network. In *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)* (pp. 1290–1293). <https://doi.org/10.1109/ICICT1.2017.8342755>

- Salem, S. Ben, Naouali, S., & Chtourou, Z. (2018). A fast and effective partitional clustering algorithm for large categorical datasets using a k-means based approach. *Computers & Electrical Engineering*, 68, 463–483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.04.023>
- Tran, T. N., Drab, K., & Daszykowski, M. (2013). Revised DBSCAN algorithm to cluster data with dense adjacent clusters. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 120, 92–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2012.11.006>
- Vester, K. L., & Martiny, M. C. (2005). *INFORMATION RETRIEVAL IN DOCUMENT SPACES USING CLUSTERING*.
- Wang, Y., Ge, J., Zhou, Y., Feng, Y., Li, C., Li, Z., Luo, B. (2017). Topic Model Based Text Similarity Measure for Chinese Judgment Document. In B. Zou, Q. Han, G. Sun, W. Jing, X. Peng, & Z. Lu (Eds.), *Data Science* (pp. 42–54). Singapore: Springer Singapore.
- Wang, Z., & Yang, M. (2010). A fast clustering algorithm in image segmentation. In *2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology* (Vol. 6, pp. V6-592-V6-594). <https://doi.org/10.1109/ICCET.2010.5486041>
- Xu, D., & Tian, Y. (2015). A Comprehensive Survey of Clustering Algorithms. *Annals of Data Science*, 2(2), 165–193. <https://doi.org/10.1007/s40745-015-0040-1>
- Zhang, N., Pu, Y., Yang, S., Zhou, J., & Gao, J. (2017). An Ontological Chinese Legal Consultation System. *IEEE Access*, 5, 18250–18261. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2745208>

Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano con técnicas de prototipado rápido

Roberto Moya-Jiménez¹, Teresa Magal-Royo²

rcmoya@uce.edu.ec; tmagal@degi.upv.es

¹ Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

² Universidad Politécnica de Valencia, 46022 Valencia, España.

Pages: 152–163

Resumen: Se describe los avances realizados en la aplicación de las tecnologías de prototipado rápido (RP) en el desarrollo de dispositivos personalizados para la rehabilitación física de manos en pacientes con Artritis Reumatoide (AR) Crónica mediante la creación de un exoesqueleto de mano para analizar y evaluar el estudio sistémico dentro de la rehabilitación de la atrofia muscular relacionado con la pérdida de la movilidad manual debido a la AR en personas adultas. La metodología creada tiene en cuenta aspectos relacionados con la fisiología del movimiento de la mano y los problemas de movilidad que sufren los pacientes crónicos de AR sobre todo en los movimientos específicos de las falanges y huesos metacarpianos. Desde el punto de vista tecnológico, se han aplicado las técnicas de digitalización en la toma de datos del paciente, el uso del Diseño Asistido por Ordenador (DAO) en la generación de un modelo virtual y la formalización de un exoesqueleto para la rehabilitación mediante el uso de las técnicas de RP.

Palabras-clave: artritis reumatoide de mano; exoesqueleto; rehabilitación física; prototipado rápido; diseño asistido por ordenador.

Design and prototyping of a hand rehabilitation device for rheumatoid arthritis with rapid prototyping techniques

Abstract: This article describes the progress made in the application of rapid prototyping (RP) technologies in the development of personalized prostheses for the physical rehabilitation of the hand in patients with Chronic Rheumatoid Arthritis (RA) by creating a hand exoskeleton for analyze and evaluate the systemic study within the rehabilitation of muscular atrophy related to the loss of manual mobility due to rheumatoid arthritis in adults. The methodology created considers aspects related to the physiology of hand movement and mobility problems suffered by chronic RA patients, especially in the specific movements of the phalanges and metacarpal bones. From the technological point of view, the digitalization

techniques have been applied in the patient's data collection, the use of Computer Aided Design (DAO) in the generation of a virtual model and the formalization of an exoskeleton for rehabilitation through use of RP techniques.

Keywords: hand rheumatoid arthritis; exoskeleton; physical rehabilitation; rapid prototyping; computer-aided design.

1. Introdução

La AR es una poliartritis inflamatoria sistémica que afecta aproximadamente al 0,5 – 2% de la población mundial (Silman & Pearson, 2002), dicha enfermedad es considerada como la más frecuente con una prevalencia en América latina del 0.4% (Massardo et al., 2009). La AR es una enfermedad sistémica que afecta a las articulaciones, y actúa como una enfermedad autoinmune sistemática cuyos desenlaces se ven reflejados principalmente en alteraciones de la calidad de vida de los pacientes, al ser de carácter degenerativo y se incrementa la morbimortalidad de las personas que llegan a padecerla. Reflejándose en varios aspectos de la vida cotidiana, siendo uno de estos el impacto socio económico del paciente debido a que se ve influenciado directamente en su capacidad productiva laboral, disminuyendo así el ingreso familiar con altos gastos médicos. La incapacidad funcional limita las actividades de la vida diaria y requiere en muchas ocasiones la asistencia de otras personas (Hochberg, 2014).

El diagnóstico temprano y beneficio terapéutico son los factores que permiten la mejoría exponencial en el desarrollo de la enfermedad. Según el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, el principal objetivo del tratamiento de la AR es lograr la remisión o, por lo menos la actividad baja de la enfermedad. Dentro de los Criterios del Colegio Americano de Reumatología y la Liga Europea contra el Reumatismo, la clasificación de la AR indica que el paciente cuyo diagnóstico sea artritis reumatoide debe involucrar un grupo multidisciplinario que incluya terapias farmacológicas, psicológicas y sobre todo fisioterapéuticas con el objetivo de mitigar los efectos de la pérdida de movilidad progresiva y degeneración de la musculatura (Smolen et al., 2017).

A nivel de rehabilitación, con las metodologías actuales en las sesiones de tratamiento con el paciente existe una falta de control exacto en la medición, control postural y de esfuerzos que debe realizarse periódicamente. Este hecho es evidente cuando al paciente se le indica que realice una serie de ejercicios con la mano mediante la presión o movimiento de los dedos ejerciendo un esfuerzo postural que generalmente no está controlado de una manera sistemática.

Como un método de restablecimiento, el uso de un exoesqueleto semirrígido acoplado a la mano sobre el cual se han aplicado una serie de sensores y mecanismos de movimiento programado, permiten al terapeuta programar y controlar los movimientos y esfuerzos en función de las necesidades del paciente. La monitorización y gestión de datos mediante una aplicación informática puede crear un histórico de referencia tanto para el médico como para el fisioterapeuta de la evolución del paciente en el tiempo. Por ello, se vuelve necesaria la aplicación de tecnologías y sistemas mecatrónicos, ya sea para los procesos de rehabilitación o para la asistencia permanente de los pacientes. Varios estudios han

evidenciado que las terapias asistidas con exoesqueletos han arrojado resultados muy favorables para la vida de los pacientes, ayudándoles a recobrar sus habilidades motoras y funcionales (Borghetti, Sardini y Serpelloni, 2013). Los exoesqueletos se han vuelto un avance tecnológico necesario para destacar y potenciar las habilidades humanas, además de contar como un soporte médico de innovación en procesos de rehabilitación, convirtiéndose en tecnologías de asistencia para potenciar características como: la fuerza, potencia y flexibilidad, además de brindar un elemento de cuantificación de resultados funcionales dentro de la recuperación de lesiones en pacientes (Chen et al., 2013).

El desarrollo del estudio como tal presenta bases de investigación aplicadas sobre un dispositivo, en este caso un exoesqueleto para la mano. Un dispositivo de referencia es el desarrollado por Wang y su equipo que crearon uno que presenta cuatro grados de libertad para la rehabilitación del dedo índice, el dispositivo genera movimientos bidireccionales (flexión-extensión) para todas las articulaciones del dedo y es ajustable para varios tamaños de mano; dicho dispositivo utilizaba una serie de sensores y encoders junto con un motor DC para medir la posición angular. La información recibida desde el dispositivo se utiliza un control de evaluación y análisis (Wang, 2009).

Wege y su equipo desarrollaron un exoesqueleto para la rehabilitación de la mano el cual consistía en un prototipo mecánico de cuatro grados de libertad movido por una unidad actuadora y recepcionando la información a través de sensores de efecto hall en cada articulación, de manera que la longitud de cada falange calculaba los ángulos correspondientes del movimiento (Wege et al. 2005). Tomando como referencia la Guía Práctica Clínica para la Artritis reumatoide editada por el Ministerio de Salud Pública de Ecuador en el año 2016, se realizó un primer acercamiento al desarrollo de la enfermedad considerando métodos alternativos dentro de la práctica médica de la rehabilitación. Para el desarrollo del dispositivo se ha tomado en cuenta los principios claves para el manejo de pacientes con artritis reumatoide (Cardiel, 2014), centrado en los siguientes aspectos:

- Diagnóstico temprano.
- Tratamiento oportuno.
- Manejo por reumatólogo.
- Dirigido hacia el objetivo (remisión o bajo nivel de actividad).
- Manejo individualizado.
- Seguimiento periódico durante el curso de la enfermedad.
- Considerar la comorbilidad.
- Adaptado a la realidad de la práctica clínica.

A continuación, se exponen dispositivos desarrollados que tratan problemas relacionados con rehabilitación de manos. De esta manera se puede entender la importancia de la creación de un exoesqueleto de rehabilitación que permita establecer datos de medición para percibir el mejoramiento del paciente de una manera concreta.

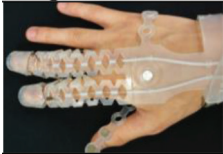
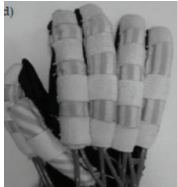
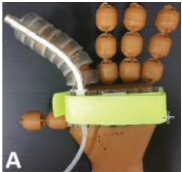
Nombre	Imagen	Descripción
Exo-Glove Poly 2.0 (improved version)		Exo-Glove Ploy es uno de los dispositivos de asistencia más adecuados que puede ayudar a las personas con discapacidad de la mano. Tiene banda palmar que conecta la parte palmar y la parte dorsal de la parte portátil en una sola pieza. (Lee, Kang, B, In, & Cho, 2017).
The NUS prototype glove		El dispositivo es un guante (con gancho de velcro adjunto correas) y cuatro actuadores suaves (con velcro adjunto correas de bucle) que corresponden al índice, medio, anillo y dedos pequeños. (Yap et al., 2015).
The NUS glove for rehabilitation.		El dispositivo consiste principalmente en una placa lineal de movimiento libre, placa fija y una celda de carga. La celda de carga se adjuntó al final de la plataforma conectada a la computadora para medir la salida de fuerza horizontal desde el actuador de flexión (Yap, Goh, & Yeow, 2015)
The Power-Assist glove.		El guante de asistencia esta desarrollado con una curva de actuación que realiza la conversión del movimiento lineal al movimiento rotacional. Una lámina de goma curvada y tela hacen que el guante sea compacto y flexible. (Kadowaki, Noritsugu, Takaiwa, Sasaki, & Kato, 2011)
RARD		Exoesqueleto robótico suave para la rehabilitación de individuos con artritis afectados con dedos deformados lateralmente. El exoesqueleto funciona con dos neumáticos suaves impresos en 3D. (Matthew Chin Heng Chua, Lim Jeong Hoon, & Yeow, R. C. H., 2016)

Tabla 1 – Dispositivos de rehabilitación.

2. Desarrollo aplicado al uso de técnicas de prototipado rápido

La creación de un exoesqueleto de mano mediante programas de Diseño asistido por Ordenador (DAO) y el uso de tecnologías de Prototipado Rápido (RP) que ayude a pacientes con AR en su proceso de rehabilitación. El uso de la RP en la creación de prototipos fiables, rápidos y personalizados de prótesis para la rehabilitación del ser humano está teniendo un auge importante que podría extenderse en la creación de piezas de exoesqueletos adaptables a las necesidades de un paciente en un estudio determinado de su enfermedad, de esta manera actualmente se generan prótesis temporales para tratar rotura o fisura de huesos o piezas de carácter permanente que sustituyen pérdidas de extremidades en el ser humano.

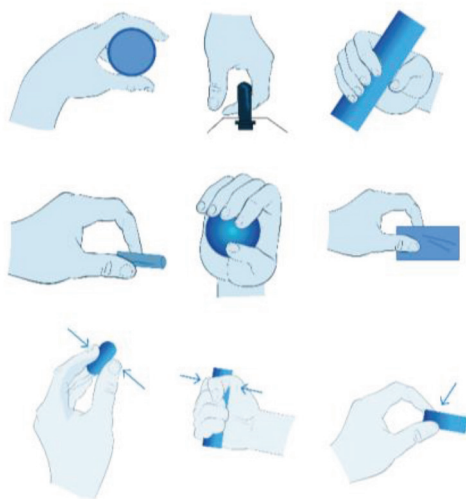


Figura 1 – Clasificación y tipos de agarre. Fuente: Adaptación propia, 2019.

El uso de elementos creados con RP en la rehabilitación son un campo abierto a la investigación ya que no solo implica la creación de una pieza o piezas con una serie de mecanismos asociados de carácter permanente, ya que también incluye la posibilidad de personalizar, monitorizar y gestionar la rehabilitación de un proceso de degradación muscular y de huesos como se produce en la Artritis crónica. Dadas las evidencias anteriores, el objetivo es establecer la rehabilitación en las fases primarias de la enfermedad denominado también, comienzo poliarticular, que significa que la enfermedad no ha comprometido de manera invasiva al paciente, su progreso es lento e insidioso. Se considera que alrededor del 70% de los pacientes comienzan en esta etapa (Batlle et al., 2013).

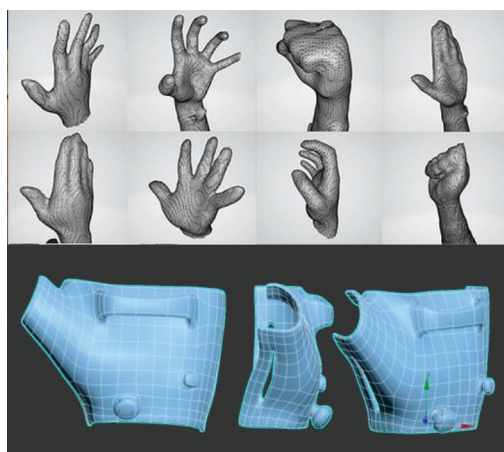


Figura 2 – Manos digitalizadas con escaneo 3D y Modelado DAO del dispositivo digital.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tomando como referencia algunos de los ejercicios universales para la terapia de la mano como se ve en la ilustración 1, los que son necesarios en el tratamiento inicial y preventivo de enfermedades operaciones que contribuyen a la reducción del dolor, la realización de movimiento, el masaje en articulaciones y músculos, la reducción de carga y mejor distribución respecto a la mano, y la dinámica positiva y negativa para conservar la operatividad.

El proceso de configuración del dispositivo fue verificado en un paciente con un estado incipiente de la enfermedad donde la sintomatología presentada se asociaba a la pérdida de movimiento poliarticular, es decir más de cuatro articulaciones se encontraban afectadas y también presentaba disminución leve de la movilidad articular, sin presencia de nódulos.

El estudio preliminar partió de la verificación de la eficacia del prototipo del exoesqueleto tomando en consideración los grados de libertad (GDL) necesarios para el tratamiento de la enfermedad, el análisis mecánico de las cargas, los esfuerzos principales ejercidos, la resistencia en función de la forma y el material y finalmente el diseño formal del prototipo (ver figura 3). Los parámetros de impresión solo son una guía de referencia, dado que cada impresora tiene sus propios parámetros para garantizar impresiones optimas.

- Diámetro del nozzle: 0.4mm, Diámetro de filamento: 1.75 mm
- Altura de capa: 0.16mm
- Relleno: 60%
- Tipo de relleno: Rejilla
- Capas superiores: 4
- Capas inferiores: 2
- Flujo: 85%
- Con soportes
- Velocidad de impresión:
 - Perímetros: 70mm/s
 - Perímetros pequeños: 70mm/s
 - Perímetros externos: 70mm/s
 - Relleno: 70mm/s
 - Relleno solido: 70mm/s
 - Relleno solido superior: 70mm/s
 - Puentes: 70mm/s
 - Relleno: 70mm/s
 - Recorrido: 180mm/s

Se empleó el uso de herramientas digitales y RP para la creación de un modelo virtual en 3D a partir de la digitalización de una mano que sirvió como referencia tridimensional para crear el dispositivo de rehabilitación previo al diseño de un exoesqueleto funcional para la rehabilitación muscular de manos, para entender de manera tangible las limitaciones y alcances de este tipo de técnicas se realizaron pruebas virtuales y físicas para la elaboración de un prototipo de mano artrítica, estableciendo tareas y procesos reales para la generación de un modelo físico 3D que sirviera para la implementación de un exoesqueleto para la rehabilitación muscular. Después del estudio del paciente en términos de movilidad se puede evidenciar que el arco articular de movimiento mejoró, reduciéndose la rigidez de las articulaciones, permitiendo el estiramiento muscular, la

reducción del dolor y la disminución en la presión en el movimiento de los dedos lo cual significa una reducción del riesgo de la aparición de vainas tendinosas.



Figura 3 – Montaje del prototipo y montaje sobre las articulaciones.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

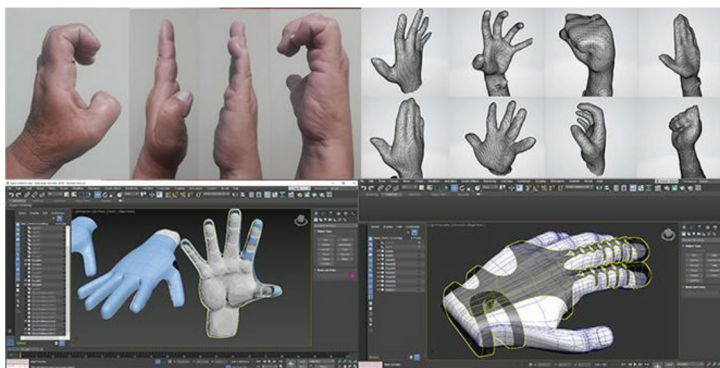


Figura 4 – Proceso de digitalización con escaneado 3D formato OBJ y preparación de modelado digital formato final STL. Fuente: (Elaboración propia, 2020).

3. Validación del modelo

El modelo virtual cumple con los requisitos preliminares de peso reducido y alta resistencia, así mismo permite el movimiento de abducción-aducción asemejando el movimiento natural de las falanges, considerando que debe poseer un sistema autónomo y actuador ligero. El uso de las técnicas de RP permite la adaptabilidad del dispositivo a la mano del paciente siendo más efectiva la rehabilitación. El modelo toma como base las consideraciones antropométricas de la población latinoamericana obtenidas por el Ministerio de Salud (MINSA) y del Instituto Nacional de Salud (INS).

Mediante la información analizada previamente, se establecieron prototipos formales de manera virtual y después mediante técnicas de RP se dio paso a la materialización por medio de impresión 3D.

De esta manera, se replicaron las geometrías de los dedos para tener un mejor acoplamiento del producto con el usuario y se propusieron hilos tensores para controlar la tensión necesaria en los movimientos de abducción-aducción, como se indica en la figura 5.



Figura 5 – Propuesta exoesqueleto.

Los métodos más extendidos actualmente para la cuantificación del proceso de mejora son los cuestionarios específicos para enfermedades reumáticas como el Health Assessment Questionnaire (HAQ) o su versión reducida conocida como Modified Health Assessment Questionnaire (MHAQ). Estos cuestionarios evalúan la opinión del paciente y del terapeuta sobre la enfermedad y su tratamiento centrado en aquellas características referentes a la mejora física (Esteve-Vives et al., 1994).

Los dos tipos de cuestionarios mencionados están dirigidos al análisis general de la artritis en todo el cuerpo, en este caso solo se tomaron campos puntuales en los que se pueden evaluar criterios relacionados con el agarre de la mano.

		Nivel de Dificultad			
		Sin dificultad	Con alguna dificultad	Con Mucha dificultad	Incapaz de hacerlo
Nº Actividades		0	1	2	3
Precisión	1 Vestirse solo, incluyendo abrocharse los botones y atarse los cordones de los zapatos				
	2 Lavar y secar su cuerpo por completo				
	3 Levantar y llevar una taza o vaso a su boca				
	4 Recoger ropa del piso				
	5 Abrir y cerrar el grifo				
	6 Barrer o lavar los platos				

Tabla 2 – Adaptación tabla versión reducida MHAQ, Fuente: (Elaboración propia 2020).

La aplicación del cuestionario permite verificar la reintegración del paciente a sus actividades cotidianas, como se indica en la tabla 2, el paciente en esta primera fase determino factores conceptuales relevantes en cuanto al uso y movilidad con el

dispositivo, alineándose a la propuesta, que está dirigida a la generación de una rehabilitación autónoma bajo la asistencia de un experto.

El usuario considerado en esta experimentación se encuentra en la fase preliminar de la enfermedad, justificante proporcionado en los resultados del cuestionario, los cuales indican una solución de problemas básicos cotidianos de manera efectiva. La propuesta presentada tiene resultados eficaces desde el punto de vista de la movilidad por su diseño modular lo cual permite adaptarse de una mejor manera a la enfermedad progresivamente.



Figura 6 – Prototipado de la propuesta exoesqueleto,
Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Como factor experimental a continuación se presentará los datos referentes al progreso de la movilidad con el uso del dispositivo dentro del periodo de prueba, bajo 10 minutos de uso, los cuales son recomendados para que la articulación pierda rigidez.

Los datos tomados se encuentran en referencia a una prueba usando fotografías del sujeto antes y después de exponerse al dispositivo. Se midió el rango de movimiento estableciendo ángulos de apertura de la mano tomados en la misma posición. Estos datos están representados dentro de una curva que indica el avance que corresponde a la flexibilidad de las articulaciones para generar el movimiento, durante el tiempo de 5 meses.

			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Paciente 1	Antes	Dedo Índice	132°	144°	150°	138°	141°
		Dedo Medio	154°	148°	157°	145°	144°
	Después	Dedo Índice	167°	161°	155°	151°	146°
		Dedo Medio	166°	163°	159°	159°	147°

Tabla 3 – Medición de ángulos dedos índice y medio (Elaboración propia 2020).

Los datos tomados se encuentran en referencia a una prueba usando fotografías del sujeto antes y después de exponerse al dispositivo. Se midió el rango de movimiento estableciendo ángulos de apertura de la mano tomados en la misma posición. Estos datos están representados dentro de una curva que indica el avance que corresponde

a la flexibilidad de las articulaciones para generar el movimiento, durante el tiempo de 5 meses.

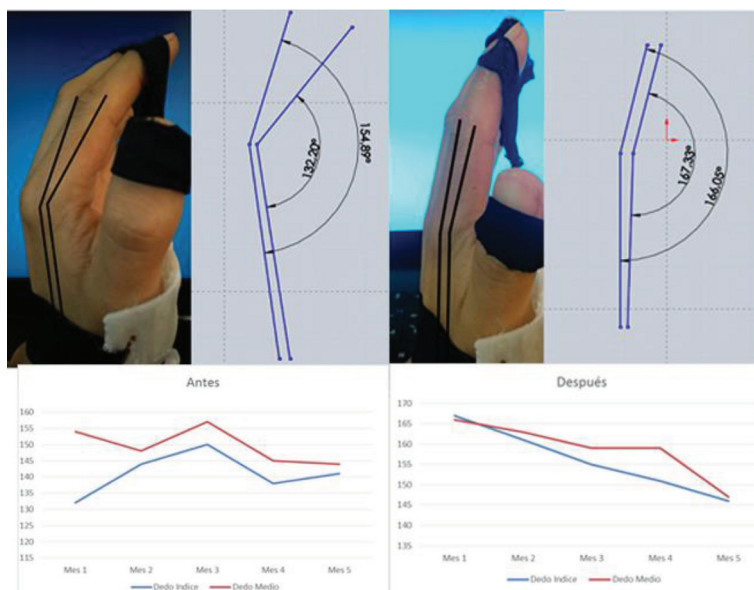


Figura 7 – Gráficas de medición de los ángulos,
Fuente: (Elaboración propia, 2020).

El avance obtenido como se muestra en las figuras es satisfactorio, se ha logrado generar movimientos activo-pasivos dentro de una etapa temprana de rehabilitación. Adicionalmente, se pudo notar una recuperación de los movimientos de agarre debido a la contra reacción que el dispositivo genera, además, brinda soporte y comodidad para el acompañamiento dentro del proceso de rehabilitación, donde el equipo es capaz de generar movimientos de flexo-extensión en el plano sagital, en el plano horizontal, sagital y en los movimientos abductores.

4. Discusión

El desarrollo del dispositivo aprovechó el uso de herramientas digitales con tecnologías de RP para brindar una mejor calidad de vida a un individuo que requiera rehabilitación activa y acompañamiento a lo largo del tratamiento de su patología. De acuerdo con el razonamiento del presente artículo, el manejo de información permitió usar de manera digital el estudio de los aspectos formales y aplicarlo en la generación de exoesqueletos adaptables según la necesidad del paciente, además, se podrían laborar estudios de antropometría comparativa de avances en la enfermedad.

El paciente que participó como sujeto de prueba estuvo expuesto al proceso de rehabilitación durante 5 meses, aquí se recabo información el primer día de cada mes, la prueba de estudio consistió en usar el dispositivo durante 10 minutos con pausas de

acuerdo con la tolerancia del sujeto, debido a una de las sintomatologías netas de la AR que es el dolor.

Se le sugirió al paciente durante este tiempo usar el dispositivo en los días donde se le suministre analgésicos para mitigar el dolor, para hacer el proceso de rehabilitación más llevadero. Bajo estas recomendaciones y con el seguimiento médico correspondiente se llegó a establecer parámetros de medición de resultados, esto ha permitido demostrar que para el desarrollo de este tipo de exoesqueletos se necesita de un trabajo multidisciplinar basado en tres ámbitos:

- Los aspectos formales (procesos de diseño y ergonomía).
- Los aspectos médicos (estudio de las patologías y de la rehabilitación tradicional).
- Los aspectos técnicos relacionados con los mecanismos (sistemas de comunicación, instrumentación electrónica, sistemas de control analógico, digital y de potencia).

5. Agradecimientos

Esta investigación ha sido desarrollada gracias a la investigación predoctoral realizadas para la tesis doctoral “Estudio sistémico de estructuras exoesqueléticas de la mano para la rehabilitación de la atrofia muscular debido a la artritis en personas adultas” de la Universitat Politècnica de Valencia.

Referencias

- Batlle Gualda, E., Mínguez Vega, M., Bernabéu Gonzáles, P., y Panadero Tendero, G. (2013). *Enfermedades Reumáticas*. Valencia: Ibáñez & Plaza Asociados S.L. ISBN: 978-84-88823-10-6.
- Borghetti, M., Sardini, E., y Serpelloni, M. (2013). Sensorized glove for measuring hand finger flexion for rehabilitation purposes. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 62(12), 3308-3314. doi: 10.1109/tim.2013.2272848.
- Cardiel, M. H., Díaz-Borjón, A., del Mercado Espinosa, M. V., Gámez-Nava, J. I., Fabris, L. A. B., Tena, C. P., y Díaz, V. G. (2014). Update of the Mexican College of Rheumatology guidelines for the pharmacologic treatment of rheumatoid arthritis. *Reumatología Clínica (English Edition)*, 10(4), 227-240. doi: 10.1016/j.reumae.2013.10.006.
- Chen, G., Chan, C. K., Guo, Z., & Yu, H. (2013). A review of lower extremity assistive robotic exoskeletons in rehabilitation therapy. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 41 (4-5). doi: 10.1615/critrevbiomedeng.2014010453.
- Kadowaki, Y.; Noritsugu, T.; Takaiwa, M.; Sasaki, D.; Kato, M.(2011) Development of soft Power-Assist glove and control based on human intent. *Journal Robotic Mechatronic* 23, 281–291.

- Massardo, L., Suárez-Almazor, M., Cardiel, M., Nava, A., Levy, R., & Laurindo, I. (2009). Management of patients with rheumatoid arthritis in Latin America. sn: Pan-American League of Associations of Rheumatology and Grupo Latino Americano de Estudio de Artritis Reumatoide. doi: 10.1097/rhu.0b013e3181a90cd8.
- Matthew Chin Heng Chua, Lim Jeong Hoon, & Yeow, R. C. H. (2016). Design and evaluation of Rheumatoid Arthritis rehabilitative Device (RARD) for laterally bent fingers. 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob). doi:10.1109/biorob.2016.7523732
- Moya, R., & Magal-Royo, T. (2019). Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano. Tsantsa. Revista De Investigaciones Artísticas, Vol. (7), 233-240. ISBN, 1390-8448.
- Silman, A. J., & Pearson, J. E. (2002). Arthritis Research, 4 (3), S265. doi:10.1186/ar578.
- Smolen, J. S., Landewé, R., Bijlsma, J., Burmester, G., Chatzidionysiou, K., Dougados, M., y Aletaha, D. (2017). EULAR recommendations for the management of rheumatoid arthritis with synthetic and biological disease-modifying antirheumatic drugs: 2016 update. Annals of the rheumatic diseases, 76(6), 960-977. doi:10.1136/annrheumdis-2016-210715.
- Wang, J., Li, J., Zhang, Y., & Wang, S. (2009). Design of an exoskeleton for index finger rehabilitation. In 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 5957-5960. IEEE. doi:10.1109/iembs.2009.5334779.
- Wege, A., Kondak, K., & Hommel, G. (2005). Mechanical design and motion control of a hand exoskeleton for rehabilitation. In IEEE International Conference Mechatronics and Automation, Vol.1, 155-159. IEEE. doi:10.1109/icma.2005.1626539
- Yap, H.K.; Goh, J.C.; Yeow, R.C. Design and Characterization of Soft Actuator for Hand Rehabilitation.
- Yap, H.K.; Lim, J.H.; Nasrallah, F.; Cho Hong Goh, J.; Yeow, C.H. (2016) Characterisation and evaluation of soft elastomeric actuators for hand assistive and rehabilitation applications. Journal Medical Engineer Technology 40, 199–209.

La realidad virtual para educación en cáncer de mama: Una oportunidad de innovar en Latinoamérica

Claudia J Uribe¹, Norma C Serrano^{1,2}, Andrea Carolina Ortiz-Badillo¹,
María Luna-González¹, Nicolás Contreras Contreras¹, Eduardo Carrillo¹

curibep@unab.edu.co; normaserrano@fcv.org; aortiz836@unab.edu.co;
mluna@unab.edu.co; jcontreras896@unab.edu.co; ecarrill@unab.edu.co

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, 680003, Santander, Colombia.

² Fundación Cardiovascular de Colombia, Bucaramanga, 681003, Santander, Colombia.

Pages: 164–174

Resumen: El cáncer de mama es el segundo cáncer más diagnosticado en el mundo y la principal causa de muerte por cáncer en mujeres; fallas en el diagnóstico oportuno impulsa a los gobiernos a implementar estrategias que favorezcan la prevención de la enfermedad y el diagnóstico temprano. Se reconoce la realidad virtual (VR) como una tecnología emergente aplicada en salud. El objetivo de este estudio fue identificar las oportunidades de la realidad virtual como herramienta de enseñanza en cáncer de mama, para ello se empleó la metodología de vigilancia tecnológica en un grupo de investigación en salud. Los resultados más relevantes identificaron poca literatura científica en el tema, variados actores para el establecimiento de alianzas y financiación y la existencia de posibles eventos para la divulgación. Se concluyó que el uso de la VR es un área de potencial desarrollo y explotación académica y comercial en cáncer de mama.

Palabras-clave: cáncer de mama; realidad virtual; educación en salud; promoción de la salud; tecnología.

Virtual reality for breast cancer education: An opportunity to innovate in Latin America

Abstract: Breast cancer is the second most diagnosed cancer and the main cause of death among women; failure in timely diagnosis encourage governments to implement strategies that favor disease prevention and early diagnosis. Virtual Reality (VR) is recognized as an emerging technology applied to health care. The objective of this study was to identify the opportunities of virtual reality as a teaching tool in breast cancer, for this, the technology surveillance methodology was used in a health research group. The most relevant outcomes identified little scientific literature on the subject, diverse actors for alliance establishment, funding and the existence of possible events for dissemination. It was concluded that VR is a potential area for academic and commercial development and exploitation in breast cancer.

Keywords: breast cancer; virtual reality; health education; health promotion; technology.

1. Introducción

El cáncer de mama es la segunda neoplasia maligna diagnosticada con mayor frecuencia en el mundo y la principal causa de muerte por cáncer en mujeres, se estima que en Colombia para el 2018 se registraron 13.380 casos nuevos y 3.702 defunciones por esta enfermedad (Globocan, 2018). La alta carga de mortalidad generada por esta enfermedad y la falta de garantía de un diagnóstico a tiempo impulsa a los gobiernos a implementar estrategias que favorezcan la prevención de la enfermedad y el diagnóstico temprano (Min Salud, 2014).

Los problemas en salud cada vez son más diversos afectando a nivel mundial grandes proporciones de individuos y generando aumento de las tasas de morbilidad y mortalidad (Knaul et. al, 2009) estas circunstancias hacen que la promoción de la salud tome un rol importante en las personas, dado que fomenta la enseñanza-aprendizaje de conocimientos, actitudes y prácticas que permitan afrontar de una manera más autónoma los propios problemas de salud de los individuos. (Ochoa, 2005; Reyes et al., 2000).

La introducción de las Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para la educación ha facilitado el aprendizaje, permitiendo al individuo ser el protagonista de la adquisición del conocimiento a través de entornos dinámicos que permiten contextualizar el aprendizaje con la realidad (Aznar, Romero, y Rodríguez, 2018; Unesco, 2018). Internet se ha convertido en la forma más fácil de obtener información, sin embargo, en salud, la mayor limitante se encuentra en que frecuentemente los contenidos pueden no ser confiables por falta de una fuente con niveles de evidencia (Sánchez, 2004).

Las TIC están en constante evolución, en los últimos años han surgido herramientas innovadoras denominadas tecnologías emergentes tales como la inteligencia artificial, la realidad aumentada y la realidad virtual (VR); esta última ha incursionado en diferentes áreas de la medicina, tales como la simulación para formación médica, fortalecimiento de habilidades quirúrgicas, apoyo en herramientas diagnósticas y tratamiento de salud mental (Barker, 2019).

Se ha evidenciado que, en salud, la población prefiere recibir contenidos con información multimedia (Jiménez et. al, 2018) con un efecto más positivo en el conocimiento y concientización sobre temas de esta área en comparación con información escrita (Occa y Suggs, 2015). Acorde con esto, la VR se muestra como una herramienta transformadora e innovadora, que permite crear escenas virtuales y simular situaciones de la realidad para que las personas puedan tener un primer acercamiento a experiencias no vividas (Carreño y Lozano, 2014). Por esta razón el objetivo de este trabajo fue identificar las oportunidades de la realidad virtual como herramienta de enseñanza – aprendizaje en cáncer de mama.

2. Metodología

Investigación de tipo descriptiva – exploratoria y revisión de la literatura de carácter narrativo que hace uso del concepto de Vigilancia Tecnológica (VT), según modelo

propuesto para un grupo de investigación en salud (Carrillo et. al, 2018), con los siguientes componentes principales:

El proceso de la VT inicia con la definición de los requerimientos de VT mediante entrevista a los investigadores para identificar las necesidades. La segunda fase, denominada planeación, establece los factores críticos de vigilancia (FCV) los cuales priorizan las necesidades de información a las que se les dará respuesta, así mismo se establecen las palabras claves, las fuentes de información y la estrategia de búsqueda a emplear, como producto de esta fase se genera un protocolo de búsqueda.

En la fase de recolección de la información, realizada por vigías, se aplica la estrategia de búsqueda en las fuentes bibliográficas establecidas, el producto de esta fase es la bitácora para registro y selección de la información. Culminada la recolección, junto con los investigadores, se realiza auditoría y depuración de la información evaluando la calidad y pertinencia de esta; consecutivamente la información seleccionada es revisada por un experto en el tema y se generan las bases de datos para diagnóstico.

En la fase de análisis de la información se procesan las bases y obtienen los resultados para la etapa de documentación y divulgación entre los potenciales beneficiarios del tema.

3. Resultados

A continuación, se detalla el desarrollo de cada una de las fases del modelo utilizado.

3.1. Identificación de las necesidades

Los investigadores enunciaron la importancia del tema propuesto a vigilar, según Globocan el cáncer de mama es un problema de salud pública que va en aumento (Globocan, 2018) y que carece de herramientas TIC innovadoras destinadas a educar y concientizar sobre el tema (Min Salud, 2014); en este contexto el objetivo de la VT fue realizar una exploración detallada del entorno para la VR en el cáncer de mama.

3.2. Planeación

En esta fase se definieron los FCV con necesidad de reconocer información estratégica del entorno: tecnología, alianzas, recursos, entorno y producción (Tabla 1). Posteriormente se derivaron las ecuaciones y estrategia de búsqueda con las palabras claves del vocabulario estandarizado de descriptores médicos (términos MeSH): *breast neoplasm, breast cancer, health education, virtual reality, multimedia and technology*.

Las fuentes bibliográficas consultadas fueron de dos clases. La primera de ellas fueron las bases de datos con evidencia científica más reconocidas en el área médica (Medline), en el área de ingenierías (IEEE xlore) Y la segunda correspondió a información de internet para la búsqueda de productos académicos y soluciones comerciales de VR. Así mismo, se realizó búsqueda de patentes a nivel internacional en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual-OMPI y para Colombia en la Superintendencia de Industria y Comercio. La búsqueda de eventos y financiadores de proyectos de realidad virtual se hizo en la web.

Factor Crítico	Temas críticos para vigilar	Justificación
<i>Tecnología</i>	Productos de VR en educación de cáncer de mama	Reconocimiento de la VR como estrategia educativa en cáncer de mama
<i>Alianzas</i>	Entidades con experiencia en uso de TIC y Grupos de investigación	Posibles actores con los cuales establecer contacto para propuestas relacionadas con el tema
<i>Recursos</i>	Patrocinadores de proyectos de desarrollo de TIC	Entidades públicas o privadas que financian proyectos de Ciencia Tecnología e Innovación o salud
<i>Entorno</i>	Normas técnicas para desarrollo de realidad virtual	Normas técnicas para la producción de contenidos de VR
<i>Producción</i>	Revistas científicas	Revistas para publicación de artículos con resultados de proyectos de VR
	Eventos de educación, tecnología, ginecología y cáncer	Congresos nacionales e internacionales en los que se puede presentar proyectos de VR
<i>Tecnología</i>	Desarrollos en VR y Ca Ma	Tipos de VR para uso como herramienta educativa
	Equipos de hardware para desarrollo de la VR	Herramienta necesaria para la producción de contenidos en VR

Tabla 1 – Factores críticos de vigilancia establecidos para la VT de la VR en Ca de Mama

3.3. Recolección, auditoría y análisis de la información

Se realizó la búsqueda en las fuentes de información y se excluyeron temas que hablaran de la VR como herramienta diagnóstica, VR asociada a procedimientos médicos, temática relacionada con complicaciones clínicas de cáncer de mama, pronóstico del cáncer de mama y generalidades del cáncer de mama. La información fue recolectada y registrada en bases de datos en Excel.

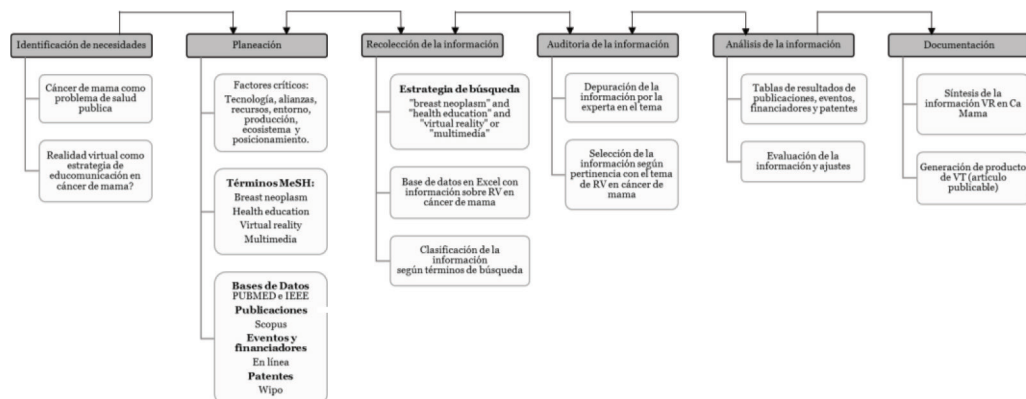


Figura 1 – Proceso de vigilancia tecnológica desarrollado para VR y Ca Ma.

La auditoría fue realizada junto con un experto en el tema, para ello se tomaron las diferentes bases de datos con los resultados, estos fueron seleccionados y organizados

según su relación con los temas. Finalmente se hizo ajuste y profundización de los datos más relevantes, generándose tablas resumen de los diversos resultados para publicaciones, eventos, financiadores y patentes.

La Figura 1 muestra el detalle de cada uno de los componentes desarrollados y el flujo de información en cada etapa de la VT.

3.4. Síntesis de los mejores resultados de las búsquedas

En primer lugar, a través de las bases de datos Medline e IEEE xplora se identificaron 1594 artículos y se descartaron 54 por duplicado. Junto con un experto, fueron revisados por título los 1540 artículos restantes reduciendo la muestra a 57 artículos para lectura del resumen. Finalmente fueron leídos 15 artículos en texto completo y 7 se incluyeron en el ejercicio final de VT.

Autores y año	Institución y país	Título	Aporte al desarrollo del tema
<i>Parveau y Adda, 2018</i>	Université du Québec à Rimouski, Canada	3iVClass: a new classification method for Virtual, Augmented and Mixed Realities	Definición del concepto de realidad virtual según los criterios de inmersión, interacción e información, en ese sentido la VR es una tecnología que permite al usuario experimentar una inmersión totalmente virtual en la que interactúa con objetos virtuales en un plano de 360 grados
<i>López, 2018</i>	Universidad de Valladolid, España	La realidad virtual como recurso educativo en las ciencias experimentales	Exploración del pasado, presente y futuro de la realidad virtual y análisis DOFA de esta herramienta tecnológica como recurso educativo
<i>Aznar, Romero, y Rodríguez, 2018</i>	Universidad de Granada, España	Virtual Reality mobile technology in education: a review of the state of scientific literature in Spain	La VR es una herramienta potencialmente educativa, dado la persona se expone a un aprendizaje experiencial y significativo en él se sitúa en medio de la acción que está sucediendo siendo partícipe de lo que ocurre a su alrededor en el mundo virtual
<i>Kyaw et al. 2019</i>	Nanyang Technological University, Singapore	Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration	Sugiere que la realidad virtual mejora el conocimiento y habilidades de los profesionales de la salud en comparación con la educación tradicional u otros tipos de educación digital
<i>Jimenez, Cummings, y Wang, 2018</i>	University of Sydney, The Crown Princess Mary Cancer Centre, Westmead Hospital, Australia	Patient education using virtual reality increases knowledge and positive experience for breast cancer patients undergoing radiation therapy	Impacto de la realidad virtual como herramienta educativa en el entrenamiento para el control de la ansiedad en pacientes con cáncer de mama previo al inicio de las radioterapias

Autores y año	Institución y país	Título	Aporte al desarrollo del tema
<i>Camargo et. al, 2013</i>	Federal University of Uberlandia, University of Vale do Paraiba, Brasil	Virtual Rehabilitation in Women with Post Breast Cancer – A Case Study	Definición de la realidad virtual como herramienta para el tratamiento del dolor secundario al cáncer de seno, el uso del software propuesto muestra que esta tecnología es útil en la rehabilitación
<i>Tan et. al, 2018</i>	National Cancer Centre Singapore, Duke University School of Nursing, USA- Singapore	The effects of a video-based education in women with newly diagnosed breast cancer in Singapore	El uso de una educación adicional basada en video es útil dado que aumenta significativamente los niveles de conocimiento sobre el cáncer de seno entre las mujeres

Tabla 2 – Producción científica y académica con resultados en VR y Ca Ma.

En cuanto a tecnología se reconoció el progreso en lentes de realidad virtual, actualmente están disponibles en el mercado tres tipos de lentes: para dispositivos móviles, para conexión a pc y lentes autónomas, de marcas reconocidas como líderes en tecnologías y telecomunicación.

Para la identificación de posibles alianzas, en cuanto a investigación se reconocieron 57 grupos en las áreas de ginecología, cáncer, promoción de la salud, TIC y comunicación; de ellos 10 han utilizado la realidad virtual como herramienta para el aprendizaje.

Para la divulgación de las experiencias de VR, se documentó la promoción de 17 eventos académicos con periodicidad anual o bianual en: Colombia (n=8), en Latinoamérica (n=4) y de ámbito mundial (n=5). Del mismo modo se identificaron 13 entidades públicas y privadas financiadoras de proyectos en Ciencia Tecnología e Innovación o en salud, 2 de ellas en Colombia, 2 en Latinoamérica y 9 en el ámbito internacional.

Para difusión de producción científica se hallaron 39 revistas para publicación de artículos con resultados de proyectos de VR y Ca Ma. Se identificaron 14 revistas reconocidas por Publindex en Colombia y 25 revistas indexadas en Scopus.

Base de datos	Ámbito	Área	Total de revistas	Revistas para publicar artículos de VR en Ca Ma
<i>Publindex</i>	Nacional	Ciencias médicas y de la salud	35	10
		Ingeniería y tecnología	29	4
<i>Scopus</i>	Internacional	Enfermería avanzada y especializada	50	3
		Investigación en Ca	13	1
		Medicina	421	12
		Enfermería	52	9

Tabla 3 – Revistas para publicación de artículos con resultados de proyectos de VR y Ca Ma.

4. Discusión

La aplicación del modelo de VT se ratificó como la mejor forma de realizar la exploración sistematizada de la VR, lo que permitió reconocer, organizar y analizar la diversa información para la solución del objetivo planteado en cuanto a educación en Ca Ma.

La VR surgida en el año de 1973, es un espacio de simulación computarizada de la realidad que en dependencia del hardware utilizado tiene la capacidad de generar un alto grado de inmersión (Otero y Flores, 2011), pese a este largo período de invención, solo hasta 2016 se reconoce un auge y universalización (Seidel y Chatelier, 2013). Para tener una experiencia de VR acorde a las expectativas es necesario elegir un hardware e interfaz de software que se ajuste a las necesidades de las aplicaciones y los usuarios. Esta evolución y necesidades respaldan los hallazgos de este estudio en cuanto a la disponibilidad actual en el mercado de 16 tipos de lentes de VR, con diversas características, pertinentes a evaluar según la diversidad de proyectos e inversión que se desee realizar.

A pesar de que desde la década de los 90 se reconocen estudios en el campo teórico de esta tecnología como medio de comunicación, solo hasta los últimos años múltiples autores se han interesado en la VR como canal de información y como potencial herramienta de comunicación para la transmisión de información en diferentes disciplinas (Biocca y Levy, 2013; Flores, Camarena, y Avalos, 2014; Levin, Weiss, y Keshner, 2015; Ong y Nee, 2013; Rubio y Gértrudix, 2016).

Investigadores reconocen en la VR una poderosa herramienta para la enseñanza, y sugieren que su uso en los procesos de enseñanza/aprendizaje genera beneficios superiores con respecto a la utilización de los métodos de aprendizaje tradicionales (Cañellas, 2015; Cuesta y Mañas, 2016). En ese sentido la capacidad de proporcionar una experiencia inmersiva le ha permitido ser una alternativa de aprendizaje, con incursión en diferentes disciplinas, entre ellas, las ciencias de la salud (Gromala, Tong, y Choo, 2015; Kyaw et al., 2019; Thorsteinsson, 2013). En esta área se ha evidenciado su efectividad como herramienta de simulación y entrenamiento al personal de salud en habilidades complejas para procedimientos médicos (Vankipuram et. al, 2014), y para los pacientes como complemento de medios diagnósticos (Baskaran et. al, 2006)

Adicionalmente, la literatura describe experiencias del uso de la VR como herramienta educativa en pacientes con cáncer de mama, por ejemplo, previo al inicio de radioterapia y quimioterapias. Jiménez (2018) describe el impacto de la VR como herramienta educativa para el entrenamiento y control de la ansiedad antes de radioterapia y Zhang (2019) y Chirico (2019) investigaron los efectos de la VR en los pacientes que son sometidos a quimioterapia; estos estudios sugirieron que la VR fue útil como intervención para aliviar la ansiedad y mejorar los estados de ánimo de estos pacientes. Sin embargo, no se encontró desarrollo de la VR como recurso para educación de personas sanas, lo que le puede constituirse en un área interesante de ser explorada.

El uso de la VT buscó identificar oportunidades y anticiparse a los cambios. En ese sentido Latinoamérica se visualiza como una región en la cual el desarrollo de VR para educación en cáncer de mama tendría un buen mercado, favorecido por el potencial de esta tecnología emergente y la característica de simulación de la realidad, lo que le permite adoptar en sus desarrollos la diversidad cultural de la región y convertirla

en una herramienta atractiva, acorde a los gustos y necesidades de las poblaciones. Adicionalmente, se encontraron diversas fuentes de financiación en las cuales aplicar para el desarrollo de estos productos, con alianzas entre actores y grupos de investigación, lo que permitiría la formulación de proyectos interdisciplinarios y la posibilidad de producción académica que puede ser difundida en variedad de congresos y medios de publicación indexados.

5. Conclusión

El uso de la VR como herramienta de enseñanza – aprendizaje de cáncer de mama presenta poca evidencia científica, sin embargo se identifica oportunidades para alianzas de colaboración, financiación y divulgación en Latinoamérica, por lo que se constituye en un área de potencial desarrollo y explotación académica y comercial. Experiencias de VR, para la promoción de la salud y prevención de la enfermedad, con contenidos basados en la evidencia científica, podrían ser una estrategia innovadora para educación de las comunidades.

Referencias

- Aznar I., Romero, J.M., & Rodríguez, A.M. (2018). La tecnología móvil de Realidad Virtual en educación: una revisión del estado de la literatura científica en España. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 7(1), 256-274. doi: <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i1.10139>
- Barker, P. (2019). Virtual Reality: theoretical basis, practical applications. *ALT-J Research in Learning Technology*. doi: 10.1080/0968776930010103
- Baskaran, V., Bali, R., Arochena, H., Raouf, N., Wallis, M., & Wheaton, M. (2006). Knowledge Creation Using Artificial Intelligence: A Twin Approach to Improve Breast Screening Attendance. In *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*. New York City, NY, USA, 4070 – 4073
- Biocca, F., & Levy, M. R. (2013). *Communication in the age of virtual reality*. Routledge
- Camargo, C., Cavalheiro, G., Cardoso, A., Lamounier, E., Andrade, A. O., & Mendes, (2013). Virtual rehabilitation in women with post breast cancer—a case study. *Virtual Rehabilitation (ICVR), International Conference on: IEEE*.
- Cañellas, A. (2015). Formaciones de introducción a la Realidad Virtual Inmersiva y de creación de contenidos VR con Unity 3D. Algunas experiencias. *Comunicación y pedagogía: Nuevas tecnologías y recursos didácticos*, 287-288, 82-86
- Carreño, P., Lozano, J. (2014). Ambientes virtuales de aprendizaje 3D. *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*. Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-84-7666-210-6 – Artículo 963
- Carrillo, E., Páez, M. C., Suárez, J. M., Luna, M. L. (2018) Modelo de vigilancia tecnológica para la gestión de un grupo de investigación en salud. *MedUNAB*, 21(1): 84-99. doi: 10.29375/01237047.2746

- Chirico, A., Maiorano, P., Indovina, P., Milanese, C., Giordano, G., Alivernini, F., Iodice, G., Gallo, L., De Pietro, G., & Lucidi, F. (2019). Virtual reality and music therapy as distraction interventions to alleviate anxiety and improve mood states in breast cancer patients during chemotherapy. *Journal of Cellular Physiology*, 235(6). doi: <https://doi.org/10.1002/jcp.29422>
- Cuesta, U., & mañas, L. (2016). Integración de la realidad virtual inmersiva en los Grados de Comunicación. *Revista de Comunicación Audiovisual y Nuevas Tecnologías*, 14 (2), 1-21
- Flores, J., Camarena, P., & Avalos, E. (2014). La realidad virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Apertura*, 6 (2), 1-10
- GLOBOCAN Internacional Agency for Research on Cancer (2018). *Breast Source* [Internet]. Retrieved from <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/20-Breast-fact-sheet.pdf>
- Gromala D, Tong X, Choo A, et al. (2015). The virtual meditative walk: Virtual reality therapy for chronic pain management. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 521–524
- Jimenez, Y., Cumming, S., & Wang, W. (2018). Patient education using virtual reality increases knowledge and positive experience for breast cancer patients undergoing radiation therapy. *Support Care Cancer*, 26, 2879–2888. doi: <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4114-4>
- Jiménez, E., Mariscal, G., Heredia, M., & Castilla, G. (2018) Virtual Reality versus Master Class: a comparative study. In *Proceedings of the 6th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. New York, NY, USA: ACM Ed. doi: <https://doi.org/10.1145/3284179.3284276>
- Kyaw, B. M., Saxena, N., Posadzki, P., Vseteckova, J., Nikolaou, C. K, George, P. P, Divakar, U., Masiello, I., .Kononowicz, A. A, Zary, N., Tudor, C. L. (2019). Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration. *J Med Internet Res*, 21(1):e12959 doi: 10.2196/12959
- Knaul, F. M, López, L., Lazcano, E., Gómez, H., Romieu, I., & Torres, G. (2009). Cáncer de mama: un reto para la sociedad y los sistemas de salud. *Salud Pública de México*, 51(Supl. 2), 138-140
- Min Salud (2014). *Cáncer de mama una enfermedad en ascenso en Colombia* [Internet]. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/-Cancer-de-mama,-una-enfermedad-en-ascenso-en-Colombia.aspx>
- Levin, M. F., Weiss, P. L., & Keshner, E. A. (2015). Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Physical therapy*, 95(3), 415-425

- López, V. M. (2018). *La realidad virtual como recurso educativo en las Ciencias Experimentales*. Universidad de Valladolid, España.
- Occa, A., & Suggs, L. (2015). Communicating Breast Cancer Screening With Young Women: An Experimental Test of Didactic and Narrative Messages Using Video and Infographics, *Journal of Health Communication*, 0:1–11. doi: 10.1080/10810730.2015.1018611
- Ochoa R (2005). Promoción de salud. Fundamentos de Salud Pública. *La Habana: Editorial Ciencias Médicas*; 554-62
- Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2013). Virtual and augmented reality applications in manufacturing. Springer Science & Business Media.
- Otero, A., & Flores, J. (2011). Realidad Virtual, un medio de comunicación de contenidos: Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en espacios públicos. *Icono 14* (185-211)
- Parveaua, M., Adda, M. (2018). 3iVClass: a new classification method for Virtual, Augmented and Mixed Realities. *Procedia Computer Science*, 141, 263–270
- Reyes, G., Grau W., Labrada J., & Labrada P. (2000). Cómo hacer más efectiva la educación en salud en la atención primaria?. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 15(2), 176-183
- Rubio, J. L., & Gértrudix, M. (2016). Virtual reality (HMD) and Interaction from the Perspective of Narrative Construction and Communication. *Propuesta Taxonómica Icono 14*, 14 (2), 1-24. doi: 10.7195/ri14.v24i2.965
- Sánchez D. (2004). Las tecnologías de la información y la comunicación: sus opciones, sus limitaciones y sus efectos en la enseñanza. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, ISSN: 1578-6730
- Seidel, R. J., & Chatelier, P. R. (2013). Virtual Reality, Training's Future?. Perspectives on Virtual Reality and Related Emerging Technologies. *Springer Science & Business Media*, 6
- Tan, M., Kim Hua, L., Wei Sean, Y., & Cheryl, R. (2018). The effects of a video-based education in women with newly diagnosed breast cancer in Singapore, *Supportive Care in Cancer*. doi: <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4258-2>
- Thorsteinsson, G. (2013). Developing an Understanding of the Pedagogy of Using a Virtual Reality Learning Environment (VRLE) to Support Innovation Education. *The Routledge International Handbook of Innovation Education*. Edited by LV Shavinina. Oxford: Routledge. ISBN-10, 415682215, 456-470
- UNESCO (2018). *Las TIC en la Educación* [Internet]. Retrieved from <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion>.

- Vankipuram, A., Khanal, P., Ashby, A., Vankipuram, M., Gupta, A., DrummGurnee, D., Josey K., & Smith, M. (2014). Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18 (4), 1478 – 1484.
- Zhang, B., Xavier, M., Malekirad, J., & Giap. H. B. (2019). Virtual Reality Therapy Can Improve Fatigue and Cognitive Function after Radiation and Chemotherapy. *PlumX Metrics*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2019.06.1173>

An eHealth web platform based on linear-programming models for scheduling intervention plans for children with developmental delays

Javier Cornejo-Reyes^{1,2}, Paola Suquilanda-Cuesta¹, Vladimir Robles-Bykbaev¹, Yaroslava Robles-Bykbaev¹, Katherine González-Arias¹

pedro.cornejo@tecazuay.edu.ec; psuquilandac@est.ups.edu.ec; vrobles@ups.edu.ec;
zrobles@ups.edu.ec; kgonzalez2@est.ups.edu.ec

¹ GI-IATa, Cátedra UNESCO - Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa, Universidad Politécnica Salesiana, 010105, Cuenca, Ecuador.

² Instituto Superior Tecnológico del Azuay, 010107, Cuenca, Ecuador.

Pages: 175–187

Abstract: According to UNICEF, 93 million children 14 years old and younger in the World present moderate or severe developmental delays or disabilities. Several studies point out that the time between pregnancy and six years are crucial for the children's development. In Latin America, it is common that teachers and early childhood educators must work with groups of 30 or more children, having not enough time for planning strategies for intervention on children with Special Educational Needs (SEN). For these reasons, in this paper, we present an eHealth web platform to design four-weeks intervention plans for children with SEN automatically. The platform contains a mathematical kernel based on Integer Linear Programming (ILP) and considers six areas of cognitive development of children between two and five years. To test the platform, we worked with 29 experts with a broad experience working with children, and the results obtained confirm that it is necessary to have these kinds of tools to improve the early stimulation process on children with SEN.

Keywords: early stimulation; Web platform; Integer Linear Programming; Timetabling; Children with Special Educational Needs.

1. Introduction

The latest estimates provided by UNICEF claim that poverty, poor nutrition, and lack of access to Early Childhood Development (ECD) are the reasons why more than 43 percent of children (250 million) under five years are at risk of not fulfilling their full developmental potential (Britto, Engle & Super, 2013).

In the same line, several studies claim that children who do not receive adequate health, nutrition, early stimulation, learning opportunities, etc. can present lowered cognitive, language and psychosocial skills (UNICEF, 2017). Several studies carried in low and middle-income countries suggest that the prenatal period and the first 24 months after birth are considered critical times for stunting to be associated with later cognition, executive function, and school attainment (Black et al., 2017).

Some key facts related to early childhood development are the following (UNICEF, 2017; World Health Organization, 2012):

- More than 80% of a baby's brain is formed by the age of 3. In the same line, 15 minutes of daily playing can spark thousands of connections in his/her brain.
- 300 million children under 5 years of age have been exposed to societal violence.
- In a low- or middle-income country, being a child that had a poor early development could mean being in the future an adult that earns one-quarter less in income.

On the other hand, in Latin America nowadays, most of the institutions for special education do not have enough resources, infrastructure, or trained personnel to attend hundreds of children per week. In Ecuador, it is typical for a school teacher, therapist, or special educator to attend several children each day, and at the same time, prepare reports, make intervention plans or provide assessment services.

For the above reasons, we have developed an eHealth web platform based on the timetabling problem, aimed at helping teachers, special educators, or therapists planning intervention activities for early stimulation in children.

Timetabling basically solves resource allocation problems automatically; several authors have presented works focused on solving a specific problem. The main areas in which this technique is focused are: Activities related to education, Universities, Colleges, Computer Centers, Institutes, Faculties, Careers, transport activities and activities that involve human resources in companies.

The problems of Scheduling in Universities have been extensively studied in Literature, among them (Azis & Aizam, 2018; Babaei, Karimpour & Hadidi, 2015; Mirhassani & Habibi, 2011; Naderi, 2016). (Demasse, Pesant, Rousseau, 2005) propose a timetabling problem to assign employees to a call center. Other assignment case is presented in the work of (Hoc, Guerin, & Mebarki, 2014).

Our tool has the following functionalities: a) covers six areas of cognitive development of children between two and five years; b) can generate a four-weeks intervention plan for children with SEN, suggesting different topics that belong to each of the six areas previously mentioned, and c) the platform users can specify which areas want to work with the child.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2, we present a brief overview of the two pillars on which our model is based: the pedagogical criteria, and the mathematical algorithm. The ILP model, as well as the web platform's general architecture, are described in Section 3. The pilot experiment carried out with 29 Ecuadorian experts as well as its preliminary results, are presented in Section 4. Finally, Section 5 presents the conclusions and some ideas for future work.

2. Materials and methods

This study was based on two types of methodologies: the first underpins the pedagogical criteria that underpin the algorithm used for the platform, while the second methodology refers to the technical parameters used in the design of the Platform.

An early stimulation session is a sequence of activities or exercises previously planned to stimulate different areas of development. The stimulation session is led by a professional in the area and in which on some occasions it requests the collaboration of the parents or caregivers of the child.

The areas to be worked will be fine and gross motor skills, language, cognition, socialization and self-help. To create effective sessions for users and avoid delays in the day-to-day work, a web platform has been created to allow a session to be managed in a timely and appropriate manner.

The web platform is trained to create sessions according to chronological and developmental age considering that a range of 6 months to 1 year has been established with respect to its chronological age.

This web platform creates a successful stimulation session considering the time factor that in this case 45 minutes. Since during this period the stimulator has the appropriate time to start with a animation, I work with the children according to the areas posed by the platform and to finish the evaluation of what was acquired. In turn it is also considered the days that the user attends the sessions during the week this is important since it allows the areas to be stimulated not to be repeated without rather being met in the same number of times and thus favors the development and improvement of the patient.

The duration of a session is important, as they cannot be very short, as the different activities and moments of the session will not be able to be met. Also, if the session is very extensive it will not be a significant learning, as the child may be tired as well as the professional and the performance will not be adequate.

The web platform prepares a stimulation session considering all the areas of development to systematize them in an organized way during the different sessions that are given during the week for these areas to be worked equally.

The web platform prepares a stimulation session considering all the areas of development to systematize them in an organized way during the different sessions that are given during the week for these areas to be worked equally.

Motor area: the goal of working this area is that the child can increase his muscle tone, balance, control over his body and move freely.

Language area: here the child will learn to communicate with his medium because he will develop an expressive and comprehensive communication in order to understand his surrounding environment.

Social area: the child will feel part of an environment in this case of his family that is the closest, as time goes on his environment will expand and therefore it is essential that the participation of the parents or caregivers is positive because they will be the ones in charge to provide security, affection, to meet your needs.

Self-help area: in this area the child will learn habits and actions of daily life from the simplest to the most complex which will help him to create independence.

Cognitive area: it is important to develop the cognitive area since as the child grows becomes more curious which will help him discover his medium.

Therefore, it is substantial to properly distribute these areas in the different stimulation sessions this will help to make a more accurate session considering the age of the children.

This study implemented a web platform for dynamically managing and customizing work session planning in the area of early stimulation for children between 2 and 5 years old. When working with optimization techniques (in the case of our ILP study), it is necessary to take into account two factors: the first factor concerns the search for a feasible solution, and the second factor focuses on the accuracy of that solution (understand as an accurate solution to those solutions that present an $error \leq 5\%$; for this error rate to be reliable, it must be accompanied by a correct formulation of the ILP model) (Calle-López et al, 2018).

3. Results

This study focused on the generation of working session schedules within early stimulation using ILP, this last allowed to program an algorithm that was subsequently implemented using the Python PuLP library.

Once the mathematical model and its implementation have been validated, a web platform was developed to parameterize the model from a user-friendly and intuitive interface. This platform was evaluated through a survey applied to teachers in the area of early stimulation of the Institutions of basic education: Unidad Educativa Particular Santa Mariana de Jesús and the Centro de Desarrollo Infantil Pequeños Traviesos that allowed determine perception about aspects such as: colors, typography, ease of use, platform utility, understanding of platform usage, navigability and accessibility; this survey was previously validated by the Cronbach Alpha test.

3.1. Proposed model with ILP

Integer Linear Programming is a technique based on constraints that allow to delimit the problem and thus obtain an optimal model that conforms to the pedagogical nature on which this study is based. For the latter, a series of meetings were planned with qualified staff and expert in initial education, early stimulation and early intervention of basic education institutions in the city of Cuenca (Unidad Educativa Particular Santa Mariana de Jesús and the Centro de Desarrollo Infantil Pequeños Traviesos), which made it possible to accurately identify the institutional needs of primary education.

Prior to the implementation of the PLE-based mathematical model it is necessary to identify the set of data and parameters required to formulate the problem of generating working hours for early stimulation sessions for children aged 2 to 5 years (See Table 1). Each of these sets and parameters are called the inputs.

Sets	Set elements
Set of days	$i \in D = \{0,1,2,3,4,5 \dots,19\}$
Set of days for week 1	$(a, b) \in D_b = \{0,1,2,3,4\}$

Sets	Set elements
Set of days for week 2	$(c, d) \in D_d = \{5,6,7,8,9\}$
Set of days for week 3	$(e, f) \in D_f = \{10,11,12,13,14\}$
Set of days for week 4	$(g, h) \in D_h = \{15,16,17,18,19\}$
Set of slots by day	$j \in \{1,2,3,4\}$
Set of estimation areas	$k \in \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_8\}$
Chronological differences set	$l \in \{1,2\}$
Min_week matrix which relates the stimulation areas with the minimum load of hours per week	$\text{MinWeek} = R^{\text{difage x areas}}$
Max_week matrix which relates the stimulation areas with the maximum load of hours per week	$\text{MaxWeek} = R^{\text{difage x areas}}$

Table 1 – Sets available for the work schedule allocation model for early stimulation sessions.

The Timetabling problem in our case is a IPL-based model that requires the formulation of an objective function (see Equation 3.1), as it allows to define the relationship of the datasets (see Table 2), as well as the optimization criterion (maximize or minimize the solution), since in turn it allows to solve the IPL system and to create the feasible solution.

To solve the IPL-based model, we focused on maximizing the target function was selected so that the generated responses provide solutions that optimize the occupancy of the generated spaces (working hours) allocated within the schedule) and avoid generating white space between sessions. The formulation of the objective function is seen in (Equation 3.1):

$$\text{maximize } z = \sum_i \sum_j \sum_l \sum_k X_{ijkl}$$

Where

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{ijkl} : \text{Binary decision variable that determines whether the area } k \\ \text{that belongs to a chronological difference } l \text{ is assigned to} \\ \text{slot } j \text{ in a } i \text{ day.} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

$$X_{ijkl} = \begin{cases} 1 & \text{if area is assigned correctly,} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

3.1.1. Constraints

The constraints used to model the IPL algorithm are then used:

Constraint 1

This constraint allows to restrict the possibility of an area of early stimulation repeating more than one time for each period (6-month chronological difference or 12-month chronological difference) in the same day (Equation 3.2).

$$\sum_k X_{ijkl} \leq 1, \forall i, j, l \quad (3.2)$$

Constraint 2

With this Constraint what is sought is not to exceed the maximum number of days that can be performed for each session in each of the areas of early stimulation; as well as to ignore the minimum number of sessions that can be done per week. In order to incorporate this constraint for each of the four weeks that is one month, the constraints have been divided by an individual analysis per week. Here's the detail:

$$\forall n \mid n \in (\text{week1}, \text{week2}, \text{week3}, \text{week4})$$

The constraint for week n is implemented with the corresponding range of days according to defined in Table 2. We must evaluate that the number of sessions per area is not less than the defined minimum number and is not greater than the maximum number of areas defined.

$$\sum_{i=a}^b \sum_j X_{ijkl} \geq \text{WeekMin}_{kl} \leq \text{WeekMax}_{kl}, \forall k, l \quad (3.3)$$

Constraint 3

This constraint was implemented to prevent the occurrence of more than once each period (6-month chronological difference or 12-month chronological difference).

$$\sum_l X_{ijkl} \leq 1, \forall i, j, k \quad (3.4)$$

Constraint 4

Constraint that allows the model to penalize all assignments that contain more than one occurrence for a period (whether 6-month difference or 12-month difference) in a session for each of the days.

$$\sum_j \sum_l X_{ijkl} = 1, \forall i, k \quad (3.5)$$

3.2. Web Platform Implementation

The platform developed is focused on the generation and planning of activities for early stimulation in children who have a difference of 6 and 12 months between cognitive development and their chronological age; this is intended to facilitate and automate the planning of activities, since this task is no longer manual to be replaced by an automated system based on the application of parameterization criteria previously defined by professionals in the Area.

The early stimulation-focused activity generation and planning platform is developed in the ReactJS programming language backed by a PLE-based mathematical core implemented in Python. The platform is developed for web environment.

The system parameterization flow and functionality are described below:

A structure called Wizard is presented, which has been mentalized to accompany the user during the process, so that the user always be aware of what instruction he is in.

Step 1, called “Areas”, allows the selection of early stimulation areas that you want to add to the planning model. The areas we have contemplated are social, laterality, body parts, colors, emotions, norms, rhythms and numbers (see Figure 1).

Figure 1 – Step 1 called “Areas”. The available area selector for user selection is displayed.

For each area, the minimum and maximum number of hours that can be allocated per week must be indicated. By default, the platform generates the value of 1 for the weekly minimum load and the value of 4 for the maximum allowed. While these values have been entered by default, the teacher/guardian may modify them according to the need of the institution. These parameters are very important, as they will be sent to the core of the platform and entered as constraint parameters for the algorithm that generates the schedule.

Once the values have been entered, it should be continued (see Figure 2):

#	Activity	Minimum hours per week	Maximum hours per week
	Social	1	4
	Laterality	1	4
	Body Parts	1	4
	Colors	1	4
	Emotions	1	4
	Rules	1	4
	Rhythms	1	4
	Numbers	1	4

Figure 2 – Step 2 of the time generation flow. The summary of the configuration made by the teacher/guardian is presented.

Finally, in step 3 the platform generates the schedule, for this it receives the configuration made by the teacher /tutor and with it the algorithm models the schedule according to the calculations made based on constraints and parameters entered throughout the process.

Figure 3 shows in detail the schedule of the generated schedule for each of the weeks. The generated planning presents the results for groups with difference of 6 months and for 12 months. It should be noted that according to the criteria of the professional who guided the process, each activity lasts 45 minutes.

Generated schedule #1

Week 1

#	Days	Period	Activities 6 months	Activities 12 months
	Monday	08:00-08:45	NUMBERS	RHYTHMS
		08:45-09:30	SOCIAL	BODY PARTS
		09:30-10:15	RULES	EMOTIONS
		10:15-11:00	COLORS	LATERALITY
	Tuesday	08:00-08:45	RULES	LATERALITY
		08:45-09:30	BODY PARTS	COLORS
		09:30-10:15	NUMBERS	SOCIAL
		10:15-11:00	RHYTHMS	EMOTIONS
	Wednesday	08:00-08:45	RHYTHMS	SOCIAL
		08:45-09:30	EMOTIONS	COLORS
		09:30-10:15	BODY PARTS	NUMBERS
		10:15-11:00	RULES	LATERALITY
	Thursday	08:00-08:45	SOCIAL	BODY PARTS
		08:45-09:30	COLORS	RULES

Figure 3 – Planning the schedule generated for week 1.

4. Experts perceptions about the platform: preliminary results

Finally, a validation process was carried out about the perception that teachers have in the area of early stimulation on the implemented web platform. The process was carried out with the participation of 29 basic training teachers belonging to two institutions (Unidad Educativa Particular Santa Mariana de Jesús and Centro de Desarrollo Infantil Pequeños Traviesos) of this training. 18 questions were asked to determine the perception that users (teachers) have about the proposed platform.

The data obtained through the surveys were statistically validated using the Cronbach Alpha Test; the quotient of this test was 0.86, reflecting an internal coherence between the items (questions) of the survey.

For the preparation of this survey, experts in the area of early stimulation, language therapy, software engineers, physician and statistics were used; that is, the survey was determined by a multidisciplinary team.

The survey was applied to a random sample of teachers; Prior to the process of applying the survey, it was necessary to explain how to fill it out, but also a demonstration was made for the use and navigation of the platform.

Below are the most relevant results in terms of descriptive statistical analysis (central trend and dispersion measures) applied to the data obtained from the survey above.

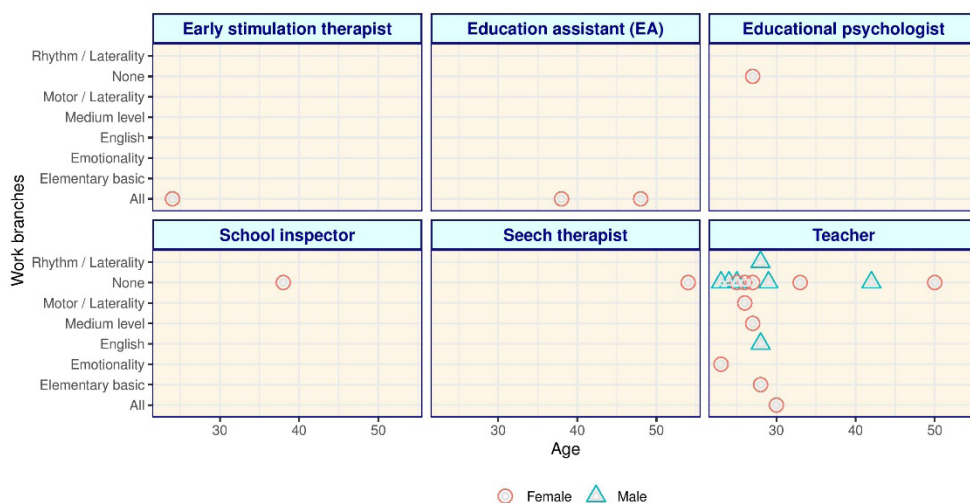


Figure 4 – Distribution of teachers surveyed according to gender and areas of early stimulation in which it performs.

Figure 4 shows the distribution of teachers surveyed; according to the graph most (75%) female teachers between the ages of 30 and 40, working with children in other areas (mathematics, physical culture, and basic general education), while the remaining 25% of respondents are teachers from the area of early stimulation and language, an educational psychologist, an education assistant and an inspector. Only stimulation professionals (both early and language) and early education assistants work in areas of rhythm, laterality and motor skills. Classroom teachers operate in the area of general basic education. Therefore, they do not work in the above areas (answer “None of the above”).

Figure 5 shows respondents’ perception of using ITCs to plan schedules for early stimulation activities for children. It shows their responses on a Likert scale, through which male language therapists consider being “totally in agreement” (100%) and “very agree” (100%). While 76.5% of female language therapists consider “very necessary”, and (33.3%), they consider it “absolutely necessary”, as well, teachers and inspectors also consider it “absolutely necessary” (33.3% respectively).

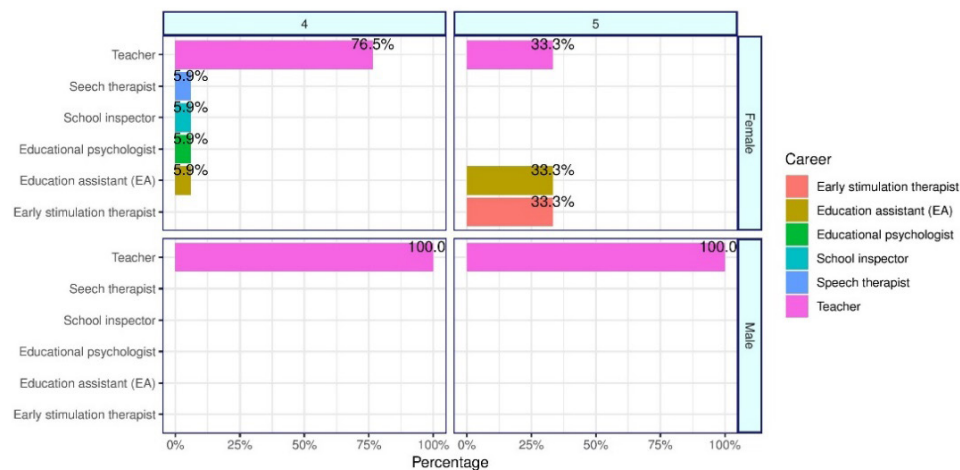


Figure 5 – Perception about using TICs to plan schedules.

This difference of opinions regarding the perception of the need for ITCs to generate schedules and improve early stimulation in children based on gender and profession. Well, clearly, professionals in the area of early stimulation agree on the need to use this technological tool to improve stimulation, and therefore learning in children.

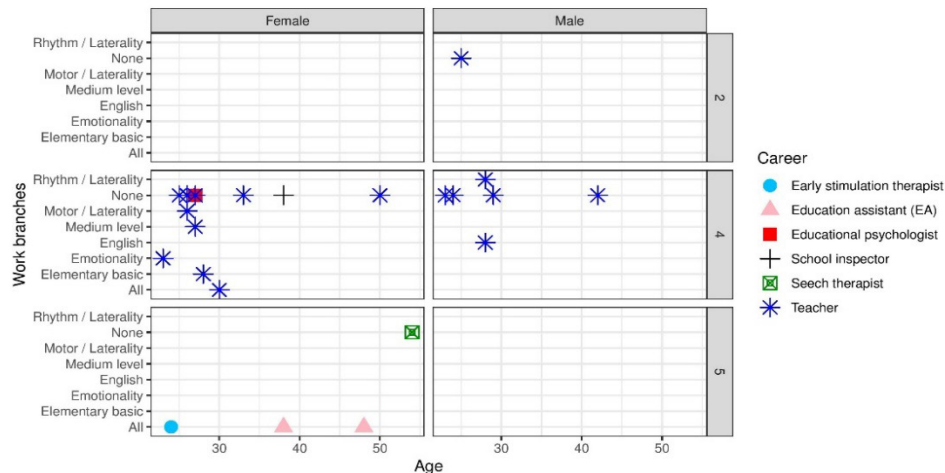


Figure 6 – Perception about understanding the information presented on the platform.

Note that in Figure 6 the perception of respondents' understanding of platform screens for planning schedules for early stimulation. It is appreciated that teachers, both male and

female, mostly consider screens to be “very understandable” to generate schedules for early stimulation, while therapists (early stimulation, language) and auxiliary education they consider to be “totally understandable.” In both cases they are professionals between 30 and 50 years of age (including a 40-year-old teacher), and work in different areas according to their profile: laterality, others, motor skills, emotions, English, rhythm and general basic education.

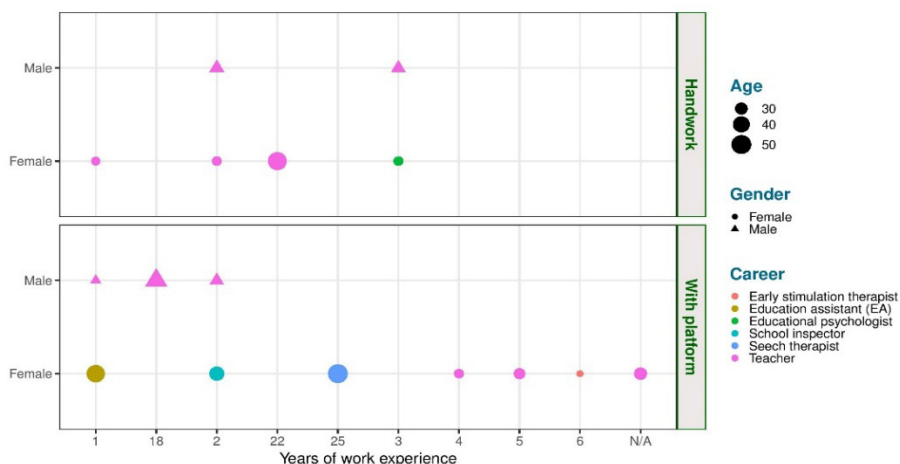


Figure 7 – Perception about time optimization with the use of the platform.

Figure 7 clearly shows that respondents regardless of profession, with work experience between 1 and 25 years of experience, both female and male, and between 30 and 50 years, consider it faster to plan hours for stimulation platform, while few teaching professionals, and the educational psychologist consider it to be faster manually.

5. Conclusions

With the results and previous analysis, it can be predicted that the survey reflects the importance of the proposed tool to improve the generation of schedules, therefore early stimulation in children. In addition, this tool is understood as easy to use and very necessary for this purpose.

Proposals such as the one that has been exposed, are a tool that allows to strengthen the area of education and apprenticeship through TICs and mathematical modeling techniques that facilitate the work of professionals from different areas working with children.

On the other hand, it's important to emphasize that stimulation sessions are focused on developing or strengthening skills in infants. Therefore, when a session is given it is taken as a reference 6 or 12 months of developmental delay, that is, if the child is 2 years

old activities can be established from the first year of age in order for the child to fulfill skills that may not have them or just strengthen them.

Future lines of work are proposed:

- Develop a genetic algorithm that can generate more feasible timetable options to carry out the intervention process in children.
- Develop a module to collect the feedback proposed by the users of the platform and thus evaluate the relevance of a schedule proposed by the system.

References

- Aziz, N. L. A., & Aizam, N. A. H. (2018, September). A brief review on the features of university course timetabling problem. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2016, No. 1, p. 020001). AIP Publishing LLC.
- Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 43-59.
- Black, M. M., Walker, S. P., Fernald, L. C., Andersen, C. T., DiGirolamo, A. M., Lu, C., ... & Devercelli, A. E. (2017). Early childhood development coming of age: science through the life course. *The Lancet*, 389(10064), 77-90.
- Britto, P. R., Engle, P. L., & Super, C. M. (Eds.). (2013). *Handbook of early childhood development research and its impact on global policy*. Oxford University Press.
- Calle-López, D., Cornejo-Reyes, J., Pesántez-Avilés, F., Robles-Bykbaev, V., Rodas-Tobar, M., & Vásquez-Vásquez, C. (2018, March). A university administration system to automatically assign courses to teachers and support the design of timetables through mathematical modeling and restrictions analysis. In 2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE) (pp. 1-5). IEEE.
- Calle-López, D., Cornejo-Reyes, J., Pesántez-Avilés, F., Rodas-Tobar, M., Vásquez-Vásquez, C., & Robles-Bykbaev, V. (2018). Un sistema experto basado en minería de datos y programación entera lineal para soporte en la asignación de materias y diseño de horarios en educación superior. *Enfoque UTE*, 9(1), 102-117.
- Cornejo Reyes, P. J. (2018). *Diseño e implementación de un algoritmo matemático basado en optimización para la generación de horarios de clases en la Universidad Politécnica Salesiana* (Master's thesis).
- Demasse S., Pesant G., Rousseau LM. (2005) Constraint Programming Based Column Generation for Employee Timetabling. In: Barták R., Milano M. (eds) *Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems*. CPAIOR 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 3524. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hoc, J. M., Guerin, C., & Mebarki, N. (2014). The nature of expertise in scheduling: the case of timetabling. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 24(2), 192-206.

- Mirhassani, S. A. & Habibi, Farhang. (2011). Solution approaches to the course timetabling problem. *Artificial Intelligence Review - AIR*. 39. 10.1007/s10462-011-9262-6.
- Naderi, B. (2016). Modeling and Scheduling University Course Timetabling Problems. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 5(1 (4)), 1-15.
- UNICEF. (2017). Early Moments Matter for Every Child. UNICEF. 3 United Nations Plaza, New York, NY 10017.
- UNICEF. (2017). UNICEF's Programme Guidance for Early Childhood deveploment. Unicef.
- Universidad de Buenos Aires. (2011). Programación lineal entera. Recuperado de http://www.dm.uba.ar/materias/investigacion_operativa/2011/2/capit_5.pdf
- Universidad Técnica Federico Santa María. (2001). Programación lineal entera. Recuperado de <https://www.inf.utfsm.cl/~mcriff/fio/ilp.html>
- World Health Organization. (2012). Care for child development: improving the care of young children.

Design of an IoT Architecture in Medical Environments for the Treatment of Hypertensive Patients

Maikel Yelandi Leyva Vazquez¹, Bianca Salinova Morán Arteaga¹,
Jordy Andrés Muñoz López¹, Miguel Angel Quiroz Martinez¹

mleyva@ups.edu.ec; bmorana@est.ups.edu.ec; ymunozl@est.ups.edu.ec; mquiroz@ups.edu.ec

¹ Universidad Politecnica Salesiana, Chambers 227 y 5 de Junio, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 188–200

Abstract: The growth of the population with heart problems has increased due to several factors. The present investigation focused on patients who present with a growing pathology such as Arterial Hypertension (HTA). For this reason, it was determined to carry out the design of an IoT architecture in medical environments for the treatment of Hypertensive patients using the TOPSIS method, which will be of great help in choosing the appropriate model and obtaining greater control in people who suffer from it, especially those vulnerable ranges of blood pressure and obtain greater monitoring of patients with HT in the country. The present work takes the form of a descriptive and analytical study about the architectures designed in medical environments, thus demonstrating that by merging technology and health, great tools are obtained that will allow us to offer real-time controls to inspect the health of patients, granting a better quality of lifetime.

Keywords: HTA; IoT; architecture; technology; monitoring.

1. Introduction

Globally, Hypertension has obtained an index of 1.13 billion people with morbidity that increases annually according to figures from the WHO(World Health Organization) (“Hipertensión,” n.d.-a), the percentage of people with cardiovascular problems is not reduced in large part due to lack of prevention or late diagnosis. In Ecuador, according to figures from the National Health and Nutrition Survey (ENSANUT) until 2012, the prevalence in the population aged 18 to 59 was 9.3%, being more frequent in men with 11.2% than in women with 7.5 % (“Encuesta Nacional de Salud y Nutrición,” n.d.); of the total population according to data from the National Institute of Statistics and Censuses (INEC) in 2017 there were 3,409 deaths from hypertensive diseases (“Causas de enfermedad y muerte.jpg (1000×1415),” n.d.), due to these increase figures and the benefits that technologies such as IoT give us, it was proposed to carry out the design of an IoT architecture in medical environments for the treatment of information for the benefit of the health of hypertensive patients, which will show the usefulness that can be obtained through the association of technology and health. The overall purpose of this

IoT architecture design proposal is to offer patients, after a proper medical diagnosis, the doctor in charge will provide this option for the further monitoring, reinforcing the surveillance of those people who suffer from arterial hypertension through the use of wearables (smart accessories) or physical activity monitoring bracelets which will monitor their blood pressure, reducing the possibility of a hypertensive crisis.

2. Methodology

2.1. IoT in Health

The internet of things or IoT (Internet of Things) are devices or sensors that are connected to the internet through wireless or wired networks. (Cárdenas, Otero, Blandón, & Santander, 2015)

The internet of things is an area of great interest within the health field in which it provides many people, regardless of their social status, to benefit from the services that through the IoT will be provided and that in several countries are already being proposed. A key aspect of the IoT is the expansion of interconnected nodes, while in turn becoming a major challenge for increasing new communication protocols and topology readjustment. (Mendoza, Hernández, Núñez, & Molinares, 2016)

2.2. What is hypertension?

Blood pressure is the force produced by the blood pumped by the heart against the walls of the arteries when beating, blood pressure is expressed with two values: the highest is systolic and the lowest is diastolic, when these values are very high, it is estimated to be hypertension. (“Hipertensión,” n.d.-b)

“According to Dr. Vera, the value of systolic pressure corresponds to the emotional level, be it stress, tiredness, fatigue, etc.; but diastolic pressure is probably a sign of a physiological problem in the patient’s body.” (J. Vera, personal communication, April 22, 2020)

The blood pressure values according to the American College of Cardiology Foundation (ACC) and the American Heart Association, Inc (AHA) are: (Arnett et al., 2019)

CATEGORY	Systolic pressure value	Diastolic pressure value
Normal	<120 mmHg	<80 mmHg
High	120-129 mmHg	<80 mmHg
Hypertension		
Stage 1	130-139 mmHg	80-89 mmHg
Stage 2	≥140 mmHg	≥90 mmHg
Hypertensive crisis	>180 mmHg	>120 mmHg

Table 1 – Table of Blood Pressure Values according to ACC and AHA.

3. IoT Architecture Proposal

3.1. Recommended architectures

The architectures that were taken into account to make the choice of the most viable model for the elaboration of the design are:

- Client-Server Architecture: An important aspect of this style is that it allows the connection of many clients with the services provided by a server. (“Modelo cliente servidor: ¿Qué es? Características, Ventajas y Desventajas,” n.d.)
- Peer to Peer architecture: This type of style allows any user of the network to start or end a task, unlike the client / server model in which each user plays a single role. (Valencia & Emilse, n.d.)
- Layered Architecture: This model is the fundamental technology for the development of e-business applications, applications with high levels of scalability, reliability, performance and integration without any type of failure in regards to legacy systems. (Acosta Gonzaga, Álvarez Cedillo, & Gordillo Mejía, 2006)
- SOA Architecture: This model focuses on business applications or processes that include business functionalities. (Romero, 2006)

Each of these architectural styles was evaluated using the TOPSIS method to obtain the correct model. TOPSIS is a multi-criteria decision method of selecting alternatives to order a finite number of options; the resulting alternative will obtain the greatest distance to the ideal negative distance and the smallest distance to the ideal positive solution. For this reason, we can argue that the main idea of TOPSIS originates from a decision-making problem with multiple criteria and can be solved by ranking the problem raised. (Ceballos, Lamata, Pelta, & Sanchez, 2013)

Alternatives A , criteria C , weights of each criterion w_j , and a decision matrix $X_{ij} = U_j(A_i)$ will be determined, U being the utility function of the decision maker, which operates in order to obtain the maximized / minimized criteria according to the requirement. (Ceballos et al., 2013)

	w_1	w_2	...	w_n
	C_1	C_2	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...	...	...	...	...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

Figure 1 – Scheme of a decision matrix.

The steps to reach the correct model choice will be shown below:

1. Define decision matrix

WEIGHT	0,4	0,2	0,2	0,2
	Scalability	Performance	Security	Integration
Client - server	4	4	3	4
By layers	4	4	3	5
Of services	5	2	3	5
Peer-to-Peer	4	4	3	4

Table 2 – Decision Matrix of the TOPSIS Method.

The weight of the criteria to be evaluated must be assessed and the evaluation of each alternative must be made according to each criterion.

2. Normalize the decision matrix

The expression used to normalize the matrix is $n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2}}$; This is done to make comparisons between each criterion.

Vector standard	8,544003745	7,211102551	6	9,055385138
	Scalability	Performance	Security	Integration
Client - server	0,468164589	0,554700196	0,5	0,441726104
By layers	0,468164589	0,554700196	0,5	0,55215763
Of services	0,585205736	0,277350098	0,5	0,55215763
Peer-to-Peer	0,468164589	0,554700196	0,5	0,441726104

Table 3 – Normalize Decision Matrix / TOPSIS.

3. Build the weighted standardized decision matrix

It is calculated from the expression $v_{ij} = w_j \times n_{ij}$ being w_j the weight determined at each criterion.

	Scalability	Performance	Security	Integration
Client - server	0,187265836	0,110940039	0,1	0,088345221
By layers	0,187265836	0,110940039	0,1	0,110431526
Of services	0,234082294	0,05547002	0,1	0,110431526
Peer-to-Peer	0,187265836	0,110940039	0,1	0,088345221

Table 4 – Normalized Weighted / TOPSIS Method.

4. Determine positive and negative ideal alternative (SIP) (SIN)

It is obtained from SIP (A^+) and SIN (A^-) from the following expressions:

$$A^+ = \{V_1^+, \dots, V_n^+\} = \left\{ \left(\max v_{ij}, j \in J \right) \left(\min v_{ij}, j \in J' \right) \right\}$$

$$A^- = \{V_1^-, \dots, V_n^-\} = \left\{ \left(\min v_{ij}, j \in J \right) \left(\max v_{ij}, j \in J' \right) \right\}$$

where J refers to the benefit criteria and J' refers to cost criteria.

	Max	Max	Max	Max
	Scalability	Performance	Security	Integration
Ideal	0,234082294	0,110940039	0,1	0,110431526
Antideal	0,187265836	0,05547002	0,1	0,088345221

Table 5 – Alternative / TOPSIS Method.

5. Calculation of distance measurements

The distances d^+ and d^- corresponding to the positive and negative ideal solutions respectively, are given by the following expressions:

$$d^+ = \left\{ \sum_{j=1} \left(v_{ij} - v_j^+ \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad d^- = \left\{ \sum_{j=1} \left(v_{ij} - v_j^- \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

	D+	D-
Client - server	0,051764715	0,05547002
By layers	0,046816459	0,059705343
Of services	0,05547002	0,051764715
Peer-to-Peer	0,051764715	0,05547002

Table 6 – Distance Measures / TOPSIS Method.

6. Calculation of the proximity relative to the ideal alternative

The relative proximity R of the positive ideal solution is obtained with the function:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

If the result of R is close to 1, it will be closer to being the ideal solution.

	Pi
Client – server	0,517276607
By layers	0,560498807
Of services	0,556772422
Peer-to-Peer	0,517276607

Table 7 – Proximity calculation / TOPSIS.

7. Order preferences

	D+	D-	Pi	Rank
Client - server	0,051764715	0,05547002	0,51727661	3
By layers	0,046816459	0,059705343	0,56049881	1
Of services	0,05547002	0,051764715	0,55677242	2
Peer-to-Peer	0,051764715	0,05547002	0,51727661	4

Table 8 – Preferences / TOPSIS.

According to the calculation made using the TOPSIS method, the following can be observed, in the RANK column, the first place comes from the layered architecture, that due to its characteristics make it the most feasible model due to its criteria and benefits in the development with IoT, which causes a better performance of the architecture.

3.2. Components

For the elaboration of this architectural design, we take into account these components that we will describe below:

1. **Wearable:** They are smart devices that provide users with quick and easy access to technology. The term “Wearable” means that it can be “worn”, that is, it is a usable technology. (Luque Ordóñez, 2016)
2. Due to the sensors they contain to interact with the human body or the environment, Wearables have the ease of performing the same tasks that a computer or mobile device performs. (Luque Ordóñez, 2016)
3. **Server:** A server is a device or application that is in charge of meeting customer requests and in turn returns a response according to the request received.
4. **Smartphone:** Also known as smart phones, their name is due to the fact that they fulfill the function of a mobile phone and in turn have the ability to store data, perform simultaneous activities and even tasks that would be done by a computer.
5. **Terminal Equipment:** It is an electronic machine which receives, stores and returns results according to the data or tasks to be performed.
6. **Patient:** It is the person whose state of health is indisposed by what needs to be assisted by a doctor.
7. **Database:** It is a grouping of data which belongs to the same environment or context and in turn is stored in a database manager for later use.
8. **Physician in Charge:** He is a professional whose objective is to provide assistance to people who have a disease and help their recovery.

3.3. Recommended wearables

To date there is a wide variety of smartwatches that offer to measure blood pressure, despite the fact that most of them are not accurate, which is not recommended to choose one of them randomly without evaluating their margin of error or certification granted by entities international health.

Under the previously indicated criteria, the following were selected:

- **Omron HeartGuide:** It is the first portable and clinically accurate blood pressure monitor approved by the FDA (US Food and Drug Administration) with a current price of \$499 it is accurate to ± 3 mmHg and meets ISO 81060-2:2013 requirements. ("HeartGuide™ Wearable Blood Pressure Monitor | Healthcare Wellness & Healthcare Products," n.d.)
- **Samsung Galaxy Active 2:** the Korean company announced on April 21, 2020 the approval by MFDS (South Korean Ministry of Food and Pharmaceutical Safety). After a software update in the coming months, blood pressure will be obtained through its Samsung Health application combined with the sensors of your smartwatch, which allows obtaining accurate values as indicated by the Samsung page, it requires calibration once a month. Its current cost is \$379. ("Mide tu presión arterial con Galaxy Watch – Samsung Newsroom España," n.d.)
- **Smart Band M4:** A bracelet of unknown origin and manufacturer, which offers to measure, is not certified by any international association or entity; however, according to several blogs, its precision varies ± 20 mmHg with respect to diastolic pressure depending on its fit on the patient's wrist; it is found in the Ecuadorian market for a value between \$15 and \$20. There are other smartwatches on the market with similar characteristics and prices; however, their margin of error is not specific and they do not have established certifications. ("Reloj Inteligente Smart Bracelet M4 Resistente Al Agua Sport," n.d.)

Regarding the mentioned wearables, it is recommended to use the Omron HeartGuide in this architecture due to its availability, certified margin of error and FDA approval, which positions it as the most accurate and reliable; taking into account that its negative point is the price it currently maintains.

3.4. Scheme

In the following image (Figure 2) shows the schematic designed according to the proposed architecture in which its functionality is displayed.

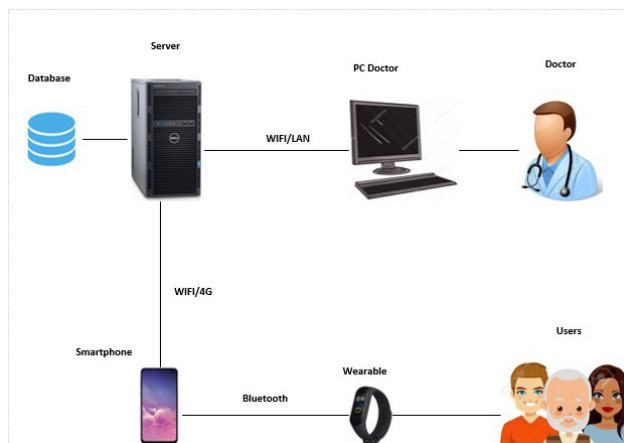


Figure 2 – Outline of IoT Architecture Oriented to Medical Environments.

Briefly, we can describe that patients diagnosed with hypertension will wear wearables, which will measure their blood pressure every 10 minutes or according to the time defined by the attending physician; these BP (blood pressure) values will be stored in the databases and will be available for evaluation as required by the delegate doctor.

3.5. Process

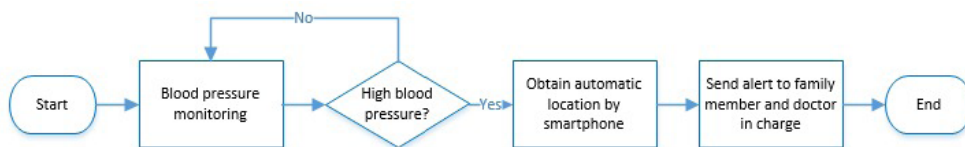


Figure 3 – Sending alert from the Wearable to the Smartphone.

An architecture operating scenario will be where there is a variation in blood pressure, the smartwatch will evaluate if the measurement values are high, will send an alert to a family member and the doctor charge to assess the patient's condition and can receive timely care keeping the individual stable to avoid further complications in their health.

3.6. Design

The architectural proposal shows a layered style where the necessary components will be subdivided so that the architecture can provide service to patients and management to the doctors in charge. It has different features that help reduce complexity while being scalable, highly available and secure. This guarantees the development of this, allowing to welcome more patients who can enjoy the benefits granted.

As for its layers, they are designed to separate the components, allowing a logical distribution that we present below:

1. **Device Layer:** In this layer are all the devices used by the patient to collect their health data (blood pressure) such as a wearable or smart bracelet, which requires to be connected via wireless Bluetooth Low Energy to a Smartphone that will be in charge of managing the data obtained from the wearable through an application hosted on it.
2. **Communication Layer:** It will be in charge of making the connection between the devices using protocols that will allow connectivity with the cloud; among the most mentioned are:
 - **HTTP:** It works through the TCP / IP protocol providing reliability, however applied in the IoT the link that is made through TCP will be released in each access, which causes an overloads and excess consumption of network resources. (Yokotani & Sasaki, 2017)
 - **MQTT:** This protocol was outline for low energy consumption devices because its infrastructure handles publications and subscriptions where they must be registered by a “subject”. (Yokotani & Sasaki, 2017)
 - **CoAP:** It is similar to MQTT but with the difference that it uses M2M (Machine to Machine) applications. (Shelby, Frank, & Sturek, 2010)

For the proposed architecture that mentioned the use of the MQTT protocol it is recommended for its comprehensive advantages compared to other protocols previously mentioned, ensuring the flow of information to be sent from the sensors to the cloud with a requirement very low bandwidth.

3. Cloud layer: This layer represents the storage where all the final data collected by the devices will be housed to the patients in their entirety; in turn, it will provide access for the next layer to make use of that information.
4. Analytical Layer: It will be in charge of treating the data that is in the cloud, carrying out analysis on the scenarios presented by the patient in order to obtain statistics that allow the evolution of this to be demonstrated and generating models that will be evaluated by control applications, all of the above is known as Machine Learning. This analysis will ensure accurate final statistics of the patient's blood pressure status.

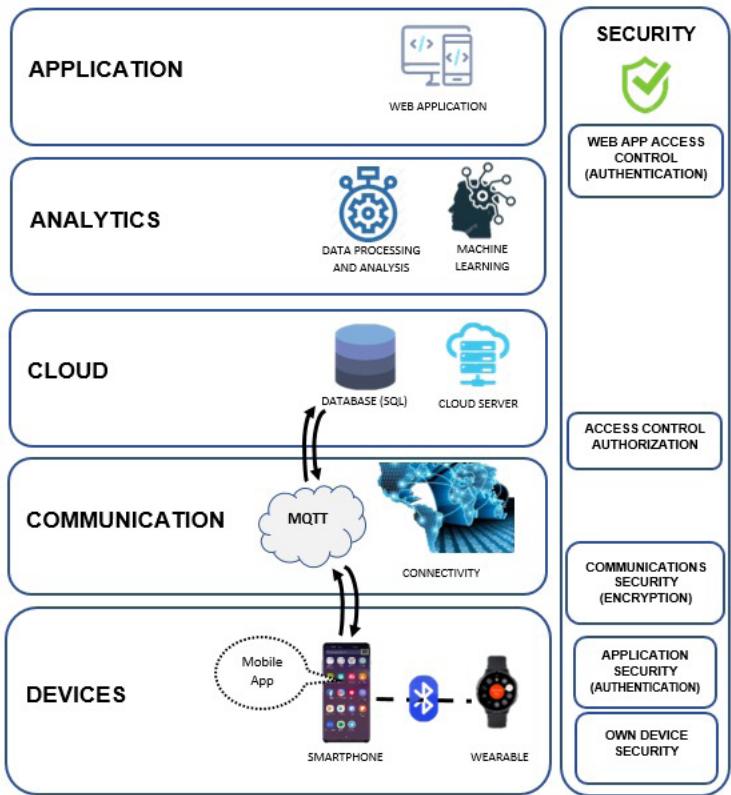


Figure 4 – Architecture Design Oriented to Medical Environments.

5. Application Layer: Tool that allows the assigned doctor, an interface access to the information of each patient who is in charge, providing detailed information through various options that allow you to analyze the patient's blood pressure data to assess the state in which it is find the individual. This tool should be

designed as a web application offering quick access from any device with an internet connection. (“Industria 4.0 | Aprendiendo Arduino,” n.d.)

6. Security layer: Each device must have its own security, in the case of the smartphone, it will have a management application connected to the wearable which will request authentication from the user, the communication layer (Gateway and network) would have their security depending on the protocol they use, guaranteeing the connection in a secure way, this communication will have to include an encryption of the data, regarding the cloud layer, when sending a storage request, you must request authorization to be able to execute the process of recording information on your servers or databases, and to finish in the application layer, the doctor in charge must authenticate their access by using credentials to avoid misuse of the information obtained; the proposed architecture must have audits and key management making this a robust architecture. (Gerber, 2017)

4. Results

The result will be constant monitoring of the blood pressure of patients diagnosed with hypertension who are under medical surveillance using the architecture proposed in figure 3, allowing the pressure values to be obtained accurately in order to detect some high variation in pressure and to avoid a possible hypertensive crisis that affects the patient's health even more.

In the pressure values shown in table 9, it is validated, the patient has an alteration of his blood pressure from normal to high, this alteration is notified to the doctor and a relative, then his pressure becomes hypertension in his stage 1 but manages to decrease his pressure because he receives the attention of the attending physician when detecting variations with respect to the values established by the ACC and AHA.

Date	Hour	Systolic pressure	Diastolic pressure	Category
23/02/2020	15:20	116	71	Normal
24/02/2020	15:30	116	74	Normal
25/02/2020	15:40	120	75	Normal
26/02/2020	15:50	127	79	High
27/02/2020	16:00	131	84	Hyper stage 1
28/02/2020	16:10	130	84	Hyper stage 1
29/02/2020	16:20	129	79	High

Table 9 – Table of blood pressure collection values.

5. Discussion

According to the expected results, the patient's blood pressure can be constantly displayed and controlled, which, in case of suffering any alteration in your BP, can receive timely attention from the doctor in charge, assessing through the application the current state of

the individual's BP and in turn notifying the designated family member through an alert in order to avoid a hypertensive crisis that results in even more serious complications affecting health patient. Likewise, said collected data remain at the doctor's disposal for his use and to be able to emit a criterion on how the patient evolves with the prescribed treatment when using the proposed architecture in combination with the indicated medication. As mentioned, can ensure full functionality, providing this alternative as an option for continuous measurement of blood pressure with reliable values.

Background indicates that in Ecuador there is a large influx of people with HTA where one of the main causes is the lack of knowledge on the subject, inadequate nutrition from an early age or lack of medical control; these factors increase the morbidity and mortality rates in the country. The proposed architecture aims to provide scalability, fluidity and security, where its main characteristics is adaptability to growth without losing quality, which provides the patient and especially the doctor with the reliability to guarantee the blood pressure measurement taken by the smartwatch.

6. Recommendations

- The patient should not allow another user to use the wearable while maintaining connection with their smartphone in which their active session is located, since an incorrect blood pressure would be taken.
- Try to keep the connection via Wi-Fi or mobile data active to keep the information collected synchronized.
- Register in the management application the update contact family details for emergencies.
- Follow all the medical prescriptions designated by the doctor in charge.
- Test the architecture with new certified smartwatches that appear on the market, at a lower cost.
- Create new architectures based on the proposal, allowing monitoring of the other detected pathologies.

7. Conclusions

The conclusions obtained demonstrate how the use of a selection method can help to choose the most viable option according to mathematical calculations for the benefit of the proposed proposal, for this reason, the TOPSIS method was used to choose an architectural style that provides different characteristics, adding value to the proposal. In the same way, great benefits that can be created from the union of branches such as medicine and technology that are very useful for people in general are exposed. It is evident how constant measurement of blood pressure can be facilitate the control of hypertensive patients and may even avoid possible complications in them.

References

Acosta Gonzaga, E., Álvarez Cedillo, J. A., & Gordillo Mejía, A. (2006). Arquitecturas en n-Capas: Un Sistema Adaptivo. *Polibits*, 34, 34–37. <https://doi.org/10.17562/pb-34-7>

- Arnett, D. K., Blumenthal, R. S., Albert, M. A., Buroker, A. B., Goldberger, Z. D., Hahn, E. J., ... Ziaieian, B. (2019). 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 74(10), e177–e232. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.03.010>
- Cárdenas, J. C., Otero, L. C. M., Blandón, J. R., & Santander, J. V. (2015). LAS COSAS EN SALUD *, 6(1), 14–25.
- Causas_de enfermedad_y muerte.jpg (1000×1415). (n.d.). Retrieved February 5, 2020, from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Infografias-INEC/2019/Causas_de enfermedad_y muerte.jpg
- Ceballos, B., Lamata, M. T., Pelta, D., & Sanchez, J. M. (2013). El método topsis relativo vs. Absoluto. *Recta*, 14(2), 181–192.
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. (n.d.).
- Gerber, A. (2017). Simplifique el desarrollo de sus soluciones de IoT con arquitecturas de IoT. *Developer Works*, 1. Retrieved from <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-lp201-iot-architectures/index.html>
- HeartGuide™ Wearable Blood Pressure Monitor | Healthcare Wellness & Healthcare Products. (n.d.). Retrieved April 27, 2020, from <https://omronhealthcare.com/products/heartguide-wearable-blood-pressure-monitor-bp8000m/#Features>
- Hipertensión. (n.d.-a). Retrieved February 5, 2020, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>
- Hipertensión. (n.d.-b). Retrieved April 27, 2020, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>
- Industria 4.0 | Aprendiendo Arduino. (n.d.). Retrieved January 16, 2020, from <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/industria-4-0/>
- Luque Ordóñez, J. (2016). Dispositivos y tecnologías wearables. *Acta*, 1–16.
- Mendoza, P. S., Hernández, K. Á., Núñez, C. V., & Molinares, D. J. (2016). Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar. *Salud Uninorte*.
- Mide tu presión arterial con Galaxy Watch – Samsung Newsroom España. (n.d.). Retrieved April 27, 2020, from https://news.samsung.com/es/mide-tu-presion-arterial-con-galaxy-watch#_ftnref3
- Modelo cliente servidor: ¿Qué es? Características, Ventajas y Desventajas. (n.d.). Retrieved February 8, 2020, from <https://blog.infranetworking.com/modelo-cliente-servidor/>
- Reloj Inteligente Smart Bracelet M4 Resistente Al Agua Sport. (n.d.). Retrieved April 27, 2020, from <https://www.colmenarestecnologia.com/relojes-inteligentes/258-reloj-inteligente-smart-bracelet-m4-resistente-al-agua-sport-.html>

- Romero, P. (2006). Arquitectura de software, esquemas y servicios. *Ingeniería Industrial*, 27(1), 1.
- Shelby, Z., Frank, B., & Sturek, D. (2010). Constrained application protocol. *CoRE IETF WG, Draft. Shelby-Corecoap-00*, 1–118. Retrieved from <http://tools.ietf.org/html/ietf-core-coap-17.txt><http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>[http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-110.5150/2012/luennot-files/Lecture 7-CoAP.pdf](http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-110.5150/2012/luennot-files/Lecture%207-CoAP.pdf)<http://tools.ietf.org/html/ietf-core-coap-17.txt>
- Valencia, V., & Emilse, L. (n.d.). Exploración de arquitecturas basadas en P2P para la distribución de televisión por suscripción (IPTV), 1–17.
- Yokotani, T., & Sasaki, Y. (2017). Transfer protocols of tiny data blocks in IoT and their performance evaluation. *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2016*, 54–57. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2016.7845442>

A rehabilitation system based on robotic gloves, mobile apps, and non-relational databases for patients with partial paralysis

Nathalia Peralta-Vasconez¹, Cristian Cajamarca-Ludizaca¹, Julio Cabrera-Hidalgo¹, Marco Amaya-Pinos², Vladimir Robles-Bykbaev¹.

nperaltav@est.ups.edu.ec; ccajamarcal@est.ups.edu.ec; jcabrerahi@est.ups.edu.ec; vrobles@ups.edu.ec; mamaya@ups.edu.ec

¹ GI-IATA, Cátedra UNESCO-Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa, Universidad Politécnica Salesiana, 010107, Cuenca, Ecuador.

² Mechanical Engineering, Universidad Politécnica Salesiana, 010107, Cuenca, Ecuador.

Pages: 201–212

Abstract: People suffering from partial paralysis of the body or extremities are mainly due to a stroke, the way that people can regain their lifestyle is through therapy, the use of soft robotic gloves for hand rehabilitation, offers many advantages to therapists and patients. In this document we propose a hand rehabilitation system consisting of a robotic glove that performs the manual grip movement and a multiplatform mobile application for iOS and Android called Re-Hand, the robotic glove was designed with portability in mind. Then, a dynamic and static analysis was performed in the ANSYS Workbench 2019 software to validate the design. This system interacts with the patient and the therapist through the application, developed in Flutter and integrated with Firebase. It also digitizes patient information and stores the history of exercises performed, the therapist can generate reports and view the progress of the patient. This research is an iteration of the previously developed hand rehabilitation system.

Keywords: hand rehabilitation; prototype analysis, mobile apps; partial paralysis.

1. Introduction

The decrease of mobility in the upper extremities, the loss of sensation or paralysis, are the results of one of the most common causes of a stroke, also known as cerebrovascular accident (CVA). A stroke leaves approximately more than 50% of its survivors with different grades of damage in their hands function (Franck, Smeets, & Seelen, 2018). Some of the consequences are hemiparesis, which is the loss of muscle control, involuntary contractions, spasticity, and impaired coordination, including hand grip (Cabrera, Peralta, Robles, Pérez, & Amaya, 2019). Around 15 million people are affected by strokes annually worldwide, and a third of them need long-term rehabilitation (Tsai et al., 2019; Wang et al., 2020). In the US there are approximately four million survivors of chronic stroke with hemiparesis or other similar conditions (Polygerinos, Wang, Galloway, Wood, & Walsh, 2015). 5.1% of the Mexican population suffers from mobility-related disability caused

by stroke diseases (De la Cruz, Arias, & Lugo, 2017), in most cases patients experience partial or total loss of upper limb functions, greatly limiting the activities of daily life. On the other hand, fractures of the metacarpals and phalanges of the hand are a frequent cause of work accidents or injuries of traumatic origin, it represents 10% of all fractures and 70% originates between the ages of 11 and 45 (Cabrera et al., 2019).

The therapeutic methods for the rehabilitation of an upper limb are intended to perform a series of exercises that help restore their function. However, due to the absence of voluntary muscle contraction in both the extension and flexion of their fingers, patients with stroke will not be able to perform grabbing movements independently, for this reason, after a stroke, it is crucial to execute repetitive exercises within a period of six months, nevertheless, providing such exercises requires more time and more doctors involved in the process, which makes this method of rehabilitation laborious and expensive (Franck et al., 2018; Heung et al., 2019).

The effects caused on hand function due to a series of neurological disorders have allowed the development of robotic rehabilitation gloves to improve the assistance of rehabilitation therapies to restore hand function in patients. Therefore, rehabilitation devices are rapidly emerging as an alternative due to their inherent safety, use of compliant materials, less complex designs, portability and greater efficiency (Cabrera et al., 2019; Chu & Patterson, 2018; Heung et al., 2019). Assisted rehabilitation focuses on survivors with strokes, which aims to improve the physical, psychological and economic conditions of patients who have problems with their hand function, that is one of the most common causes after an accident of this type (V. Avila, 2019; De la Cruz et al., 2017). Clinical studies indicate that robotic rehabilitation gloves reveal a significant improvement under an intense therapy of repetitive exercises, therefore, rehabilitation seeks to avoid increasing disability and achieve a good adaptation with the patient, for this, it is very important that the patient collaborate responsibly during rehabilitation (Henao, Moreno, Gómez, Becerra, & Orozco, 2018; Wang et al., 2020).

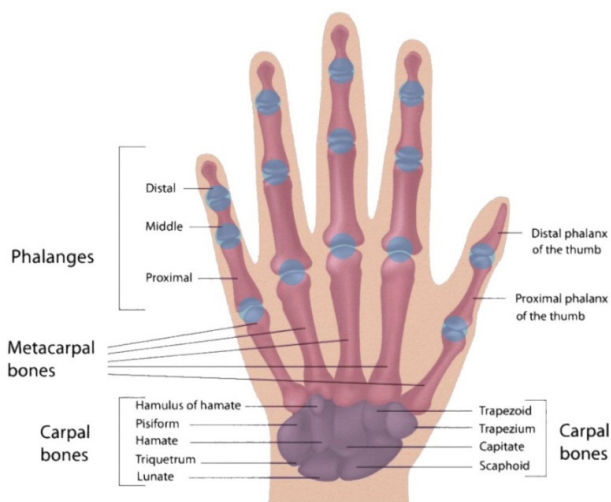


Figure 1 – Joints and bones of a human hand.

The benefits offered by a robotic rehabilitation glove include feedback mechanisms to amplify the required movements, reduction of therapy hours, automation of the patient's specific therapy respecting the degrees of motor disability, physiological values and anthropometry of the hand (Abdallah, Bouteraa, & Rekik, 2017; Chu & Patterson, 2018). Anthropometry studies the measures and dimensions of the different parts of the human body, it is also used for the study of diseases and anomalies that affect the relationship between the dimensions of the body. The anthropometry of the hand allows the realization of a large number of movements, allowing the hand to adapt to the shape of the objects that it will take, however, when the hand is affected by an injury, its ability to reach the movements of flexion, extension and abduction of its fingers will weaken slowly and even lose it completely (Cabrera et al., 2019; Ma, Yuan, & Fang, 2018). The biomechanics of the hand has 19 bones and 14 joints according to (Abdallah et al., 2017; Cabrera et al., 2019), the bones are indicated in red color and the joints are circled in light blue as can be seen in Figure 1.

The flexion of the fingers reaches 90° and increases progressively with respect to the back of the palm, the active extension can reach 30° to 40° and the passive extension up to 90° , however, this degree can only be achieved by people with a lot of elasticity (Cabrera et al., 2019). The orientation of the thumb provides a wide range of movements such as the opposition, which allows to come into contact with the other 4 fingers, the opposition allows three different configurations, which are: preposition, pronation and flexion. Preposition is the one that moves the thumb in front of the palm; pronation, allows the last phalanx of the thumb to move in different directions; and flexion, moves the thumb in the direction of the hand palm (Abdallah et al., 2017; Cabrera et al., 2019).

2. Related Work

Author	Reference	Active passive DOF	Transmission force	Detection and control method
<i>Abdallah</i>	(Abdallah et al., 2017)	5-10	Servomotor	Integrated controller.
<i>Hongjian</i>	(Hongjian, Lina, Long, Tian, & Jue, 2019)	5-5	Electromyography (EMG) Brain-Computer Interface (BCI) Sensors	Mechanical links. Engine control, under exoskeleton actuation. Remote traction.
<i>De la Cruz</i>	(De la Cruz et al., 2017)	10-10	Servomotor	Mechanical links.
<i>Llamazares</i>	(Llamazares, Valenciaga, & Garelli, 2019)	4-8	Servomotor	Graphical interface (PC), flex sensors.
<i>Wang</i>	(Wang et al., 2020)		Cable	Myoelectric control.

Table 1 – Classification of robotic devices.

Several authors have developed different devices for hand rehabilitation. Robotic devices provide a series of repetitive exercises that help to regain motor function of the hand. Therefore, robotic devices can be classified using several criteria such as: force

transmission methods, active and passive degrees of freedom (DOF), and the detection and control method, as can be seen in Table 1.

3. Design and development of the hand rehabilitation system

3.1. Design and construction of the robotic rehabilitation glove

This research is an iteration of Cabrera's previous work, based on the considerations cited in (Cabrera et al., 2019). We use a different design; materials and we create a friendlier interface. The design of the shield was changed, it was 3D printed with PLA material; the binary and ternary links, and the surface of the shield are made of 3mm acrylic. For the movement-transmission elements and for the glove shield we used filament of PLA, further, we used NinjaFlex filament for the fastening components.

The prototype design is mainly based on the anthropometric dimensions of the hand in Latin America (R. Avila, Prado, & González, 2007). The mechanical system was designed using Autodesk Inventor Professional 2019 which is a CAD software (computer-aided design), through the use of this tool we obtain 3D modeling with respect to the dimensions already preset as shown in Figure 2. A set of binary links were considered for the design of the fingers, these links simulate the joints of the fingers and are fastened by M3 screws, in order to allow movement between the links a ternary link was placed as a connection between the binary links and at the same time, each link consists of phalange bras that allow the glove to adapt easily to the hand of any patient as can be seen in Figure 3.

Also, a DS3235 servomotor actuator was used to generate hand movement, it consists of a minimum torque of 63.9 lbs/cm with a 5V supply and a maximum torque of 77.2 lbs/cm with a 7.4 V supply.

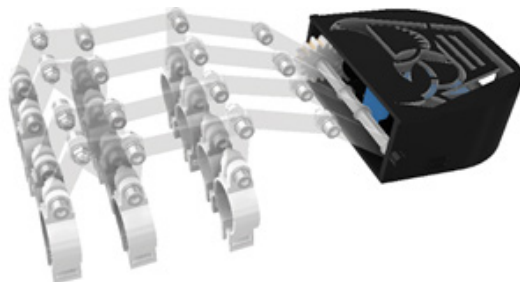


Figure 2 – 3D design of the robotic glove for hand rehabilitation.

The movement of the robotic rehabilitation glove is produced by the revolution of the actuator, the servomotor is attached to the gear 1 by means of a coupling which allows the gear 1 to be the driver of the movement towards the gear 2, these gears have a transmission relationship of 1: 1, the gear 2 is attached to a fluted axis that in turn joins the proximal phalanges of the robotic glove, therefore, when the servo motor is activated the movement will be driven through the gears allowing the phalanges proximal move

according to the movement of the striated axis as seen in Figure 4. In this way we obtain the movement for the four fingers of the patient, besides, a ferule was designed for the thumb, allowing the finger to be placed in an extended position to allow movement in all four fingers. The actuator is located in the inner part of the robotic glove, attached to the back of the palm, furthermore, a belt was used to secure the patient's hand and wrist to the prototype.

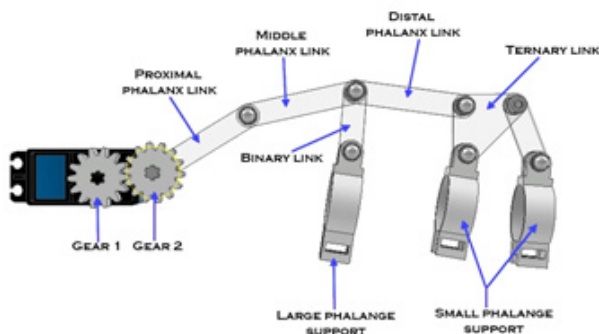


Figure 3 – Mechanical parts of a robotic glove finger.

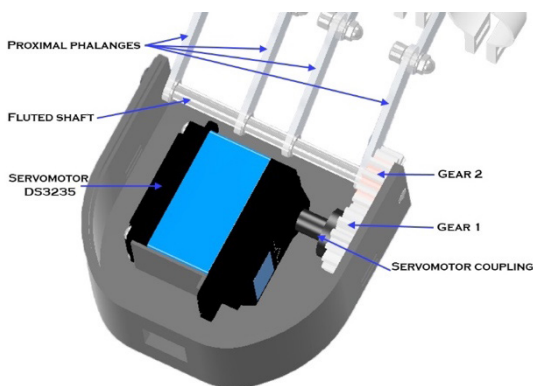


Figure 4 – Motion transmission of the robotic glove.

3.2. Numerical Structural Analysis

For modeling feasibility of the robotic glove, it was simulated using the 'ANSYS Workbench 19.0' software due to its wide range of finite elements. This software is a tool that predicts how it works and reacts to external modeling loads, so we make a proper selection of the materials for its construction.

3.2.1. Mesh of rehabilitation glove elements

The meshing procedure performs operations by means of finite elements in each section of the robotic glove for hand rehabilitation, this mesh quality control module is very useful, since we can regulate its percentage according to our criteria, for this design, it

is recommended to work with 80% of its mesh. Considering that in this case our design has many details in its case, we will proceed to make a mesh by sections to reduce its percentage rate and have a properly acceptable mesh for the application of the forces at the different test points as it is shown in Figure 5, with a total of 58089 elements and a total of 116931 nodes.

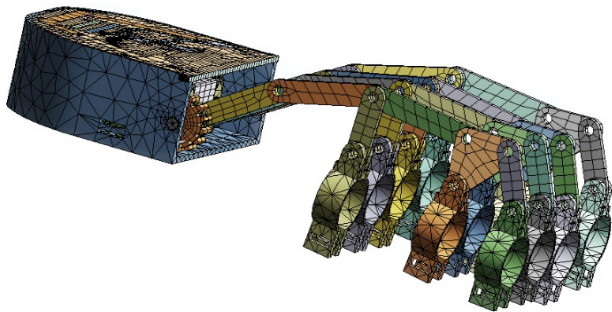


Figure 5 – Finite element mesh of robotic hand rehabilitation glove.

3.2.2. Movement Restrictions

The conditions of movement allow to restrict the movement of some components, a restriction is the application of a fixed force in the case of the robotic rehabilitation glove, its objective is to make a fixed support to the other external forces applied in this system. The next force that is applied to the glove is through the patient at the time of performing the rehabilitation exercises.



Figure 6 – Meshing of the transmission axis of movement.

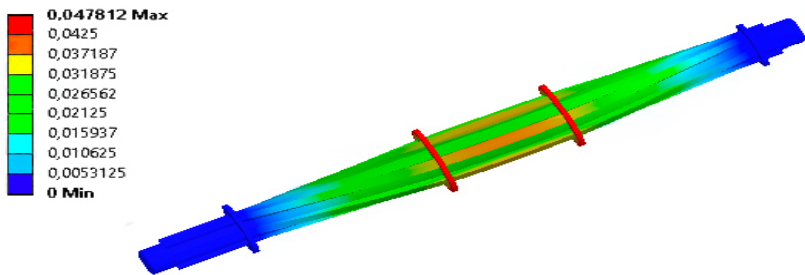


Figure 7 – Application of a support force and a momentum (0.047812 Max – 0.0001 Min).

Performing several trial and error simulations in our design we take into consideration a specific point, which will suffer major deformations compared to other mechanical components and this element is its axis of toothed movement transmission. Usually, when this element transmits its movement, it generates greater force since it supports the efforts of the four fingers of the hand, as can be seen in Figure 6, a mesh quality of more than 80% is obtained and with a rate of 4932 elements and 9316 nodes. Applying the motion transmission forces on the transmission axis will tend to deform the element in the following way shown in Figure 7.

3.2.3. Static Structural Analysis

The static structural analysis of the robotic hand rehabilitation glove involves the application of specific loads according to its requirements in each finger restraints as shown in Figure 8, in addition to its application of link forces. This analysis allows us to have a better view of its deformation according to the established force, while greater is its force, greater will be its deformation and vice versa.

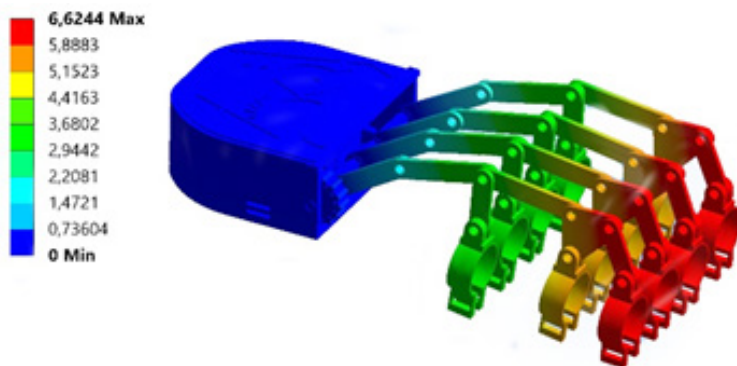


Figure 8 – Static forces analysis (6.6244 Max – 0.0001 Min).

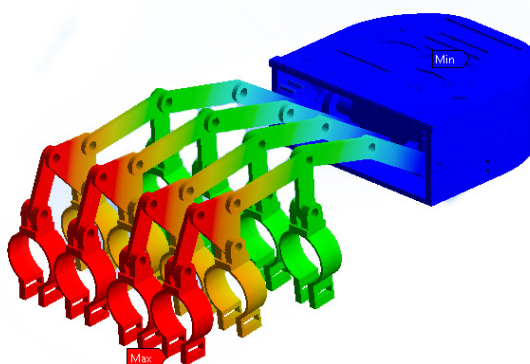


Figure 9 – Maximum and Minimum efforts.

Once all the restrictions have been adequately made on the computational analysis of the different operating conditions, we determined the maximum and minimum efforts that the rehabilitation robotic glove will be able to support.

Applying a force of 10N (Newton) we obtain a maximum and minimum range efforts as can be seen in Table 2, the maximum effort is reflected in the red phalanges of the robotic glove as shown in Figure 9.

Static Structural Analysis	
Maximum	240,73 - 29,109 MPa. (Megapascal)
Minimum	0.0001 MPa. (Megapascal)

Table 2 – Max and Min effort.

3.2.4. Safety factor and convergence for mesh refinement.

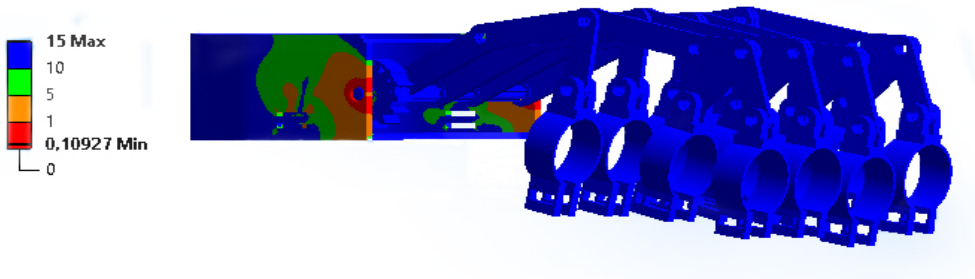


Figure 10 – Safety factor.

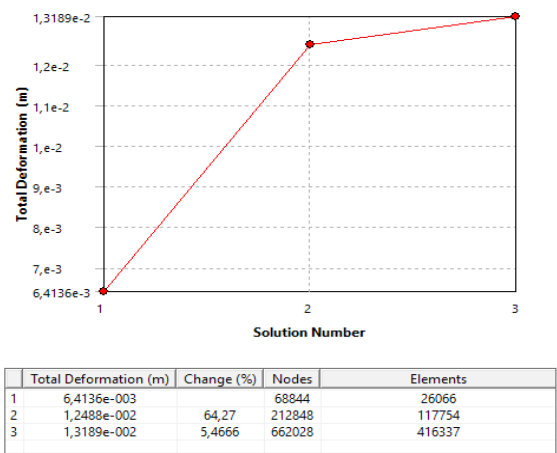


Figure 11 – Convergence of the robotic glove.

The use of the finite element tool of the Ansys software allowed analyzing the design of some components of the robotic glove. The safety factor is divided into two sections, the first section is in the glove structure and the second belongs to the most critical part of the element as shown in Figure 10.

In this modeling, finite-element mesh refinement was generated in order to carry out a convergence study by total deformation versus the number of iterations that the software solves. The number of elements present is shown in Figure 11. The convergence of the numerical results was analyzed with the piece where the maximum value was obtained (phalanx).

3.3. Architecture and interface of the mobile application

The proposed hand rehabilitation system has 2 mobile applications compatible with iOS and Android, one focused on the patient, called Re-Hand and another for the therapist, called Re-Hand Doctor. They were developed in the Flutter framework and the Backend that allows communication is Google Firebase.

The Re-Hand application is what allows the operation of the glove in a simple and intuitive way. This is connected via Bluetooth and establishes two-way communication with the glove prototype controller through an HC-05 module. The Bluetooth and language settings are made in the configuration screen as in Figure 10d. When starting the application, the patient must enter their credentials that are granted by the therapist as in Figure 10a. Once the patient is authenticated, the exercise screen is shown, as shown in Figure 10b, which is where the exercises established by the therapist are shown on a card. Each card has its number, an emoji and the progress of the exercise. Each exercise can vary in angle, opening and closing time of the glove and can control the amount of repetitions. The application will activate the glove if the continue button is pressed and the exercise is carried out, while the activity is being carried out, the face of the card changes according to the progress of the objective, the face has 3 states: sad, neutral, and happy. You will be sad if 50% of the exercise has not been completed, then change to neutral until 90% of the exercise is completed so that the image changes to happy. And this is intended to positively affect the psychological state of the patient, causing the exercises to be gamified and rewarded with the patient's progress.

The application will keep a record of the patient and store data such as: total exercise time and the percentage that has been met. The statistics of the exercises performed by the patient during the week are displayed in a friendly way and are shown on the cell phone as in Figure 10c, every day the exercises are completed the statistics will be updated and stored in the cloud. This application connects to a backend server to register and store the data in a non-SQL database such as Firebase, in this way the data is stored almost in real time, without losing information and will allow to connect the data with the application Re-Hand Doctor.

Re-Hand Doctor is the application that allows therapists to know about the progress of their patients, having data such as the exercises performed in the week, time elapsed in each exercise and its percentage, allows you to see the history of each patient, all this Dynamic and simple way. In this way, corrective therapy can be applied, if it does not work as expected or if there is a lack of interest on the part of the patient.

Re-Hand Doctor has 3 screens, one for patients, exercises and settings. The therapist can configure the exercises for each patient according to the needs by means of a unique ID. The data will be stored in the therapist's cell phone and will be connected to Firebase only to send the exercises to the account of their patients and to read their progress. The therapist can tab on the patient's card to see more details about the progress. In addition, the cards will be displayed in order according to the day of visit at the rehabilitation center to facilitate the search of their patients.

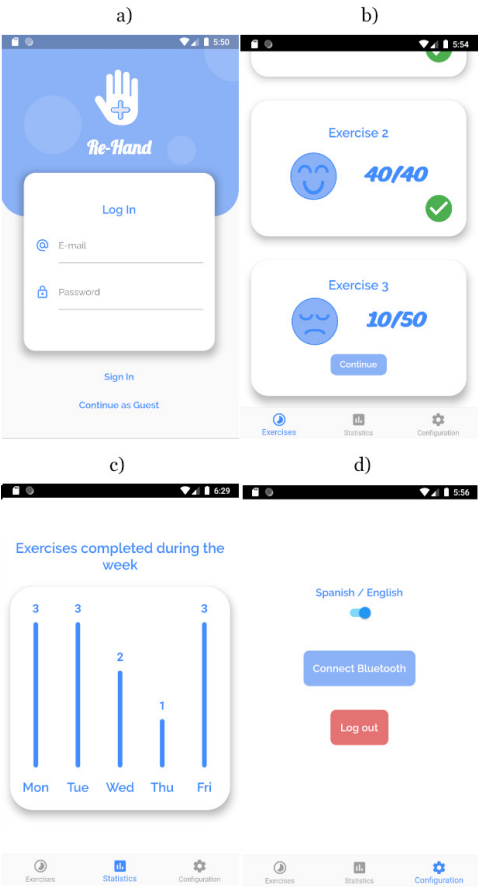


Figure 10 – Re-Hand app.

4. Conclusions

The analyzes carried out in the ‘ANSYS Workbench 19.0’ software allowed an improvement in the design of the robotic glove for hand rehabilitation, taking into account that the starting point of this work was the need to convert it fully into an anthropomorphic and functional device. At the same time, this allowed the static and

dynamic loads to be established under certain operating criteria, these proposed limits allow us to obtain a visualization of the maximum deformation that the robotic glove can withstand, respecting the degrees of motor disability of the patient. Its convergence and the value of the structure's safety factor were determined by adjusting its meshing percentage. As shown in Figure 10, the safety factor used in this case is adequate since it complies with all the design restrictions, as well as the materials selected which are optimal and efficient for its construction. Therefore, the structure can be adapted to the patient's hand.

The use of technology to modernize rehabilitation processes is an area that supports the organization and effectiveness of rehabilitation centers. In this first prototype application for the rehabilitation system proposed in this research, features of a serious game are added to encourage patients to complete the exercise and so that they can see their weekly or daily progress, in addition the therapist can access patient history digitally, which optimizes time and provides security.

Therefore, we propose as future work the construction of the redesign of the robotic glove for hand rehabilitation, together with the load tests on the prototype to verify if the robotic glove is capable of supporting the maximum load previously established. On the side of the application a notification system will be added to remind the patient about doing their exercises. An expert system will also be developed to recommend to the therapist the appropriate exercises for the patient, this will be achieved by time and torque calibration of the prototype robotic glove.

As line of future work, we propose the following ones:

- To design a fuzzy controller module to automatically adjust the velocity of the motors' finger joints according to the patient profile.
- To design a module to analyze the feedback of the doctors and patients.

References

- Abdallah, I., Bouteraa, Y., & Rekik, C. (2017). Design and Development of 3D Printed Myoelectric Robotic Exoskeleton for Hand Rehabilitation. *Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 10(2), 341–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-215>
- Avila, R., Prado, L., & González, E. (2007). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*.
- Avila, V. (2019). *Diseño e implementación de un prototipo de rehabilitador de mano aplicando robótica blanda para el mejoramiento de la sujeción en personas con escasa movilidad*. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15646>
- Cabrera, J. C., Peralta, N. M., Robles, V. E., Pérez, Á. A., & Amaya, M. E. (2019). Development of a hand rehabilitation therapy system with soft robotic glove. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 972, 948–958. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19135-1_93

- Chu, C.-Y., & Patterson, R. M. (2018). Soft robotic devices for hand rehabilitation and assistance: a narrative review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0350-6>
- De la Cruz, B., Arias, M., & Lugo, E. (2017). *Diseño de un prototipo de exoesqueleto para rehabilitación de mano*. 39(125), 96–111.
- Franck, J. A., Smeets, R. J. E. M., & Seelen, H. A. M. (2018). Evaluation of a functional hand orthosis combined with electrical stimulation adjunct to arm-hand rehabilitation in subacute stroke patients with a severely to moderately affected hand function. *Disability and Rehabilitation*, 41(10), 1160–1168. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1423400>
- Henao, G., Moreno, J., Gómez, J., Becerra, J., & Orozco, C. (2018). Rehabilitación temprana de fracturas de mano con órtesis robóticas. Reporte de caso. *Elsevier*, 32(3), 184–190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rccot.2017.11.004>
- Heung, K. H. L., Tang, Z. Q., Ho, L., Tung, M., Li, Z., & Tong, R. K. Y. (2019). Design of a 3D Printed Soft Robotic Hand for Stroke rehabilitation and Daily Activities Assistance. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2019-June*, 65–70. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2019.8779449>
- Hongjian, W., Lina, L., Long, L., Tian, L., & Jue, W. (2019). Avance de la investigación sobre la intervención integral del robot de rehabilitación de la función manual después del accidente cerebrovascular. *Journal of Biomedical Engineering*, 36(1), 151–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.7507/1001-5515.201711024>
- Llamazares, M., Valenciaga, F., & Garelli, F. (2019). *Exoesqueleto colaborativo para asistencia en terapias de rehabilitación de mano*. 407–412.
- Ma, X., Yuan, R., & Fang, S. (2018). System study of pneumatic exoskeleton rehabilitation manipulator. *The Journal of Engineering*, (13), 181–185. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.9005>
- Polygerinos, P., Wang, Z., Galloway, K., Wood, R., & Walsh, C. (2015). Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Elsevier*, 73, 135–143. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.08.014>
- Tsai, Y. L., Huang, J. J., Pu, S. W., Chen, H. P., Hsu, S. C., Chang, J. Y., & Pei, Y. C. (2019). Usability assessment of a cable-driven exoskeletal robot for hand rehabilitation. *Frontiers in Neurorobotics*, 13(February), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2019.00003>
- Wang, L., Peng, G., Yao, W., Biggar, S., Hu, C., Yin, X., & Fan, Y. (2020). Soft robotics for hand rehabilitation. In *Intelligent Biomechatronics in Neurorehabilitation* (pp. 167–176). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814942-3.00010-6>

A robotic assistant based on fuzzy logic and kinesthetic stimuli for gross motor rehabilitation of children with disabilities

Brian Pinos-Chuya¹, Víctor Uguña-Uguña¹, Angel Pérez-Muñoz¹,
Paola Suquilanda-Cuesta¹, Vladimir Robles-Bykbaev¹, Katherine González-Arias¹

**bpinosc@est.ups.edu.ec; vuguna@est.ups.edu.ec; aperezm@ups.edu.ec;
psuquilandac@est.ups.edu.ec; vrobles@ups.edu.ec; kgonzaleza2@est.ups.edu.ec**

¹ GI-IATa, Cátedra UNESCO Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa, Universidad Politécnica Salesiana, 010105, Cuenca, Ecuador.

Pages: 213–224

Abstract: Cerebral Palsy (CP) is considered one of the most common types of motor disability in childhood. Worldwide the latest estimates claim that prevalence of CP is between 1.5 to more than 4 per 1,000 live births. In the same way, children and adolescents with intellectual disabilities are characterized by deficits in fundamental movement skills. For these reasons, it is essential providing early intervention plans for children that present motor difficulties. In this line, this paper describes a robotic assistant that adapts the velocity of its movements to respond to the patient's profile during therapy sessions. To this aim, the robot uses a fuzzy logic-based inference module that considers three variables of the patient's profile: disability level, intelligence quotient, and age. During the robot's preliminary validation, we have obtained encouraging results in both laboratory tests and in the interaction with experts.

Keywords: robotic assistant; fuzzy logic; expert system; children with disabilities; gross motor skills.

1. Introduction

Globally, more than 1 billion people live with some form of disability, representing almost 15% of the total population, of which almost 200 million experience considerable difficulties in their functioning, which is linked to low levels of health, less chance of competing academically and even increases the possibility of poverty (World Health Organization [WHO], 2011).

In Latin America the number of people with disabilities is 85 million people and in Ecuador there are around 471020, with the types of disabilities recognized as auditory, visual, physical, intellectual and psychosocial, of the total number 264039 are gender 206981 are female. Disability is conceived as a bio-psychological and biomedical concept that encompasses the differences and limitations of activity and constraints on participation in society (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades [CONADIS], 2020).

More specifically, motor disability is an alteration of the ability of movement that affects at different levels the functions of movement, manipulation or breathing and also

limits the person in his personal and social development (Lobera, 2010). With these factors in mind, in the last decade one of the aspects that has influenced the most in the development of a dignified and equal life for people with disabilities, is the employment aspect, which has provided more opportunities and sources of currently 65804 people have a job in the country (Torres, 2013).

For the case of motor disability, we will focus specifically on children from 3 to 7 years (cognitive age), in Ecuador there are 7242 people with this type of disability (CONADIS, 2020), where having factors such as the level functionality of their motor skills and communication possibilities, it is difficult to generalize specific strategies to cope with this disease. Therefore, physical activities arise as a positive resource as they allow people to value their abilities and in turn understand their limitations. These physical activities can be included in different rehabilitation therapies, which are performed through continuous, intense and lasting repetitions, so the patient loses interest in it, that is where the support technology is widely accepted by WHO (Calderita et al., 2015). For this support technology, educational robotics is used, which is conceptualized as a discipline that aims to create and put into operation robotic prototypes and specialized programs for pedagogical purposes, which seeks to create real constructions from mental constructions, which allows different areas of knowledge to work (Almeida & Canarias, 2017) (Ruiz-Velasco Sánchez, 2007).

This article describes a robotic assistant that has 11 degrees of freedom controlled by an expert system based on fuzzy logic. With this, the expert system can determine the speed of movements that the robot will have depending on the profile of the children with disabilities with which it will work. The proposal has been validated by a group of expert educators and 30 synthetic cases of profiles of children with varying degrees of disability.

2. Related work

Barja et al. (2013) examine whether an audiovisual stimulation program in children with motor disabilities can improve their quality of life, it showed that these stimulations do not produce changes in biological variables (blood pressure, heart rate, but an improvement in cognitive variables, therefore, the validity of the initial hypothesis was demonstrated.

Heron-Flores, Gil-Madrona, and Sáez-Sánchez (2018) determined to what extent a psychomotor intervention program in children with different types of disabilities contributes to the improvement of these psychomotor disorders and their adaptation in the environment. In their proposal, the psychomotor tests are performed for each participant according to their age, and after the whole process shows an improvement in four variables (dynamic coordination, fine motor skills, body scheme and spatial structuring).

Develop an ecosystem to improve therapeutic intervention processes in children with disabilities and communication disorders through a web system, robotic system (kinesthetic stimulus) and a recommendation approach based on collaboration of language therapists in an accessible and free way for special education institutions is the proposal in (Lima & Cabrera, 2019).

The ROREAS device (Gross et al., 2017), is designed for patients with strokes, taking control of the exercises performed and the result obtained from them, in the study with the help of the robotic assistant the patients managed to increase routines and duration of these compared to the exercise performed without the robot.

Velásquez-Angamarca et al. (2019) developed a humanoid robotic assistant for the support of speech-language therapy in children aged 3 to 6 years with dyslalia. The authors point out that the robot has achieved positive perceptions by users, in addition to the attention and motivation of children in therapies increased considerably.

In other research, the authors describe the development of a robotic assistant for an educational institution of girls between 5 and 13 years of age in the situation of vulnerability (Lema & Campos, 2018), which addresses topics such as recognition of body parts, learning of primary colors, basic emotions among others.

SPELTRA (Ochoa-Guaraca et al., 2017), was specially designed for language therapy, which aims to assist Speech and Language Pathologists in the various activities they should perform during therapies.

The interactive robotic assistant Ursus used for motor rehabilitation therapies with pediatric patients, uses the RoboCog architecture that allows the robot to predict the outcome of the actors' actions on stage, and thus exhibit behavior which allows you to anticipate the patient's needs and the outcome of their own actions.

Another device that is used in therapies for children and that uses the same RoboCog architecture is the NAO Robot, which indicates the exercises that should be performed thanks to the articulated body presented by the robot, in the case that the child does not perform the exercises correctly the robot is able to indicate by voice and the color of the eyes that it must correct its posture (Calderita et al., 2015).

PABI is a robot that is equipped to generate movements of the wings, head, eyes and beak in order to express emotions in front of children, also allows the use of a Tablet to interact with the child and establish a communication with the robotic assistant (Dickstein-Fischer et al., 2018).

As can be seen, most of the proposals developed do not provide a personalized therapy plan for each patient. To this aim, both diagnostic and intervention tools must adapt to patient's profiles and, at the same time, implement strategies for collecting user's feedback. In light of the above, our proposal tries to address these essential aspects of supporting patients with disabilities or special needs. In this paper, we describe the control model that relies on fuzzy logic and has the aim of adapting the behavior of the robot to children's profiles.

3. Therapy exercises and activities: a perspective based on robotic assistants and fuzzy logic

Motor skills are people's ability to coordinate limb movements or body parts to meet a specific goal. They are related to different ways of walking, running, jumping, crawling as well as postural control and coordination of movements (Westendorp et al., 2011).

These movements are affected when there is an alteration in bones, joints, muscles and even a brain-level injury which prevents coordinated action in turn involving different situations such as manipulation, balance, displacement, speech or breathing (Gori, 2015).

Therefore, it becomes important to start rehabilitating children in a timely manner in order to avoid further harm and above all to offer a better quality of future life. When there is damage at the motor level, rehabilitation therapies need to be initiated. For this reason and in order to have an innovative therapy has created a robotic assistant that will be like a therapist who will perform different exercises in which the child will perform imitation tasks.

The exercises must be completed by imitation as the child looks at the robot and executes the same sequence of movements, imitation learning is significant especially in the initial ages. In this way, visual and auditory stimuli are provided to the child to develop different channels of perception of information.

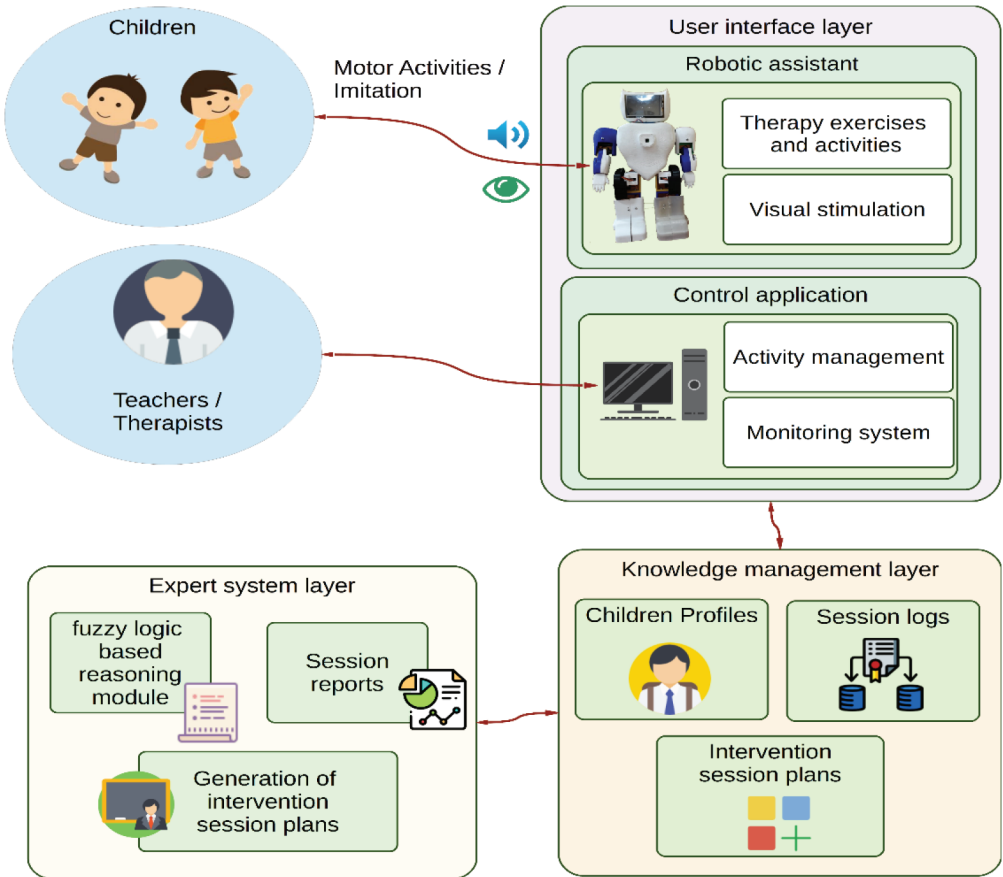


Figure 1 – General outline of the proposal.

Implementing this type of tools in the therapeutic area is of great value, as children are motivated and attend therapies with great availability to participate in them more than there is significant learning and an internalization of it. This assistant becomes a friend so that the patient can play with him and create an environment of more confidence and safety in his therapies

Motor rehabilitation is done through a series of exercises aimed at improving the child's driving range such as mobility, postural control, displacement and movement coordination. To do this, the robotic assistant recommends a series of exercises that are related to the child's age, their percentage of motor and intellectual disability. This data will serve to create a strategically elaborated therapy for the patient, considering that not all cases are the same and a different session should be considered depending on the child.

Each exercise has several repetitions that are linked to the diagnosis that the child has in order to make the most of rehabilitation therapy in an appropriate time.

In Figure 1 you can see the general outline of the proposal, as well as the different layers and modules that make up it.

As can be seen in Figure 1, the teachers/therapists can monitor and parameterize the therapy session. To this aim, the system provides a control application that is part of the user interface layer. With this application, it is possible to set the number of repetitions and specify the children's age, disability level, and intelligence quotient. On the other hand, the children will interact with the robotic assistant through visual and auditory stimuli. The robot can work in three different modes: imitation (the robot imitates the child movements through a Kinect device), manual (the therapist can choose which limb will be moved), and automatic (the robot executes a sequence of exercises and activities).

In the knowledge management layer, the system has three modules: a database to store the children profiles, a set of logs of robot's functioning, and a set of intervention plans (that follow the therapy guidelines). At this point, it is essential mentioning that each intervention plan contains the precise movements that must be performed by the robot to provide an appropriate therapy session.

The expert system layer contains a module based on fuzzy logic reasoning (that is detailed explained in the next section), a module prototype to automatically generate intervention plans (not yet implemented), and a module that stores the results of each therapy session.

4. Robotic assistant general architecture and functionalities

The robotic assistant has a humanoid form, with the aim of making users feel identified with him as if he were a person. This first prototype has 11 degrees of freedom distributed as follows: knees (2), hips (2), shoulders (2), elbows (2), hands (2) and head (1), as seen in Figure 2.

Therefore, the characteristics that meet the interior design are:

- Have the right space for all actuators in the wizard (servomotors).
- Have a design with inertial stability.
- Incorporate the space required for a Raspberry Pi 3B (Graphic Interface) display.

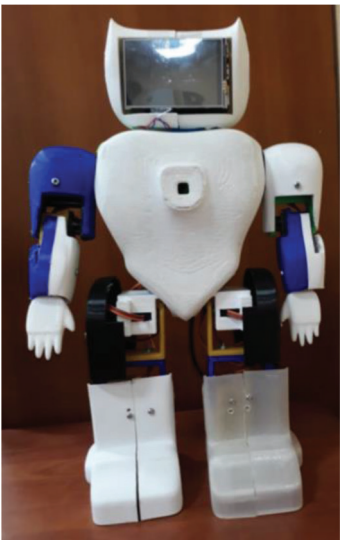


Figure 2 – Robotic assistant.

Moreover, the electronic diagram of the robotic assistant and all the devices that are part of the system are shown in Figure 3.

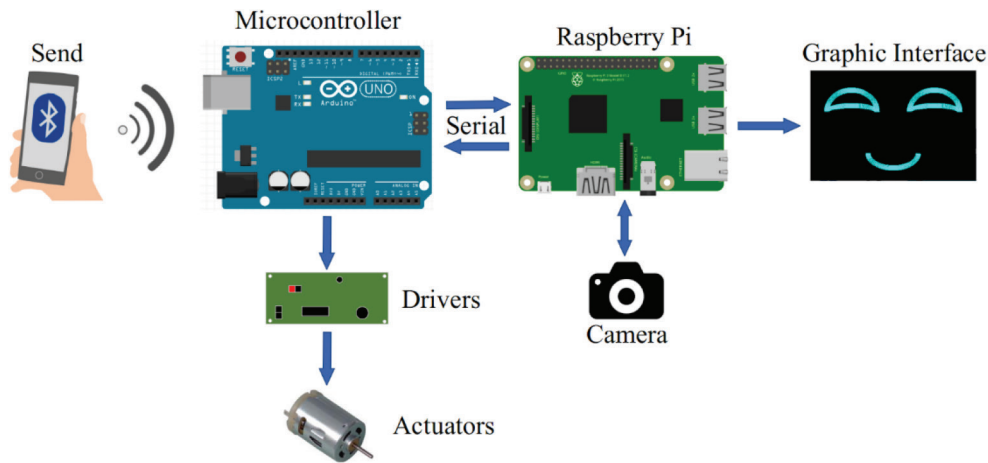


Figure 3 – Electronic diagram of the robotic assistant.

The assistant has 9 actuators (joint movements) with their respective drivers, 2 DC motors (hand movements), an Arduino microcontroller, a Pi 3B raspberry, a RaspiCam camera, a 3.5 inches screen and 2 voltage regulators, one for microcontroller and actuators and another for the Pi 3B raspberry. An external 12v-5A source is used for the system power supply.

The system uses the Bluetooth communication protocol that can be used on any Android or iOS device. Through this protocol the Arduino microcontroller receives the commands and activates the various actuators of the robotic assistant that produce the movements within the therapies. Simultaneously, through serial communication, the microcontroller will link to the Raspberry Pi 3B to turn on the graphical interface of the assistant, thereby providing visual stimuli to patients. To do this, it will be able to show different faces that express joy, tiredness, sadness or shyness, this with the intention that the patient within the therapy feels more identified with the assistant. The Raspberry will also activate the camera located on the front, for different uses and future applications (facial recognition, detection of human posture, etc.).

5. Fuzzy logic-based reasoning module

The expert system layer implements a fuzzy-based reasoning module to establish the velocity of all robot's motors automatically. To this aim, this module uses the child's profile information. The input variables to configure the robot's movements are described below:

- Child's age (in months): It represents the age in months of the child, being three levels ranging from 35 to 84 months and is represented in the diffuse system by a triangular function.
- Disability percentage: It represents the percentage of motor disability possessed by the child, the ranges used for the study range from 30 to 74 percent disability and is represented in the diffuse system by a trapezoidal function.
- Intelligence quotient: It represents the IQ that the child possesses, has three intervals defined as medium, moderate and limit. this variable is represented in the diffuse system by Gaussian functions and is defined in the range 48 to 75.

Used to determine an Output variable:

- Robot speed: It represents the speed at which the robot will move its joints, has three low, medium and fast intervals. They are represented in the diffuse system by a triangular function and is defuzzified by the center of gravity technique.

$$COG_x = \frac{\int_a^b x\mu(x)dx}{\int_a^b \mu(x)dx}$$

Equation 1 – Equation to calculate the center of gravity.

On the other hand, the modeling of the knowledge of the expert system in the area has generated eighteen rules, used to define the correct speed of the robot's movements according to the case of the patient being entered into the system. In Figure 5 an example of 3 rules used in the system to perform inference processes and determine the robot's movement speed can be determined.

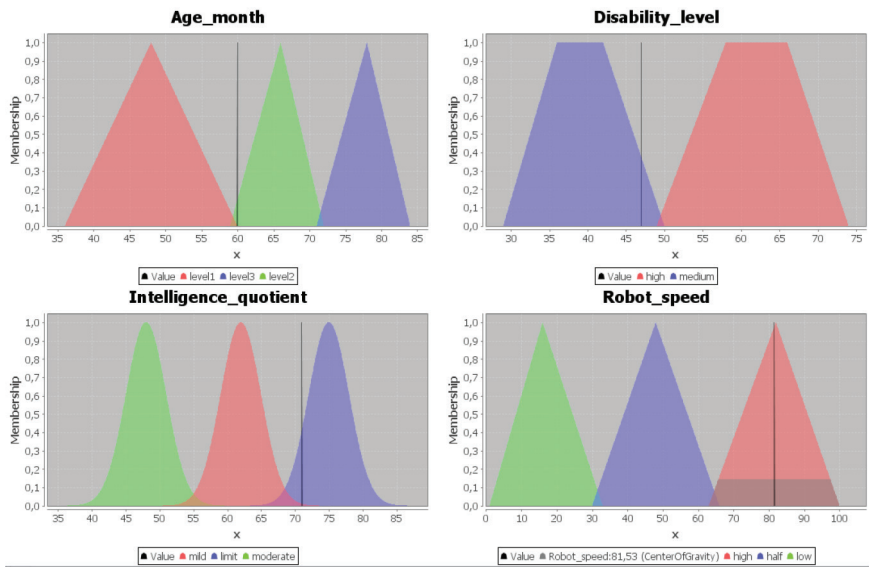


Figure 4 – Membership functions used in the diffuse system.

```
RULE 1 : IF Age_month IS level1 AND Intelligence_quotient IS moderate
          AND Disability_level IS medium
          THEN Robot_speed IS low;

RULE 2 : IF Age_month IS level2 AND Intelligence_quotient IS moderate
          AND Disability_level IS medium
          THEN Robot_speed IS half;

RULE 3 : IF Age_month IS level3 AND Intelligence_quotient IS moderate
          AND Disability_level IS medium
          THEN Robot_speed IS half;
```

Figure 5 – Rules defined by modeling the knowledge of the expert in the area.

The interface used by the therapist for the entry of the child’s profile and the control of the robotic assistant is presented in Figure 6, and has the option to configure the input values to the system, connect the robotic assistant via Bluetooth connection and send the activity to be imitated by the child.

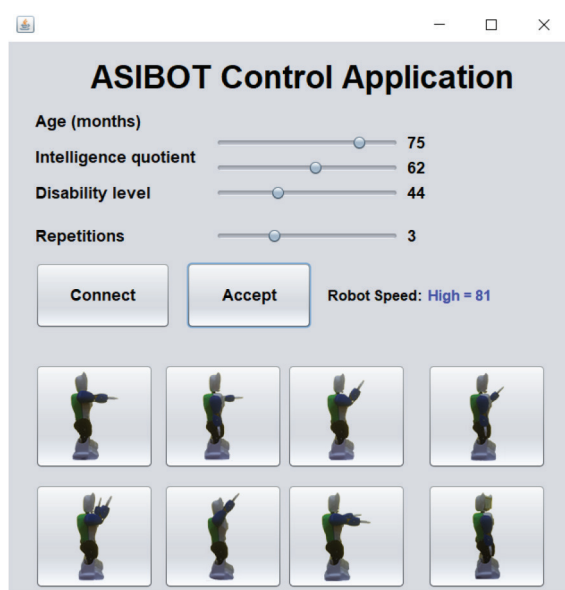


Figure 6 – ASIBOT control application interface.

6. Experimentation and preliminary results

In order to validate the proper functioning of the robotic assistant and the fuzzy logic-based reasoning module, we have carried out a consistent two-phase experimental process. In the first, the robot's movements were evaluated considering 30 synthetic profiles of patients with various types of disability, IQ and age. Table 1 can see the information generated with a group of experts in the field of early education, early stimulation and early intervention:

Measure	Age (in months)	Disability level	Intellectual quotient
<i>Minimum</i>	35	30	35
<i>Maximum</i>	84	74	81
<i>Mean</i>	58.93	53.3	55.17
<i>Standard deviation</i>	12.41	13.07	15.3

Table 1 – Measures of Central Tendency of the 30 synthetic cases generated by the experts on initial education, early stimulation and early intervention areas.

These 30 profiles were presented to the robotic assistant and the robot's response was analyzed considering 3 criteria:

- **Movements velocity:** how fast the robot moves according to the child profile. Some patients' profiles require slowly movements to perform an appropriate imitation.
- **Movements coordination:** the experts use this criterion to determine if the robot changes the functioning mode when the patient's profile changes. For example, when the therapists specify a patient's profile that has a higher intellectual quotient, the robot must adjust not only the velocity but also the time required to finish an activity.
- **Fluency:** the experts consider that the robot must have fluent interaction with the patients. The movements should be smooth and feel the most natural possible.

The first validation stage was surpassed by the robot with the following results: 4.6, 5 and 5 for each of the criteria described above, respectively.

For the second stage, laboratory tests were carried out in which 37 combinations of possible values were generated that can be had in the 3 inputs of the diffuse inference system.

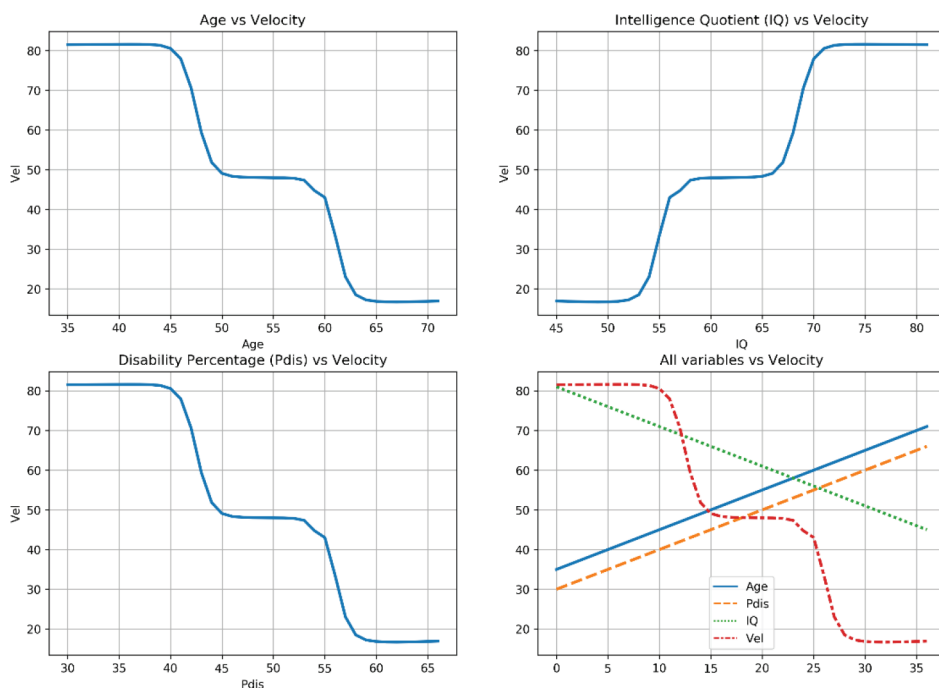


Figure 7 – The robot's movements velocity inferred by the fuzzy logic-based module considering the three input variables.

As can be seen in Figure 7, it was determined how the system behaves when the age increases the higher the disability percentage and the lower the IQ (upper left quadrant). As noted, the speed decreases gradually, because if the IQ decreases, the robot must adjust its movements so that the patient can perform the exercises properly. In the lower left quadrant, you can notice that equally, the robot's movement speed also decreases, since the level of affectation (disability) is higher. On the other hand, in the upper right quadrant you can see that the movement speed of the robot increases, since the patient has higher IQ, so that he can better mimic the movements. Finally, the 3 input variables and output (speed) that infer the fuzzy reasoning system are shown as a summary in the lower right quadrant.

7. Conclusions

In this paper, we presented a robotic assistant aimed at providing support for the gross motor rehabilitation of children with different types of disabilities. According to the experts, the robot is an appropriate tool to motivate patients while they perform therapeutic activities on the base of a ludic perspective.

On the other hand, the module based on fuzzy logic inference allows controlling the robot's velocity to provide more natural movements according to patients' profiles. In this line, the fuzzy logic module can be easily extended to include more input variables, such as the existing gap between the chronological and developmental patient's ages.

As lines of future work, we propose the following ones:

- To develop a computer vision-based module to learn the patient's movement patterns and suggest specific rehabilitation exercises.
- To develop a module to measure the patient's bio-signals to determine his/her health condition (heart response, effort, breathing condition, among others). This information will be useful to adjust the robot's movements, repetitions, and behavior according to the response of the patient to the therapy session.

References

- Almeida, P., & Canarias, R. (2017). La robótica educativa: una oportunidad para la cooperación en las aulas. *Innovación docente y uso de las TIC en educación*.
- Barja, S., Muñoz, C., Cancino, N., Núñez, A., Ubilla, M., Sylleros, R., & Rosas, R. (2013). Estimulación audiovisual en niños con limitación grave de la motricidad: ¿mejora su calidad de vida? *Rev Neurol*, 57(3), 103-11.
- Calderita, L. V., Bustos, P., Mejías, C. S., Fernández, F., Viciano, R., & Bandera, A. (2015). Asistente Robótico Socialmente Interactivo para Terapias de Rehabilitación Motriz con Pacientes de Pediatría. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 12(1), 99-110.
- Consejo Nacional Para la Igualdad de Discapacidad (CONADIS). (2020, May 11). *Estadísticas de Discapacidad*. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>.

- Dickstein-Fischer, L. A., Crone-Todd, D. E., Chapman, I. M., Fathima, A. T., & Fischer, G. S. (2018). Socially assistive robots: current status and future prospects for autism interventions. *Innovation and Entrepreneurship in Health*, 5, 15-25.
- Gori, M. (2015). Multisensory integration and calibration in children and adults with and without sensory and motor disabilities. *Multisensory research*, 28(1-2), 71-99.
- Gross, H. M., Scheidig, A., Debes, K., Einhorn, E., Eisenbach, M., Mueller, S., ... & Bley, A. (2017). ROREAS: robot coach for walking and orientation training in clinical post-stroke rehabilitation—prototype implementation and evaluation in field trials. *Autonomous Robots*, 41(3), 679-698.
- Heron-Flores, M., Gil-Madrona, P., & Sáez-Sánchez, M. B. (2018). Contribución de la terapia psicomotriz al progreso de niños con discapacidades. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 75-81.
- Lema Condo, E., & Campos Sarmiento, N. (2018). ARiSaE: Asistentes Robóticos Salesianos de Soporte Social y Educativo para niños y jóvenes en situación de vulnerabilidad.
- Lima Juma, L. M., & Cabrera Blacio, B. V. (2019). Diseño y desarrollo de un ecosistema de soporte a la terapia del lenguaje basado en asistentes robóticos, aplicaciones web y sistemas de recomendación colaborativos (Bachelor's thesis).
- Lobera, J. (2010). Discapacidad Motriz; Guia Didáctica para la inclusión en educación inicial y básica. CONAFE. México, 71.
- Ochoa-Guaraca, M., Pulla-Sánchez, D., Robles-Bykbaev, V., López-Nores, M., Carpio-Moreta, M., & García-Duque, J. (2017). Un sistema híbrido basado en asistentes robóticos y aplicaciones móviles para brindar soporte en la terapia de lenguaje de niños con discapacidad y trastornos de la comunicación. *Campus Virtuales*, 6(1), 77-87.
- Ruiz-Velasco Sánchez, E. (2007). *Educatrónica: Innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología*. Ediciones Díaz de Santos.
- Torres, X. (2013). Agenda nacional para la Igualdad en discapacidades. CONADIS, 1, 288.
- Velásquez Angamarca, V. C. (2019). Diseño y construcción de un asistente robótico humanoide para el soporte de terapia de lenguaje en niños de 3 a 6 años con dislalia (Bachelor's thesis).
- Westendorp, M., Hartman, E., Houwen, S., Smith, J., & Visscher, C. (2011). The relationship between gross motor skills and academic achievement in children with learning disabilities. *Research in developmental disabilities*, 32(6), 2773-2779.
- World Health Organization. (2011). *World report on disability 2011*. World Health Organization.

Estudio de la carga cognitiva del usuario para una plataforma de telerehabilitación: el instrumento Nasa-TLX

Verónica Amparo Guerrero Bolaños¹, Britany Astryd Enríquez Rea¹,
Karina-Beatriz Jimenes-Vargas¹, Jorge-Luis Pérez-Medina¹

veronica.guerrero.bolanos@udla.edu.ec; britany.enriquez@udla.edu.ec;
karina.jimenes@udla.edu.ec; jorge.perez.medina@udla.edu.ec

¹ Intelligent and Interactive Systems (SI2-Lab). Universidad de Las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

Pages: 225–237

Resumen: En los últimos años, las plataformas de software para asistencia en el campo de la médica, como la telerehabilitación, han tenido una importancia considerable y continua. Una de estas plataformas es ePHoRt, la cual permite que un fisioterapeuta pueda planificar, monitorear y evaluar la actividad de un paciente con juegos serios. Este trabajo evalúa el nivel de carga cognitiva que tienen los fisioterapeutas en esta plataforma, con la metodología NASA-TLX. La evaluación de la carga cognitiva se realizó mediante 6 criterios, tales como: demanda mental, demanda física, demanda temporal, rendimiento, esfuerzo y frustración, realizado a 10 participantes que hicieron uso de la plataforma. La evaluación empírica se realizó con el cuestionario de usabilidad de la metodología utilizada con base en la percepción subjetiva de los participantes. Los resultados sugieren que ePHoRt es útil, efectivo, eficiente, fácil de usar y sus interfaces son aceptables.

Palabras-clave: telesalud; telerehabilitación; ePHoRt; usabilidad; carga cognitiva; Nasa-TLX.

Study of the user's cognitive load for a telerehabilitation platform: the Nasa-TLX instrument

Abstract: In recent years, software platforms for medical assistance, such as telerehabilitation, have been of considerable and continuing importance. One of these platforms is ePHoRt, which allows a physical therapist to plan, monitor and evaluate the activity of a patient with serious games. This work evaluates the level of cognitive load that physical therapists have on this platform, with the NASA-TLX methodology. The evaluation of cognitive load was carried out using 6 criteria, such as: mental demand, physical demand, temporary demand, performance, effort, and frustration, carried out on 10 participants who used the platform. An empirical evaluation was performed with the usability questionnaire of the methodology which is based on the subjective perception of the participants. The results suggest that ePHoRt is useful, effective, efficient, easy to use and the interfaces are acceptable.

Keywords: telehealth; telerehabilitation; usability; cognitive workload; Nasa-TLX.

1. Introducción

Actualmente las plataformas tecnológicas han tomado importancia en todas las áreas de la sociedad. Cada vez se torna más evidente el interés de las personas en mejorar su calidad de vida a través de los dispositivos electrónicos, siendo el área médica también uno de los pilares explorado (Pérez-Medina et al., 2019).

En esta área, la telerehabilitación representa también una oportunidad por lo que se han realizado múltiples estudios sobre sus beneficios en el control, monitoreo y evaluación de varias condiciones clínicas. Las plataformas son creadas para brindar soluciones a través del uso de ambientes gamificados, la planificación, el monitoreo y la evaluación de los programas de rehabilitación. Sin embargo, las plataformas que se encuentran en el mercado (las existentes y en desarrollo), generalmente no cubren todas las necesidades de los usuarios, llegando a ser poco amigables e ineficaces.

El diseño y la concepción de este tipo de plataformas no considera pautas, métricas, patrones, principios o factores de éxito lo que afecta el acceso al servicio, la efectividad, la calidad y la utilidad. Además, puede causar problemas de confusión, error, estrés y abandono del plan de rehabilitación (Pérez-Medina et al., 2019). Por tanto, incorporar diferentes estudios de usabilidad en el ciclo de vida de un sistema interactivo es importante para garantizar su correcto funcionamiento.

Partiendo de esta problemática, se realizó un estudio con la plataforma web ePHoRt (Rybarczyk et al., 2017), la cual se presenta como una propuesta innovadora en desarrollo tecnológico para la fisioterapia. Esta plataforma fue creada con el objetivo de ayudar a los pacientes a realizar terapias físicas, ya que cuenta con varias opciones que permiten tanto al paciente como al fisioterapeuta, interactuar en forma digital y con un proceso eficiente.

ePHoRt se encuentra en un proceso iterativo de *Desarrollo ágil centrado en el usuario* (UCD) (Pérez-Medina et al., 2019), por lo que los análisis de usabilidad son esenciales para asegurar que la plataforma se ajuste a los parámetros de usabilidad e innovación, y así cumpla con las necesidades de los usuarios. Se empleó la metodología NASA-TLX (Hart S.G., 1988) para evaluar la carga de trabajo y con base a los resultados sugerir los posibles cambios en las interfaces que permitan que la plataforma sea funcional y a la vez amigable al usuario.

Este documento se encuentra distribuido de la siguiente manera. En la sección II se resume trabajos relacionados con el contexto. En la sección III se presenta la metodología NASA-TLX para efectuar la evaluación de usabilidad. En la IV sección se presentan los resultados obtenidos al evaluar ePHoRt. Finalmente, en la sección V se presentan las conclusiones del estudio.

2. Trabajos relacionados

En el cuidado de la salud se han adoptado nuevas herramientas médicas que buscan optimizar el servicio a los pacientes y personal médico a través de tecnologías emergentes y sistemas modernos que buscan proporcionar diferentes servicios de salud en internet. La telesalud ha combinado el área de la medicina con las tecnologías de la información y las

telecomunicaciones para proporcionar atención médica a distancia, educación relacionada con la salud y la administración de la salud (Winters, 2002). Asimismo, la telemedicina ha surgido como un subconjunto de la telesalud, en donde se promociona y apoya la atención médica cuando la distancia separa a los pacientes (Schmeler et al., 2009).

La telerehabilitación es un campo emergente de la telemedicina y la telesalud (Parmanto & Saptano, 2009). La telerehabilitación apoya los procesos de rehabilitación con ayuda de las telecomunicaciones; esto dado que dichos procesos generalmente requieren de un monitoreo periódico a los pacientes que permita analizar su progreso y su evolución hasta su mejora (Russel, 2007). En las últimas décadas, en este campo se ha reportado avances en el control, monitoreo y evaluación de programas de rehabilitación física. Por ejemplo, plataformas como KiReS (Antón et al., 2013), emHealth (Eguiluz-Perez & Garcia-Zapirain, 2014) y ePHoRt (Rybarczyk et al., 2017) se ha creado para apoyar los procesos de rehabilitación en pacientes operados de la cadera.

ePHoRt ha sido sometida a diversos estudios de usabilidad, desde la perspectiva del paciente (Pilco et al., 2019), (Pérez-Medina et al., 2019) y del fisioterapeuta (Pérez-Medina et al., 2019). Asimismo, se ha estudiado los factores humanos para detectar errores en los patrones de movimiento (Esparza et al., 2019). Pilco (Pilco et al., 2019) llevo a cabo un estudio previo de la carga de trabajo como complemento de la evaluación de la usabilidad desde la perspectiva del paciente; sin embargo, no se ha realizado aún un estudio cognitivo desde la perspectiva del fisioterapeuta.

Los estudios cognitivos permiten evaluar de manera subjetiva, el nivel de carga de trabajo del usuario durante la ejecución de tareas de un sistema interactivo (Hart et al., 1982). El índice de carga de trabajo surge de la interacción entre los requisitos de una tarea, las condiciones sobre las cuales esta se realiza, y las habilidades, comportamientos y percepciones del usuario (Hart S.G., 1988). Este índice se puede medir con la metodología NASA-TLX (Hart S.G., 1988). NASA-TLX utiliza seis dimensiones para evaluar la carga de trabajo mental: demanda mental, física demanda, demanda temporal, desempeño, esfuerzo y frustración.

Nasa-TLX ha demostrado ser un factor importante en la efectividad de los sistemas (Longo & Kane, 2011). Sin embargo, son muy pocos los estudios que hacen uso de Nasa-TLX para evaluar la usabilidad de los sistemas de teleherabilitación (Klaassen et al., 2016). Estos hallazgos coinciden con una reciente revisión sistemática en el contexto de los sistemas de rehabilitación evidencia el bajo uso del índice carga de trabajo para la evaluación de usabilidad en sus interfaces (Pérez-Medina et al., 2019). Nasa-TLX ha sido utilizado para evaluar una interfaz móvil durante un proceso de telerehabilitación asistida por un robot. Los resultados confirman que la interfaz desarrollada es eficaz y satisface los factores humanos durante el proceso de rehabilitación (Rahman, S.M, 2020).

Existe poca literatura que aborde la evaluación de la carga de trabajo en los sistemas de telerehabilitación física; lo cual expone la necesidad de realizar estudios que puedan servir como referencia para futuras investigaciones. Por esta razón, este trabajo aborda un caso de estudio sobre ePHoRt que busca mejorar la usabilidad de la plataforma con el fin de facilitar la planificación de programas por parte del fisioterapeuta y reducir errores en dichos programas que luego debe ejecutar el paciente.

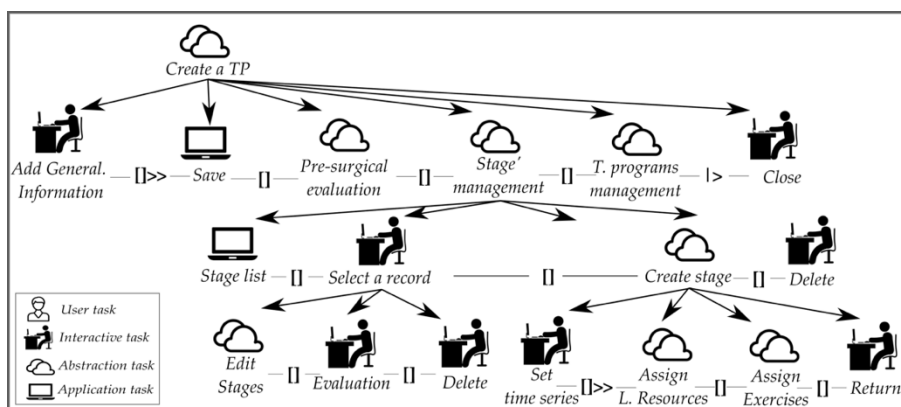


Figura 1 – Modelo de tareas para crear un programa terapéutico (Pérez-Medina et al., 2019).

3. Caso de estudio: la plataforma de tele-rehabiliación ePHoRt

ePHoRt es una “*plataforma electrónica para rehabilitación en el hogar*” (Rybarczyk et al., 2017) creada para ayudar a los pacientes después de una cirugía de reemplazo de cadera. La especificación y diseño de las principales funcionalidades de la plataforma, y en especial los programas terapéuticos (TP) se realizó con un enfoque de *Desarrollo ágil centrado en el usuario* (UCD) (Pérez-Medina et al., 2019)

El proceso de crear un programa terapéutico se describe utilizando el modelo de árbol de tareas con la notación “*Concur Task Trees (CTT)*” descrita en (Paternò F., 1999). CTT genera una representación gráfica de árbol de la descomposición jerárquica de las tareas proporcionadas por la plataforma. En nuestro caso, los iconos pueden variar debido al kit de herramientas utilizado. Un programa terapéutico (TP) es un plan que describe el proceso que el paciente debe realizar. La Figura 1 muestra las tareas que debe realizar el fisioterapeuta para crear un programa terapéutico (TP). Asimismo, la Figuras 2, 3 y 4 presentan las interfaces principales para la gestión de un programa terapéutico.

La Figura 2 presenta la interfaz donde se listan las etapas de un programa terapéutico. El fisioterapeuta podrá hacer uso de esta interfaz para crear una nueva etapa o, en su defecto, manipular una etapa existente. La Figura 3 muestra la interfaz que le permite al fisioterapeuta asociar un ejercicio a una etapa del programa terapéutico. Finalmente, la Figura 4, presenta la interfaz que le permite al fisioterapeuta, crear, buscar, seleccionar, editar o gestionar un programa terapéutico.

EDIT THERAPEUTIC PROGRAM admin Logout

Home > Therapeutic program list > Edit therapeutic program > Stages Help

Name: Dorotty Pérez Begin: 02/04/2020 End: 16/04/2020 Patient: Flor Segovia

Observation: cadera Laterality of the recent surgery: ☒ Right ☐ Left

☐ Suspended

Stage list + New stage Q

ID	Stages	Status	Begin	End	Edit	Detail	Print	Learning resources	Exercises	Evaluation	Delete
8	Stage 1	Inactive	2020-04-02	2020-04-08	Edit	Detail	Print	Learning resources	Exercises	Evaluation	Delete
9	Stage 2	Inactive	2020-04-09	2020-04-15	Edit	Detail	Print	Learning resources	Exercises	Evaluation	Delete
10	Stage 3	Inactive	2020-04-16	2020-04-24	Edit	Detail	Print	Learning resources	Exercises	Evaluation	Delete

[Go to the therapeutic program menu](#) 1

Copyright © 2018, by ePHoIt.

Figura 2 – Interfaz para la edición de las etapas de un programa terapéutico.

EDIT THERAPEUTIC PROGRAM FORM admin Logout

Home > Therapeutic program list > Edit therapeutic program > Stages > Stage 3 > Exercises > Associate an exercise Help

Name: Dorotty Pérez Begin: 02/04/2020 End: 16/04/2020 Patient: Flor Segovia

Observation: cadera Laterality of the recent surgery: ☒ Right ☐ Left

☐ Suspended

Stage 3 Begin: 16/04/2020 End: 24/04/2020

Associate an exercise

Exercise name: Date: Turns: ☐ Morning ☐ Midday

Serie: Repetition: Working angle: Compensation angle:

Scene: Object: Distance value:

[Save](#) [Go to the associate exercise list](#)

Copyright © 2018, by ePHoIt.

Figura 3 – Interfaz de edición de una etapa dentro de un programa terapéutico.

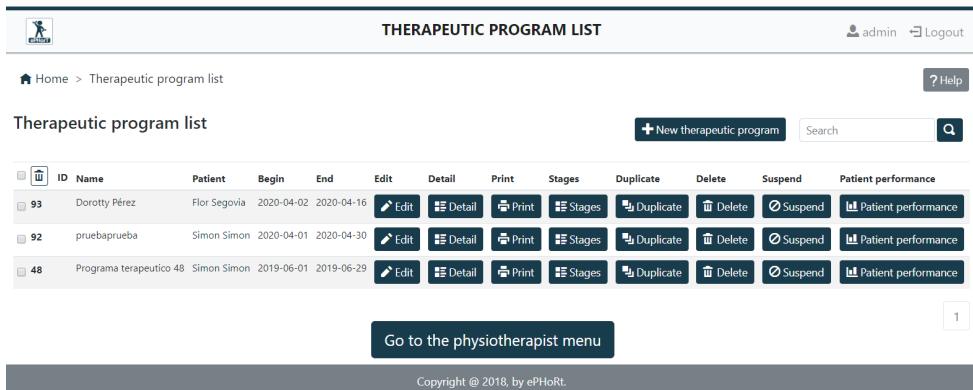


Figura 4 – Interfaz de creación, búsqueda selección y/o gestión de un programa terapéutico.

4. Estudio de usabilidad

4.1. Mecanismo de acción del método Nasa-TLX

Nasa-TLX (Hart S.G., 1988) determina el índice de carga de trabajo de un usuario por medio de una escala compuesta por seis criterios: (1) Demanda mental, (2) Demanda física, (3) Demanda Temporal, (4) Rendimiento global, (5) Esfuerzo, (6) Nivel de frustración. Al finalizar cada una de las tareas solicitadas a los participantes, este instrumento se aplica en dos fases.

La primera consiste en hacer que los participantes puedan valorar en una escala del 0 al 100 cada una de las 6 categorías. La segunda parte consiste en presentarle al participante dos categorías para pueda valorar una de ellas de acuerdo con un criterio de prioridad con base a su experiencia. En esta parte cada una de las categorías es permutada de manera que un total de 15 pares de valoraciones son presentadas de manera individual, para que el participante pueda hacer su elección. La tabla 1 muestra el listado de todas las combinaciones posibles previstas.

#	Pares de valoración		#	Pares de valoración	
1	Demanda mental	Demanda física	9	Rendimiento	Frustración
2	Demanda mental	Esfuerzo	10	Rendimiento	Demanda temporal
3	Demanda física	Frustración	11	Esfuerzo	Demanda física
4	Demanda física	Rendimiento	12	Esfuerzo	Rendimiento
5	Demanda física	Demanda temporal	13	Demanda temporal	Frustración
6	Frustración	Demanda mental	14	Demanda temporal	Demanda mental
7	Frustración	Esfuerzo	15	Demanda temporal	Esfuerzo
8	Rendimiento	Rendimiento			

Tabla 1 – Los 15 pares de valoraciones del instrumento Nasa-TLX.

4.2. Participantes

Un total de 10 participantes (hombres: 60% y mujeres: 40%) con edades entre 19 y 24 años de edad fueron invitados para el experimento por muestreo por conveniencia. Ningún conocimiento previo o competencia fue exigida a los participantes. Todos los participantes afirmaron haber concluido la escuela secundaria como su grado más alto de estudio. El 60% de los participantes afirmaron haber sufrido fracturas. Asimismo, el 70% de los participantes afirmaron haber presenciado o participado en una rehabilitación.

4.3. Materiales e instrumentos utilizados

Metodología e instrumentos utilizados en el proceso de evaluación:

- Sistema de correo electrónico.
- Instrumento de usabilidad: Nasa-TLX ((Hart S.G., 1988).
- Consentimiento informado.
- Cuestionario demográfico, digitalizado en Google Form.
- Post-it para asignar un numero anónimo a los participantes.
- Computadores iMAC 21.5 pulgadas (diagonal), 2.3 GHz dual-core, Intel i5.
- Plataforma ePHoRt.
- Aplicación móvil “NASA-TLX” para el computo de los datos (<https://apps.apple.com/es/app/nasa-tlx/id1168110608>).

4.4. Tareas de la aplicación

A continuación, la Tabla 2 muestra las tareas que fueron realizadas por los participantes del experimento.

Número	Tarea	Descripción
1	Agregar um programa terapéutico	El fisioterapeuta debe ser capaz de ingresar los datos inherentes a un programa terapeutico
2	Buscar um programa terapéutico	El fisioterapeuta puede buscar un programa terapeutico previamente almacenado en la plataforma
3	Editar um programa terapéutico	El fisioterapeuta puede modificar los datos inherentes a un programa terapeutico
4	Ver los detalles de um programa terapéutico	El fisioterapeuta puede consultar en pantalla todos los detalles de un programa terapeutico

Tabla 2 – Lista de tareas consideradas en el experimento.

4.5. Procedimiento

Antes de comenzar el estudio, cada uno de los participantes recibió un consentimiento informado que describió todos los detalles y condiciones del experimento. Una vez que el participante aceptó ser parte del experimento se le asignó un numero aleatorio y único y se le asigno una computadora con una pantalla de 21 pulgadas con acceso a Internet.

Luego, se entregó a los participantes un cuestionario demográfico para registrar los siguientes aspectos:

1. Su perfil personal.
2. La experticia en el uso de los computadores y la navegación en internet.
3. La experiencia con relación a la rehabilitación física.
4. La experiencia de los usuarios con el manejo y el uso de los sistemas de tele-rehabilitación.

Posteriormente, se les explicó las funcionalidades de la plataforma y las tareas que debían realizar (ver Tabla 2). Luego de ejecutar cada tarea, el participante fue invitado a realizar las dos fases del método Nasa-TLX. Los datos fueron procesados a través de la herramienta móvil “NASA-TLX”.

La herramienta móvil NASA TLX presenta los resultados en una tabla. Un valor menor a 500 indica que no requiere acciones correctivas. Un valor sobre los 500 puntos o por debajo los 1000 indica se debe tomar medidas para promover la mejora en el lugar de trabajo. Y, un valor sobre 1000 puntos indica que se debe tomar medidas correctivas de forma inmediata (Hart S.G., 1988).

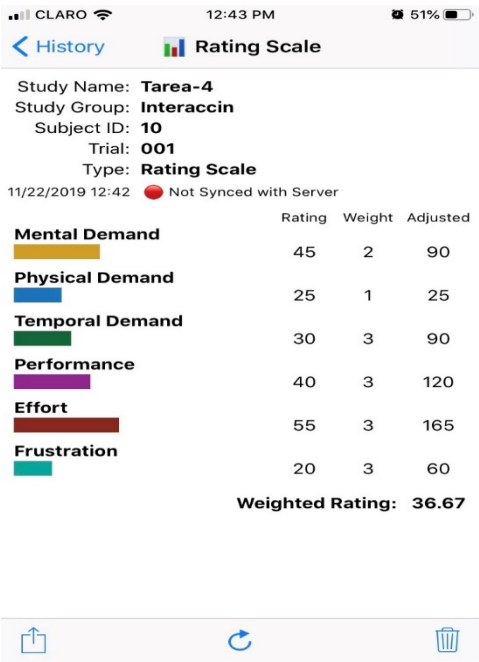


Figura 4 – Totalización de los resultados del instrumento Nasa-TLX para la tarea 4.

En la Figura 4, se presenta un ejemplo de tabulación de datos del participante 10 en la Tarea 4. Se puede apreciar que tenemos un valor “rating” que es el valor obtenido en la segunda parte de la evaluación de NASA-TLX y un valor “weight” que es el resultado de la primera parte de la evaluación. Los valores de rating y weight se multiplican para poder obtener el valor “adjusted” y la suma de cada uno de ellos nos da el valor final que

es tomado en cuenta con el de cada uno de los participantes para realizar un promedio y tener el resultado final.

Cabe destacar que, durante el proceso, los participantes podían acudir a los evaluadores en cualquier momento para consultar dudas sobre las tareas que estaban ejecutando. El experimento duró aproximadamente 45 minutos.

5. Resultados y discusiones

Criterio	Participantes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Esfuerzo mental</i>	65	110	100	40	165	90	50	50	20	120
<i>Esfuerzo físico</i>	50	0	50	90	0	75	60	50	90	45
<i>Esfuerzo temporal</i>	100	55	75	80	40	60	120	40	50	50
<i>Rendimiento</i>	60	25	90	50	30	20	120	30	75	150
<i>Esfuerzo</i>	100	50	120	90	100	100	40	150	80	120
<i>Frustración</i>	50	10	50	100	0	135	20	30	40	80
<i>Promedio por participantes</i>	425	250	485	450	335	480	410	350	355	565
<i>Promedio general</i>	410,5									

Tabla 3 – Totalización de los resultados del instrumento Nasa-TLX para la tarea 1.

Criterio	Participantes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Esfuerzo mental</i>	10	60	7	0	220	150	10	50	20	135
<i>Esfuerzo físico</i>	15	5	30	75	0	45	0	90	5	90
<i>Esfuerzo temporal</i>	5	0	10	45	10	110	150	70	20	55
<i>Rendimiento</i>	25	25	80	30	35	120	45	160	200	120
<i>Esfuerzo</i>	0	5	120	30	100	30	5	75	40	60
<i>Frustración</i>	50	0	40	5	120	15	10	45	5	20
<i>Promedio por participantes</i>	105	95	287	185	485	470	220	490	290	480
<i>Promedio general</i>	310,7									

Tabla 4 – Totalización de los resultados del instrumento Nasa-TLX para la tarea 2.

Los resultados de las 4 tareas consideradas en este experimento se presentan en las Tablas 3, 4, 5 y 6. Los valores promedio de totalización en todas tablas se encuentran en un promedio menor a los 500 puntos; por consiguiente, los resultados nos permiten inferir las interfaces de la aplicación no requieren de acciones correctivas. No obstante, el detalle de las tablas también nos permite apreciar que hubo participantes que obtuvieron valores altos, por lo que se realizó el siguiente análisis por cada una de las tareas.

Criterio	Participantes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Esfuerzo mental</i>	150	120	200	50	75	140	10	60	10	90
<i>Esfuerzo físico</i>	0	40	0	90	5	0	5	75	15	60
<i>Esfuerzo temporal</i>	40	100	80	80	10	105	15	40	5	60
<i>Rendimiento</i>	60	80	80	135	80	120	60	100	35	100
<i>Esfuerzo</i>	65	65	20	40	50	80	15	90	0	90
<i>Frustración</i>	0	0	100	0	35	160	10	30	5	90
<i>Promedio por participantes</i>	315	405	480	395	255	605	115	395	70	490
<i>Promedio general</i>	410,5									

Tabla 5 –Totalización de los resultados del instrumento Nasa-TLX para la tarea 3.

Criterio	Participantes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Esfuerzo mental</i>	80	100	75	90	10	60	60	50	0	90
<i>Esfuerzo físico</i>	60	90	25	0	0	5	5	160	50	25
<i>Esfuerzo temporal</i>	50	50	75	20	100	40	30	60	20	90
<i>Rendimiento</i>	100	45	75	75	30	90	20	120	40	120
<i>Esfuerzo</i>	75	20	50	50	0	50	20	40	30	165
<i>Frustración</i>	0	0	0	0	0	15	30	20	5	60
<i>Promedio por participantes</i>	365	305	300	235	140	260	165	450	145	550
<i>Promedio general</i>	410,5									

Tabla 6 – Totalización de los resultados del instrumento Nasa-TLX para la tarea 4.

Resultados de la tarea 1: Se puede observar que de los diez encuestados el numero 10 posee un resultado mayor a 500, se debe analizar los valores más altos en su respectiva categoría para lograr ese puntaje. En este caso son: demanda mental, rendimientos, esfuerzo. Por lo cual para los elementos y acciones que se usan para cumplir esta tarea se recomienda reducir los pasos para llegar al objetivo.

Resultados de la tarea 2: Según la tabla 4, ningún evaluador presento problema alguno con esta tarea. El resultado de cada uno no es mayor o igual a 500, por lo que sus categorías con respectivos valores no fueron altas. Dando a entender que no se debe realizar ningún cambio para los elementos y acciones que se necesitan para completar la tarea.

Resultados de la tarea 3: En los resultados de la tarea 3, obtenemos del evaluado de nombre número 6 un valor mayor a 500, por lo que se debe analizar sus criterios. Los criterios con mayor valor son: demanda mental, demanda temporal, rendimiento y

frustración. Con este análisis se puede llegar a considerar un cambio en la posición y forma de ciertos elementos que son necesarios para completar la tarea, puesto que los usuarios pueden tener dificultad en encontrarlos o comprenderlos teniendo dificultad en esos criterios

Resultados de la tarea 4: En la tabla 6 perteneciente a la tarea 4, el participante identificado con el número 10 presenta de nuevo dificultades como se puede ver en su resultado que es mayor a 500. Como se hizo anteriormente se deben analizar los criterios, llegando a obtener que los que poseen mayor puntaje son: rendimiento y esfuerzo. Por lo que si se consideras los elementos y acciones que realiza el usuario para cumplir la tarea se debe modificar o eliminar el número de interacciones y pasos que afecten el rendimiento de ejecución del programa y de la persona.

5.1. Discusión

La aplicación del método Nasa-TLX proporcionó un mecanismo adicional para estudiar la usabilidad, además de medir el comportamiento del usuario al interactuar con la plataforma.

El aplicar este método sobre ePHoRt, desde la perspectiva del fisioterapeuta, nos permitió medir el índice de la carga de cognitiva. Valores resultantes que se encontraron dentro de los parámetros aceptables. No obstante, a través de este estudio también se pudo identificar la necesidad de reorganizar algunos componentes en las interfaces para mejorar la experiencia de usuario de los participantes. Se considera que el diseño estructural de la información es importante para facilitar el acceso intuitivo a los contenidos. Además, se evidencio la necesidad de reducir el número de interacciones, especialmente para las tareas de consulta y edición de un programa terapéutico. La reducción del número de interacciones es importante para que el participante no tenga que perder tiempo durante la interacción (Nielsen J., 1995).

Una de las limitaciones de este estudio fue conseguir profesionales para participar en el experimento. En este sentido, se sugiere que este estudio pueda ser aplicado a una extensa población de fisioterapeutas.

6. Conclusiones

El índice de carga cognitiva representa el esfuerzo que realiza el usuario al momento de ejecutar una tarea. En este sentido, este valor es importante para la usabilidad dado que esta estudia los factores humanos inherentes a como los usuarios ejecutan las tareas, entre ellos, sus acciones, habilidades y comportamientos.

El método NASA-TLX proporcionan a los desarrolladores y a las partes interesadas una forma de medición del índice de carga cognitiva; la cual puede ser incorporada al proceso de desarrollo con el objeto de mejorar este índice de forma continua, y consecuentemente, la experiencia de los participantes.

El caso de estudio desarrollado sobre ePHoRt permitió medir los niveles de carga cognitiva apreciables por los participantes lo cual representa un factor importante dado que la plataforma será utilizada en el ámbito de la telerehabilitación; donde los pacientes y los fisioterapeutas pueden tener dificultades para utilizar este tipo de sistemas.

Finalmente, hemos logrado identificar las barreras de usabilidad, así como también estimar la carga de trabajo que experimentará un fisioterapeuta al hacer uso de la plataforma. Los resultados proporcionan al equipo encargado del desarrollo y a equipos interesados en la telerehabilitación física, un método de mejora mediante la predicción del índice de carga de trabajo.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad de Las Américas. Quito - Ecuador, número de subvención: SIS.JPM.18.01. También agradecemos al Senescyt por su soporte a través del programa NACIONAL DE FINANCIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN (INÉDITA), bajo la Convención No.: 20190020CI y el código del proyecto: PIC-18-INE-UDLA -001.

Referencias

- Antón, D., Goñi, A., Illarramendi, A., Torres-Unda, J. J., & Seco, J. (2013, October). KiReS: A Kinect-based telerehabilitation system. In *2013 IEEE 15th international conference on e-health networking, applications and services (Healthcom 2013)* (pp. 444-448). IEEE.
- Eguiluz-Perez, G., & Garcia-Zapirain, B. (2014, May). Telerehabilitation web application for health care professionals and adults with multiple sclerosis. In *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 286-289).
- Esparza, W.D. Aladro-Gonzalvo, A., Pérez-Medina, J. L., Jimenes, K. B., & Baldeon, J. (2019, July). Detecting Human Factors that Induce Errors in Movement Patterns for the Development of a Web-Based Telerehabilitation Platform. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 165-176). Springer, Cham.
- Hart, S. G., Childress, M. E., & Hauser, J. R. (1982, April). Individual definitions of the term "workload". In *Eighth Symposium on Psychology in the Department of Defense* (pp. 478-485).
- Hart, S. G. (1988). Development of NASA-TLX: Results of empirical and theoretical research." In P. A. Hancock and N. Meshkati (eds.), *Human Mental Workload*.
- Klaassen, B., van Beijnum, B. J., & Hermens, H. J. (2016). Usability in telemedicine systems—A literature survey. *International journal of medical informatics*, 93, 57-69.
- Longo, L., & Kane, B. (2011, June). A novel methodology for evaluating user interfaces in health care. In *2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Nielsen, J. (1995). 10 usability heuristics for user interface design. *Nielsen Norman Group*, 1(1).

- Parmanto, B., & Saptono, A. (2009). Telerehabilitation: State-of-the-Art from an Informatics Perspective. *International journal of telerehabilitation*, 1(1), 73–84. <https://doi.org/10.5195/ijt.2009.6015>
- Paternò, F. (1999). *Model-based design and evaluation of interactive applications*. Springer Science & Business Media.
- Pérez-Medina, J. L., Acosta-Vargas, P., & Rybarczyk, Y. (2019). A Systematic Review of Usability and Accessibility in Tele-Rehabilitation Systems. In *Assistive and Rehabilitation Engineering*. IntechOpen.
- Pérez-Medina, J. L., González, M., Pilco, H. M., Vargas, K. B. J., Acosta-Vargas, P., Sanchez-Gordon, S., Calle-Jimenez, T. Esparza, D., Rybarczyk, Y. (2019). Usability study of a web-based platform for home motor rehabilitation. *IEEE Access*, 7, 7932-7947.
- Pérez-Medina, J. L., Jimenes-Vargas, K. B., Acosta-Vargas, P., Rybarczyk, Y., & González, M. (2019, July). User Experience Assessment of a Tele-Rehabilitation Platform: The Physiotherapist Perspective. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 463-473). Springer, Cham.
- Pérez Medina, J. L., Vanderdonckt, J., & Villarreal Narvaez, S. (2019). CROSSIDE: A Design Space for Characterizing Cross-Surface Collaboration by Sketching. *Journal of Visual Language and Computing*, 1, 1.
- Pilco, H., Sanchez-Gordon, S., Calle-Jimenez, T., Pérez-Medina, J. L., Rybarczyk, Y., Jadán-Guerrero, J., ... & Nunes, I. L. (2019). An agile approach to improve the usability of a physical telerehabilitation platform. *Applied Sciences*, 9(3), 480.
- Rahman, S. M. (2020). Design and Evaluation of Human-Friendly Hand-Held Gaming Interface for Robot-Assisted Intuitive Telerehabilitation. In *International Conference on Intelligent Human Systems Integration* (pp. 1034-1040). Springer, Cham.
- Russell, T. G. (2007). Physical rehabilitation using telemedicine. *Journal of telemedicine and telecare*, 13(5), 217-220.
- Rybarczyk, Y., Deters, J. K., Gonzalvo, A. A., Gonzalez, M., Villarreal, S., & Esparza, D. (2017, April). ePHoRt project: A web-based platform for home motor rehabilitation. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 609-618). Springer, Cham.
- Schmeler, M. R., Schein, R. M., McCue, M., & Betz, K. (2009). Telerehabilitation clinical and vocational applications for assistive technology: research, opportunities, and challenges. *International journal of telerehabilitation*, 1(1), 59–72.
- Winters, J. M. (2002). Telerehabilitation research: emerging opportunities. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 4(1), 287-320.

Sistema de monitoreo cardiovascular utilizando tecnología IoMT

Hamilton Lugmaña¹, Milton Román-Cañizares¹, Iván Sánchez Salazar¹

hamilton.lugmana@udla.edu.ec; milton.roman@udla.edu.ec; ivan.sanchez.salazar@udla.edu.ec

¹ Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad de Las Américas, Quito, 170503, Ecuador.

Pages: 238–249

Resumen: El presente artículo, constituye el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo y control de los signos vitales de pacientes propensos a problemas cardiovasculares, utilizando Internet of Medical Things (IoMT). Permite obtener los datos por medio de una pulsera, que mediante un sensor recopila y procesa la información de la frecuencia cardíaca del paciente, para posteriormente ser enviados por medio de una conexión wifi a una aplicación web alojada en la nube, asegurando que la información se encuentre siempre disponible y accesible, tanto para el paciente como para el médico en tiempo real. Además, este sistema garantiza que el paciente mantendrá un constante monitoreo por parte de un profesional de la salud previamente registrado en el sistema, sin la necesidad de asistir a un consultorio médico. También, este sistema tiene la capacidad de agendar una cita médica automáticamente si las muestras de frecuencia cardíaca del paciente se encuentran fuera del umbral establecido. Finalmente, de las pruebas realizadas con el prototipo electrónico y un monitor de ritmo cardíaco comercial, se obtuvieron resultados que al ser comparados entre sí, presentaron un error menor al 1%, es decir, que el prototipo ofrece resultados apegados a los obtenidos por dispositivos comerciales.

Palabras-clave: IoMT; sistema de monitoreo; frecuencia cardíaca; disponibilidad; accesibilidad.

Cardiovascular Monitoring System Using IoMT Technology

Abstract: This article constitutes the development and implementation of a monitoring and control system of the vital signs of patients prone to cardiovascular problems, using the Internet of Medical Things (IoMT), allows obtaining the data by means of a bracelet, which by means of a sensor collects and processes the patient's heart rate information, to be later sent via Wi-Fi connection to a web application hosted in the cloud, ensuring that the information is always available and accessible, both for the patient and the doctor in real time. In addition, this system guarantees that the patient will maintain constant monitoring by a health professional previously registered in the system, without the need to attend a medical office. Also, this system has can automatically schedule a medical appointment if the patient's heart rate samples are outside the set threshold. Finally, from the tests carried out

with the electronic prototype and a commercial heart rate monitor, measurements were obtained that, when compared, presented an error of less than 1%, that is, that the prototype offers results attached to those obtained by commercial devices.

Keywords: IoMT; monitoring system; heart rate; availability; accessibility.

1. Introdução

Internet of Medical Things por sus siglas en ingles IoMT, se define como la atención médica no presencial, por medio de la utilización de nuevas tecnologías que permiten prestar servicios de forma remota, facilitando la conexión inalámbrica de distintos dispositivos médicos a un sistema configurado, de tal manera que permita controlar y monitorear a distancia a los pacientes (Boutros, Saikali & Abou, 2018). Además, con la nueva presencia y el lanzamiento de 5G, se espera llevar esta tecnología un paso más adelante, abriendo la posibilidad de manejar datos médicos de poblaciones enteras (Núñez, 2016).

El ritmo de vida actual de las personas hace que estas no vean su salud como una prioridad. Asimismo, existen personas que tienen alguna enfermedad cardiovascular por su estilo de vida que necesita de una continuidad asistencial. Por lo que, las últimas estadísticas tomadas por la organización mundial de la salud en el año 2015 presentan a una cifra de 17,7 millones de personas que fallecieron, debido a problemas cardiovasculares que no fueron atendidos a tiempo. De la misma manera, este número representa un total del 31% de las muertes registradas en el mundo (OMG, 2015).

Los procedimientos actuales para controlar el estilo de vida de una persona son costosos y debido a esto, la accesibilidad a nuevas tecnologías que permitan monitorear en tiempo real los distintos factores responsables de un problema cardiovascular, como por ejemplo la frecuencia cardíaca y actividad física, son casi nulas.

Finalmente, en los argumentos mencionados con anterioridad, se puede apreciar como la presencia de la tecnología IoMT, puede tener un impacto positivo en la actualidad que permita mejorar el nivel y la calidad de vida de las personas, ya sea controlando su estado de salud sin la necesidad de acudir a un centro médico, así como también proporcionándole al usuario la posibilidad de provechar al máximo su tiempo en otras actividades, sin descuidar su salud. Con base a este argumento, se pretende desarrollar e implementar un sistema de monitoreo y alerta temprana que le permita al usuario llevar un registro continuo de su estado de salud, mediante la toma de frecuencia cardíaca y la supervisión de su médico de confianza. Con esto, se espera incidir en la disminución de muertes y enfermedades cardiovasculares en la población.

2. Antecedentes

El avance tecnológico presente en los últimos años ha tenido un fuerte impacto en el área de la medicina. Por ejemplo, en Cataluña se presentó una propuesta innovadora, la cual trata acerca de la visita médica no presencial, permitiendo que los datos del paciente se almacenen en una plataforma virtual, haciendo posible que dicha información se encuentre siempre al alcance de quien lo necesite. A partir de esta iniciativa, se desarrolla el sistema informático eBPlataform, mismo que se encuentra bajo el concepto

de IoMT siendo este último una rama de IoT, enfocado en la medicina o salud. Este sistema, utiliza un sensor eBox para monitorear la presión arterial de los pacientes con la ventaja de mantener los datos en un portal web, de tal forma que los médicos puedan proporcionar un tratamiento en línea. (Lui, Niu, Yang & Shu, 2014)

Por otro lado, uno de los pioneros en el tema de Smart Health es la empresa de Google, quienes llevaron a cabo la propuesta de lanzar una banda inteligente que le sirva como ayuda a los médicos para poder llevar un monitoreo a distancia de los pacientes. El primer lanzamiento de este proyecto se da en el 2008, mismo que fracaso debido a la falta de usuarios. En el 2014 se vuelve a lanzar nuevamente el proyecto, pero con nuevo enfoque el cual se centra más en el control de ejercicio y nutrición. (Llordachs, 2016)

Samsung, se convierte en la principal competencia de Google mediante S-Health una aplicación diseñada específicamente para llevar un registro por medio del monitoreo y control del estado físico de una persona. (Bret, 2018)

Otro enfoque interesante se presenta en el 2017 por Oswaldo Arias estudiante graduado de la Universidad de las Américas, quien realiza la implementación de un sistema de monitoreo basado en la medición del pulsos cardíacos y saturación de oxígeno en la sangre, utilizando sensores que recopilan los datos del paciente cada cierto tiempo para posteriormente ser mostrados en una aplicación local. (Arias, 2017)

El sistema de alarma de ayuda médica basada en IoMT, tiene como objetivo reducir el número de muertes por accidentes o pánico, mediante la utilización de un botón que envía alertas a los hospitales más cercanos previamente registrados, con la información completa del usuario y su ubicación actual, de tal manera que pueda ser asistido de forma inmediata. (Gaur, Kurma & Thakur, 2017).

Por los antecedentes antes mencionados, con este estudio se propone llevara a cabo un sistema de monitoreo que permita tomar datos de frecuencia cardíaca de manera continua en pacientes que lo requieran y direccionar esta información para ser evaluada en tiempo real por un médico de confianza, de tal forma que este pueda proporcionarle a su paciente un diagnóstico más preciso y acorde a su estado de salud, sin la necesidad de acudir a un consultorio médico.

3. Conceptos generales

3.1. IoMT

IoMT denominado también como Internet of Medical things es una de las ramas de IoT y además es la tecnología que se encarga de conectar varios instrumentos, dispositivos o sensores médicos a una red o sistema de TI, los mismos que se encargan de recolectar información de los signos vitales del paciente, de tal manera que se pueda monitorear en tiempo real a los usuarios para obtener un diagnóstico médico más preciso. (Editorial Equipo, 2018).

Por otro lado, la finalidad de IoMT, es utilizar sensores y microcontroladores para monitorear a los pacientes de manera constante, ahorrando tiempo y recursos. De la misma manera, en la tabla 1, se muestran algunas de las plataformas más utilizadas para llevar a cabo este tipo de proyectos:

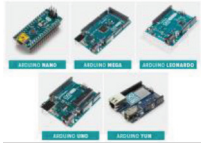
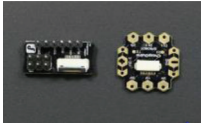
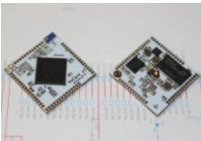
Plataforma	Descripción	Imagen
Arduino	Plataforma compuesta de hardware y software libres, que incorpora un microcontrolador Atmel programable.	
CheapDuino	Dispositivo de tamaño reducido con gran capacidad de procesamiento y compatibilidad con el entorno de desarrollo Arduino.	
Vocore2	Microprocesador de tamaño pequeño similar al de una moneda que utiliza como sistema operativo una versión reducida de Linux, manteniendo las características de código abierto.	

Tabla 1 – Plataformas para el desarrollo de IoMT. Adaptado de (Arduino, 2019), (DFROBOT, 2019) y (Vocore2, 2019).

3.2. Tecnologías de comunicación inalámbricas

Entre las dos tecnologías de comunicación inalámbricas más utilizadas por IoT se encuentran:

- Wifi. – Tecnología de conexión inalámbrica para redes de área local, se basan en el estándar IEEE 802.11 que permite la movilidad de los usuarios en un área de terminada, con bajos costos de implementación. (Castro, 2019).
- Bluetooth Low Energy. – Denominado también como Bluetooth Smart, debido a la reducción de consumo y bajos niveles de transmisión erróneos con velocidades de 1 Mbps que utiliza mecanismos de cifrado AES de 128 bits, además, fue presentado alrededor del año 2010 y fue integrado a la versión 4.0.

3.3. Modelo de conectividad Device-to-Gateway

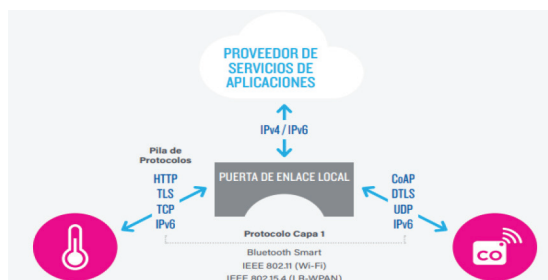


Figura 1 – Arquitectura Device to Gateway. Tomado de (Thaler, 2015).

Device-to-Gateway (dispositivo a puerta de enlace). – Permite la conexión de un elemento utilizando el servicio ALG denominado también como modelo de dispositivo a puerta de enlace de capa de aplicación. Mismo que posee un intermediario o puerta de enlace que permite llevar acabo la conexión de un dispositivo cualquiera, con un proveedor de servicios en la nube. Como se muestra a continuación en la Figura 1. Este modelo permite un mejor manejo de los datos, debido a la traducción de protocolos, así como también una mayor seguridad. (Thaler, 2015).

3.4.Medicina y salud

El estudio y desarrollo de nuevas tecnologías están revolucionando el área de la medicina, proporcionando mejoras que permitan llevar un monitoreo constante que asegure un mejor control de los pacientes, de tal manera que tanto los médicos como dichos pacientes puedan aprovechar al máximo su tiempo.

- Frecuencia cardíaca. - Es un dato que se obtiene en un determinado intervalo de tiempo y es el número de veces que late el corazón en dicho tiempo. Así mismo, este valor puede apreciarse de mejor manera en ciertos puntos del cuerpo humano, tales como: cuello, parte trasera de las rodillas, muñeca, entre otros. (NCI, 2019).

Por otro lado, el valor de la frecuencia cardíaca en las personas depende de su estilo y hábitos de vida diarios, por lo general cuando una persona adulta se encuentra en estado de reposo su ritmo cardíaco oscila entre 50 y 100 latidos por minuto. En las (Tablas 2 y 3) se puede apreciar de mejor manera como la edad y otros factores afectan directamente al rango de latidos por minuto establecidos como normal. (SEC, 2019).

HOMBRES				
Edad	Mal	Normal	Bien	Excelente
20 – 29	86 +	70 – 84	62 – 68	60 o menos
30 – 39	86 +	72 – 84	64 – 70	62 o menos
40 – 49	90 +	74 – 88	66 – 72	64 o menos
50 +	90 +	75 – 88	68 – 74	66 o menos

Tabla 2 – Frecuencia cardíaca según la edad y género, en estado de reposo (Hombres). Adaptado de (SEC, 2019).

MUJERES				
Edad	Mal	Normal	Bien	Excelente
20 – 29	96 +	78 – 94	72 – 76	60 o menos
30 – 39	98 +	80 – 96	72 – 78	70 o menos
40 – 49	100 +	80 – 98	74 – 78	72 o menos
50 +	104 +	84 – 102	76 – 86	74 o menos

Tabla 3 – Frecuencia Cardíaca según la edad y género, en estado de reposo (Mujeres). Adaptado de (SEC, 2019).

4. Desarrollo

4.1. Metodología

El desarrollo de este proyecto principalmente se compone de 5 etapas como se puede apreciar en la figura 2, las cuales son dependientes la una de las otras. En la primera, se lleva a cabo la recopilación de datos de frecuencia cardiaca, por medio del sensor acoplado en el prototipo electrónico. Estas muestras son analizadas y procesadas de forma temporal para ser promediadas cada minuto en la segunda etapa. La tercera etapa, es la encargada de validar la conexión wi-fi para enviar la información hacia base de datos alojada en la nube.

En la cuarta fase la base de datos se encarga de identificar toda la información proveniente del dispositivo electrónico para posteriormente almacenarla y finalmente, toda esta información es presentada de forma visual en un histograma que es parte del front-end de la aplicación Web, estos datos pueden ser analizados para posteriores mejoras de hardware y software.



Figura 2 – Etapas del sistema.

4.2. Análisis de herramientas de software

- **DBMS.** - Entre los sistemas de gestión de Bases de Datos o DBMS más utilizados para el manejo de información y desarrollo de bases de datos, se encuentran SQL Server y MySQL, entre los cuales se llevará a cabo un análisis de ventajas y desventajas, como se muestra en la Tabla 4. El proceso de elección del DBMS es fundamental para el desarrollo del proyecto, debido que es el software encargado de gestionar toda la información del sistema médico.

Características	SQL Server	MySQL
<i>Empresa</i>	Microsoft	MySQL AB
<i>Sistema Operativo</i>	Windows, Linux	Múltiples SO
<i>Copias de Seguridad</i>	Completas, parciales e incrementales	Diferenciales, completas, a nivel de archivo e incrementales
<i>Licencia</i>	Comercial	Código abierto

Tabla 4 – Ventajas y desventajas SQL Server vs MySQL. Adaptado de (EDUCBA, 2020).

En base al análisis de las características que presenta cada tipo de DBMS, se ha optado por seleccionar MySQL para el desarrollo de la base de datos del sistema médico, debido a que este sistema de gestión para base de datos posee una licencia de código abierto,

así como también soporta múltiples sistemas operativos, lo que lo hace una solución óptima para proyectos con características escalables.

- Aplicación web. – Esta es la encargada de gestionar toda la información enviada por el prototipo electrónico, esta aplicación debe ser amigable con el usuario tanto en la manipulación como en la interfaz gráfica. Por lo que es fundamental llevar a cabo una evaluación de los distintos lenguajes de programación, entornos de desarrollo y herramientas presentes en la actualidad. En la Tabla 5, se muestran varios lenguajes de programación cada uno con sus respectivas características.

Leguaje de programación	Características	Ventajas	Desventajas	Sistema operativo
<i>Visual Basic .NET</i>	Lenguaje de programación basado en eventos.	Formularios de Windows. Acceso a gran parte de las Api's y librerías de Windows.	Problemas con versiones anteriores a vb.net.	Windows
<i>PHP</i>	Lenguaje de programación interpretado.	Aplicaciones web Dinámicas. Código abierto.	Ofuscación	Multi-plataforma
<i>JavaScript</i>	Lenguaje de programación scripting.	FullStack. Buenos efectos visuales. El código se ejecuta desde el servidor hacia el cliente.	Código visible en el FrontEnd. Ejecución distinta por compatibilidad en diferentes navegadores.	Multi-plataforma
<i>Licencia</i>		Comercial	Código abierto	

Tabla 5 – Lenguajes de programación para desarrollar aplicaciones web.
Adaptado de (Universia, 2020).

La mayoría de los lenguajes de programación presentados anteriormente en la tabla 5, poseen varias características interesantes para el desarrollo de la aplicación web, sin embargo, se ha optado por utilizar como lenguaje de programación principal PHP, ya que es de código abierto y está diseñado específicamente para páginas web dinámicas. De la misma forma, se utilizará en el lado del servidor el lenguaje de programación JavaScript como un complemento para la conexión con la base de datos y el gráfico estadístico, también se utilizará hojas de estilos o Css para un mejor acabado del diseño.

4.3.Red médica

En base a los estudios realizados se ha determinado que una de las tecnologías de conexión inalámbrica más utilizada en la actualidad es wifi, por su velocidad, niveles de cobertura y concurrencia de usuarios. De la misma manera, se ha optado por utilizar la arquitectura Device to Gateway, ya que esta permite conectarse a un Gateway como medio de propagación para enviar información por una red LAN hacia internet.

Una vez seleccionada la arquitectura a utilizarse para el desarrollo del proyecto se procede a realizar el diseño de la red. Como se puede apreciar en la figura 3.

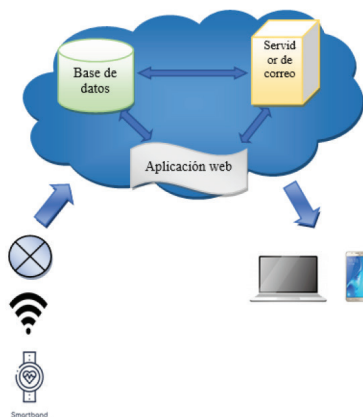


Figura 3 – Topología de red médica.

La presente topología de red está diseñada específicamente para que el prototipo pueda conectarse de forma inalámbrica con una red LAN, de tal manera que esta puede enviar los datos receptados por el sensor integrado en dicho prototipo electrónico hacia una base de datos alojada en la nube. De igual forma, esta contendrá en su interior más servicios como correo electrónico y una página web. La ventaja de usar esta arquitectura es que permite mantener disponible la información en todo momento, asegurando la integridad y disponibilidad de los datos.

El usuario podrá iniciar sesión o registrarse en la página web, dicha página contendrá y administrará toda la información del dispositivo o prototipo electrónico. De la misma manera, dependiendo del tipo de usuario el sistema diferenciará las cuentas de médico y paciente, debido a que la interfaz del paciente es distinta a la del médico. Además, cada vez que se registre un nuevo médico o paciente el sistema automáticamente enviará un mensaje de correo electrónico.

4.4. Prototipo electrónico

El prototipo electrónico está compuesto de distintas etapas, las cuales deben ejecutarse complementariamente para asegurar un óptimo rendimiento del dispositivo y toma de datos, en la figura 4, se puede apreciar de mejor manera dichas etapas, las cuales son:

- Etapa de alimentación: En esta primera etapa se define la alimentación de todo el prototipo, mediante la utilización de baterías de litio recargables y un módulo Tp4056, el cual se responsabiliza de la protección de las baterías y de su carga.
- Recopilación de datos: El encargado de realizar la recolección de todos los datos es el sensor de ritmo cardíaco.
- Procesamiento de datos: Esta etapa es fundamental, debido a que se encarga de recopilar varios datos como muestras de frecuencia cardíaca en un minuto y alojarlos en un arreglo para proporcionar un dato más confiable.
- Envío de datos: Una vez procesados los datos, estos se envían hacia la aplicación web utilizando como medio de propagación un módulo wifi.

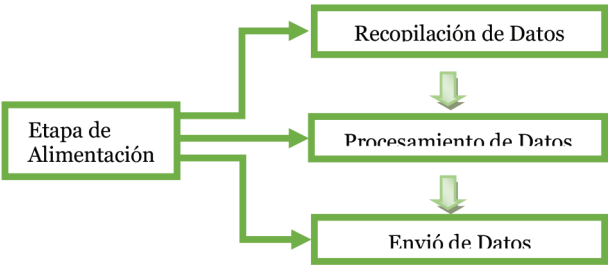


Figura 4 – Diagrama arquitectónico del prototipo.

5. Pruebas

Para validar la información obtenida por el sensor de frecuencia cardíaca, se ha utilizado un monitor de ritmo cardíaco comercial, es así que se ha comparado los datos adquiridos entre los dos dispositivos. En la figura 5, se pueden apreciar de forma gráfica los distintos datos presentados por el prototipo y el monitor de ritmo cardíaco comercial. Esta información es expuesta, luego de un previo análisis y promedio de datos tomados en 38 pacientes, entre los cuales estuvieron individuos con y sin afecciones cardíacas de diferentes grupos etarios, asociados por un rango de edad y género. Es importante mencionar que las pruebas fueron realizadas en pacientes con su previa autorización.

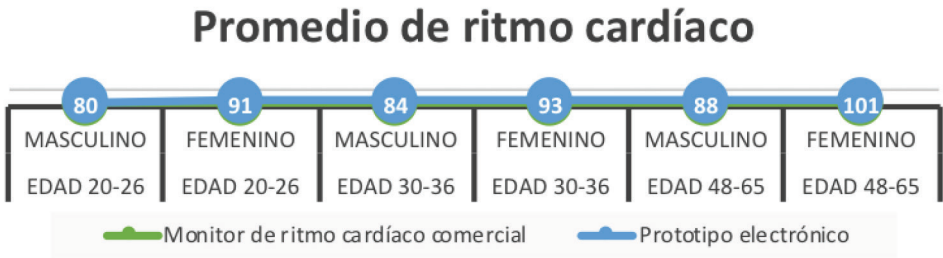


Figura 5 – Promedio de ritmo cardíaco.

A partir de la comparativa realizada entre el monitor de frecuencia cardíaca comercial y el prototipo, se presenta en la figura 6, los valores estimados dentro de un rango de error menor al 1%, proporcionando a este proyecto la posibilidad de seguir con la investigación en el área de IoMT.

Finalmente, se realizaron pruebas de la agenda automática con datos de frecuencia cardíaca superiores a 86, teniendo en consideración un paciente de género masculino perteneciente al rango de 20 a 26 años, en un estado activo. La Figura 7, muestra un ejemplo del almacenamiento automático en la agenda del médico profesional y la manera visual en la que se pueden apreciar los datos del paciente que tiene una anomalía en sus signos vitales.

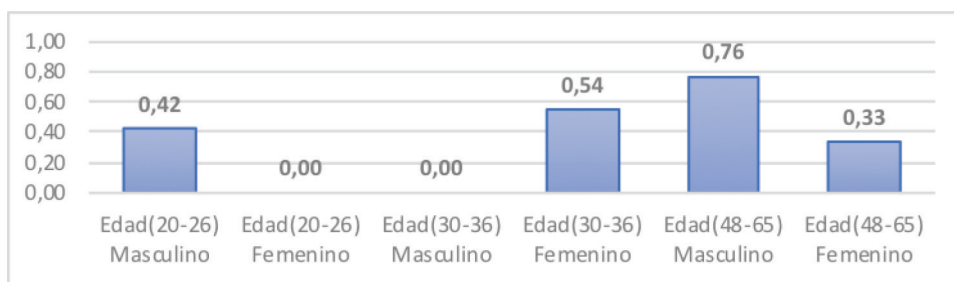


Figura 6 – Porcentaje de error de las lecturas.

NOMBRES	DOCTOR	ESTADO	FECHA	HORA
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-25	16:15:21
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-25	16:52:22
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-25	17:00:21
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-25	17:38:21
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-30	04:48:16
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-31	07:00:23
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-31	07:13:16
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-31	07:20:26
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-01-31	07:21:03
+ paciente prueba	medico prueba	Grave	2020-02-02	17:44:34

Figura 7 – Agenda automática.

6. Conclusiones

Mediante el diseño e implementación del prototipo electrónico y el sistema de monitoreo, fue posible tomar muestras de frecuencia cardíaca a través de un dispositivo con IoMT y enviar estos datos de forma inalámbrica hacia a una plataforma alojada en la nube, con esto, se posibilita al usuario la disponibilidad y accesibilidad a la información en tiempo real tanto para el médico tratante como para el paciente.

El presente proyecto permite, además de monitorear la frecuencia cardíaca, guardar un histórico de los datos del paciente y emitir alertas tempranas indicando que el ritmo cardíaco está fuera del umbral establecido. Es así que se convierte en una herramienta que permite disminuir o reducir la incidencia en muertes por enfermedades cardiovasculares.

Se logró tomar varias muestras de frecuencia cardíaca en un minuto en la etapa de procesamiento y en un estado de reposo o activo de los pacientes, de tal manera que esta información posea un menor porcentaje de error en sus lecturas, garantizando una mayor confiabilidad en los datos y además se facilite el diagnóstico por parte del profesional médico.

El sistema utiliza una arquitectura Device to Gateway tomado de los modelos de conectividad de la tecnología IoT, que utiliza una conectividad wi-fi para el envío de información, permitiendo que el prototipo electrónico o pulsera se conecte con

un proveedor de servicios en la nube, garantizando una mayor disponibilidad y accesibilidad a los datos.

En las pruebas realizadas con el prototipo electrónico y el monitor de ritmo cardíaco comercial, se obtuvieron mediciones que al ser comparadas tuvieron un error menor al 1%, lo que indica que el nivel de confianza es mayor al 99%; es decir, el prototipo ofrece resultados apegados a los obtenidos por dispositivos comerciales.

A través de la plataforma de monitoreo de frecuencia cardíaca se abre la posibilidad de monitorear otros signos vitales, tales como: presión arterial, frecuencia respiratoria y temperatura corporal, para lo cual se deberían incluir nuevos sensores, generando un sistema que proporcione al médico más información que le permita diagnosticar de forma más sustentada afecciones cardíacas y de otra índole.

Referencias

- Arduino. (2019). *¿Qué es Arduino?*. Retrieved from: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arias, O.(2017). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para la medición del pulso cardíaco y saturación de oxígeno en la sangre.(Thesis degree in engineer network and telecommunications), Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad de las Américas, Ecuador.
- Bret, A. (2018). *Samsung Health*. Retrieved from: <https://www.tuexpertoapps.com/2018/09/13/samsung-health-asi-la-renovada-aplicacion-salud-samsung/>
- Boutros, N., Saikali, K., Abou, R. (2018). An IoMT platform to simplify the development of healthcare monitoring applications,(pp. 1-2).In *Proceedings 2018 Third International Conference on Electrical and Biomedical Engineering, Clean Energy and Green Computing (EBECEGC)*. Beirut, Lebanon: IEEE publishing. doi: 10.1109/EBECEGC.2018.8357124
- Castro, R. (2019). *Going forward more Secure WIFI Networks*. Retrieved from: <http://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/73/ENFOQUE1.pdf>
- DFROBOT. (2019). *Cheapduino*. Retrieved from: <https://www.dfrobot.com/product-899.html>
- Editorial Equipo. (2018). *IoMT: Internet de las cosas médicas y sus aportes a la salud*. Retrieved from: <https://reportedigital.com/iot/internet-de-las-cosas-medicas-iomt/>
- EDUCBA. (s.f). *MySQL vs SQL Server*. Retrieved from: <https://www.educba.com/mysql-vs-mssql/>
- Gaur, N., Kumar, S., Thakur, S. (2017). An IOMT based medical-aid-alarm system with online server assistance. In *Proceedings of the 2017 7th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering – Confluence*, (pp. 1-2). Noida, India: IEEE publishing. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7943155>

- Llordachs, F. (2016). *E-Health, Internet de las cosas médicas (IoMT)*. Retrieved from: <http://www.sumandohistorias.com/reportajes/e-health-internet-cosas-medicas/>
- Lui, Y., Niu, J., Yang, L., Shu, L. (2014). An IoT-based system for NCD patient's homecare in China. In *Proceedings of the 2014 IEEE Global Communications Conference*,(pp.1-5). Austin, TX, USA: IEEE publishing. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7037175>
- NCI. (2019). *frecuencia cardíaca*. Retrieved from: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/frecuencia-cardiaca>
- Núñez, V. (2016). *Internet of Things and Home-Centered Health*. Retrieved from: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/salud/article/viewArticle/7580/9870>
- OMG. (2015). *Informe sobre la salud en el mundo*. Retrieved from: <https://www.who.int/whr/2006/overview/es/>
- Samsung. (s.f). *Samsung Health*. Retrieved from <https://www.samsung.com/latin/apps/samsung-health/>
- SEC. (2019). Controla tu riesgo: *Frecuencia cardíaca*. Retrieved from: <https://fundaciondelcorazon.com/images/stories/file/controla-tu-riesgo-frecuencia-cardiaca.pdf>
- Thaler, D. (2015). *Architectural Considerations in Smart Object Networking*. Retrieved from: <https://www.ietf.org/rfc/rfc7452.txt>
- Universia. (2020). *Los lenguajes de programación mas usados en la actualidad*. Retrieved from: <https://noticias.universia.com.ar/consejos-profesionales/noticia/2016/02/22/1136443/conoce-cuales-lenguajes-programacion-populares.html>
- Vocore2. (2019). *Vocore2*. Retrieved from <https://vocore.io/v2.html>

Fine motor skills stimulation in children: a proposal based on stuffed robots and rules-based reasoning

Luis Serpa-Andrade^{1,2}, Sandro González-González¹, Angel Pérez-Muñoz¹,
Gabriela Vásquez-Álvarez³, Paul Mata-Quevedo⁴, Diana Pérez-Muñoz⁵

**lserpa@ups.edu.ec; sandrogonzalesg@gmail.com; aperez@ups.edu.ec;
gabriela_vazqueza@hotmail.com; jpmataq@ucacue.edu.ec; dperez@iess.gob.ec**

¹ GI-IATa, Universidad Politécnica Salesiana, UNESCO Chair on Support Technologies for Educational Inclusion, 010107, Cuenca, Ecuador.

² AtlantTIC Research Center for Information and Communication Technologies, Department of Telematics Engineering, University of Vigo, 36310 Vigo, Spain.

³ Fundacion CIMA, 010102, Cuenca, Ecuador.

⁴ Universidad Católica de Cuenca, 030102, Azogues, Ecuador.

⁵ Seguro Social Campesino (IESS-SSC), 120105, Babahoyo, Ecuador.

Pages: 250–262

Abstract: This article shows an alternative therapy proposal implemented in a stuffed teddy as a support tool for therapists in fine motor stimulation with the purpose of innovating in traditional therapies, knowing that the use of technology is attractive and fun for children when they interact with a tool as if it were a toy, this tool is created with the intention of motivating children to strengthen and stimulate the muscles necessary for proper development in their school activities.

Keywords: stuffed robot; stimulation; fine motor; children; support.

1. Introduction

Fine motor, defined as the “capacity of using the hand and fingers precisely according to the requirements of the activity. It also refers to the ability to manipulate objects” (Serrano, 2018).

The stimulation of fine motor in kindergarten children refers to excite or ignite the muscles that intervene on the development of the motor activities, fine movements that demand accuracy. (Cabrera, 2019). For this, it is important that educational centers for children have ideal environments to benefit the psychomotor development with strategies of playful activities and also have tools to boost the therapeutic processes of stimulation of the fine motor.

It is important to highlight the importance of psychomotor stimulation through playful activities; these kinds of activities and toys are the main mean of learning for children. This has been considered as the most serious activity during childhood because it is a natural way of experimenting and learning helping the child's development in different aspects.

(Coriat, 2017), states that the operation of the hand is produced in a succession of important signs of progress where many functions are integrated and plenty of achievements are acquired which, exercising, enrich each other and are the basis for the acquisition of new abilities like drawing, using scissors, copying geometric shapes and letters, buttoning clothes, making objects using clay, among other manual activities.

In this area, (Bermudez, 2015) mentions in his research project that in Ecuador, similarly to other countries in Latin America, people have focused on prioritizing the motor development of children from their early age. This, since from 17.741 educators that were evaluated, 39% of them prioritize the development of the pincer grasp, so it is essential to develop their fine motor from their early ages due to the purpose of fostering the skills regarding hands and fingers movements for the acquisition of fine movements and better hand-eye coordination, which can be developed just with the practice of multiple techniques.

With the technological evolution that is lived day by day which allows creating tools to provide support in multiple areas, in this study we present a technological tool to support fine motor stimulation therapies in children since it is evident that the use of Technology in therapies has returned favorable results in the development of motor skills in infants, this due to the fact that with the use of electronic materials the child presents interest and curiosity in the foreground, and at the same time that they play and have fun with devices. produces stimulation, making therapies enjoyable and fun for patients. The proposed proposal encompasses an ecosystem of playful and attractive therapeutic intervention through the stuffed robot with its activities and visual or auditory stimuli and complete control, monitoring, and recommendations system that help the therapist.

2. Related work

Several studies state that making an investment in fine motor skills in early childhood is totally convenient since this stage is key to human development and social development, which is why scientific advances are made internationally, remembering that a well-stimulated child, even He who has a disorder will become a useful human being for himself and society. The psychomotor development is based on the therapeutic intervention allowing the stimulation of the educational process, the motor perceptual activities to be stimulated are manual coordination, rhythm, temporal space, laterality; give way to cognitive conditions that prepare for the acquisition of writing and reading (Mateis, D. N., 2019), you can get to obtain a game-based system to cultivate social and kinetic intelligence (Rombot, O. 2017). In this line, intervention systems have been reviewed in which activities are review through information and communication technologies and robotics applied in therapies.

KASPAR, a robot that interacts with children for the intervention, has a multidisciplinary iterative approach of joint creation that contributes to qualitative and significant robot interventions. This study provides a tool to perform the intervention template, which serves to systematically develop and implement new robot interventions and can contribute to increased awareness and the creation and adoption of robot-assisted interventions for children (Huijnen, CA, & others, (2017)).

FONA is a robotic assistant with the idea of increasing attention in educational therapy sessions by intervening with a system of reasoning based on rules that are implemented

from the theory of motor learning, this system contemplates the interaction of language therapists, children and the robot which has a visual auditory and tactile feedback through a friendly interface with the therapist, the child, and the robot (Velásquez-Angamarca, V., 2019).

NAO, a robot that contains two built-in computers monitoring system using a camera, capacitive sensors and the ability to simulate a biped walk through the number of engines incorporated in the robot, this system has been used to implement an occupational therapy assisting children with autism, presenting a picture of imitation of emotions that allows the child to obtain visual feedback of the robot's behavior (Picard, RW (2020)).

A study using a stuffed robot for stimulation is proposed by (Robles-Bykbaev, V., 2019) who presents an educational environment intended to provide a set of tools to contribute to the early stimulation of children whom they attend low- and middle-income schools. His proposal is based on mobile applications and stuffed robots capable of interacting with children to teach various concepts related to early development, both in individual and group intervention sessions. This tool incorporates an expert rule-based reasoning system to better select intervention strategies. In this study we worked with 47 children and a team of experts in the area of early education.

Regarding non-technological or traditionally made tools aimed at improving fine motor skills in children, we have the proposal by (Gandulfo 2011), which presents a therapeutic toy that develops fine motor skills, for children between 1 and 6 years of age, having taking into account the particular needs of patients with autism and their cognitive development in its different stages, it has implemented several games in which various areas of development intervene, the activities of the games are based on transferring a number of balls, by means of tactile mazes, games of screw with nuts with different levels of difficulty, target shooting games with the aim of holing pieces, the objective of this board is to significantly improve the motor skills of children, since the activities require using the movement of the fingers and hands, favoring the manual eye coordination, correct grip, digital caliper, visual discrimination, t odor to frustration, rotation-supination movement, developing recognition of shapes and colors.

3. General architecture of the proposal

Fine motor skills are a fundamental part of learning for children in their early education because it allows them to manage the smallest parts of their body with specific and controlled movements. Education worked fine motor skills with graphomotor techniques through routine and simple exercises, which is why most students do not enjoy using the pincer grasp because they are easily bored of using paper and sheet; then it is intended to change the vision of this important area of learning for children at an early age.

There are different activities to develop fine motor skills that can be used parallelly to graphomotor skills exercises, such as the following:

- Screw and unscrew.
- Manipulate construction toys that require assembly.
- Take off and stick adhesives. Paste small stickers

- Practice raising and lowering zippers, as well as buckling and unbuttoning buttons.
- Knead, make balls with different materials (modeling clay)
- Have toys that can be squeezed or squished at your fingertips.

Therefore, this research project has sought to carry out a methodological strategy through the game and with the use of a toy (robotic teddy), which apart from being an innovative therapy is fun for the child. With this, the kid will be able to perform motor activities that will strengthen the fine motor, especially the pincer grasp which is a fundamental skill that must be well developed in the child in order to have a correct grip of the pencil in order to obtain readable calligraphy. Therefore, the following proposal is presented, see Figure 1, which has three layers being these:

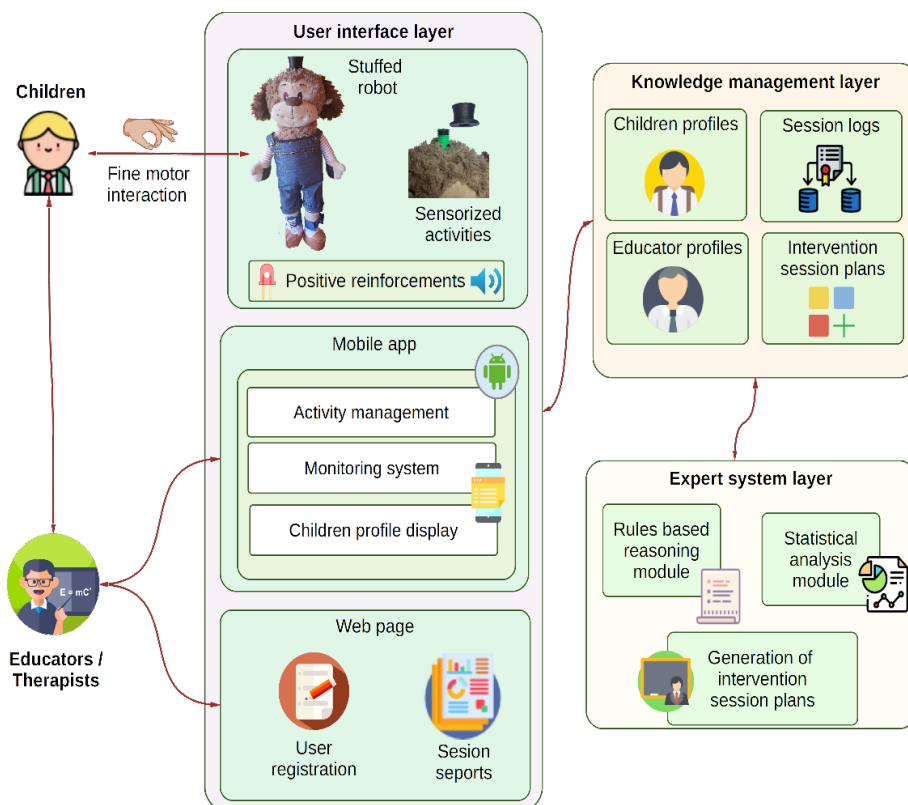


Figure 1 – General architecture of the proposal divided into layers.

3.1. User interface layer

It represents the means of the interaction of the therapist or teacher and the child with the proposal made, in this layer there are three means, Stuffed Robot being the means with which the child interacts, the control application, and the website with which it interacts the therapist or teacher.

3.1.1. Stuffed robot

Emphasizing tasks that are alternative to traditional ones, the construction of an electronic tool implemented in a stuffed robot is proposed arguing that it will support the therapist in its work of fine motor stimulation. This tool will be built so that it can be controlled wirelessly by the therapist using an application installed on a mobile device. For interaction with children, the stuffed robot has an audio system integrated into his head through which requests will be made to the infant. The feedback is obtained by the audio and by a set of lights placed on the face of the teddy. Finally, the toy will have ease of mobility thanks to the power of batteries included inside that, when required, can be recharged using a USB cable.

A total of 5 skills have been proposed, and with the usage of different implements belonging to the teddy bear it will be possible to carry out activities that favor the stimulation and strengthening of motor skills in children. Such activities are carried out by means of:

1. Hat. - In order to stimulate the movements of the hand, dissociation of the wrist and favoring the hand-eye coordination of the infant, a hat is proposed, which will have a design with a thread mechanism with the intention that the child in therapy has to screw to place the hat and unscrew to remove it from the head of the toy.
2. Brooches. - With the intention of stimulating and strengthening the muscles involved in the pincer grasp grip, it is proposed to include in the stuffed animal an activity with brooches placed on the straps of the suit, which will have to be unbuttoned and fastened according to the requirement.
3. Zipper.- In order for the child to improve the grip using his index finger and thumb, in addition to favoring directionality, it is proposed to include in the teddy bear's suit a zipper, which children will have to open and close to complete this activity.

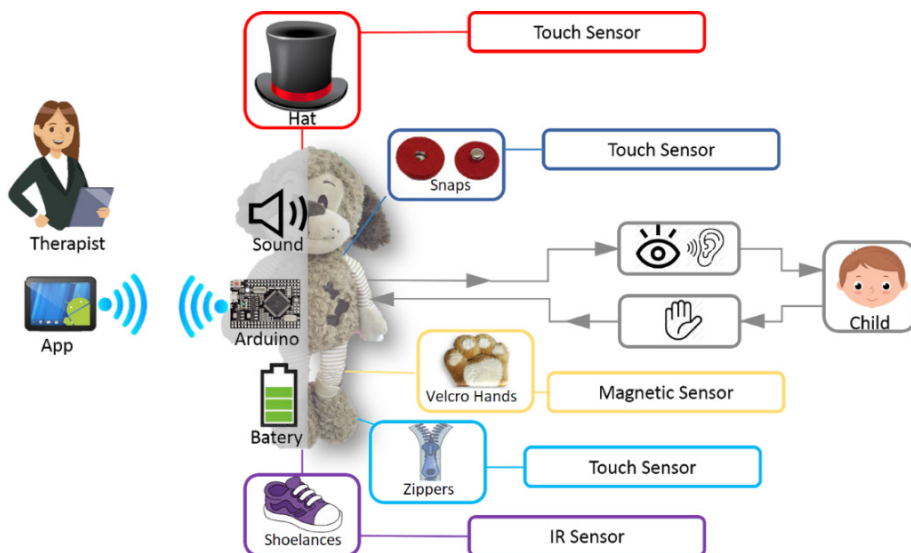


Figure 2 – Interaction of robotic plush components.

4. Hands. - In order for the child to have strength and precision when joining and separating the hands of the stuffed animal, this activity is raised.
5. Shoe. - With the intention of promoting hand-eye coordination, it is proposed to build shoes for the stuffed animal, in which the child must insert a lace or pin in each of the eyelets to complete the activity.

Each of these activities will be measured in time from the time the child starts until the activity ends, and this will be recorded so that the therapist can analyze the generated information.

The system from the point of view of interaction among the therapist, child, and the teddy bear can be appreciated in figure 2.

3.1.2. Mobile application

The developed mobile application is used to control robotic stuffed animals and has the following functions.

- Session management: This function manages the therapy sessions carried out.
- Activity management: This function allows you to select the activity to be performed by the child, sends a start signal via Bluetooth to the robotic stuffed animal.
- Profile display of registered students: With this function you can view the child's registered information.
- Activity monitoring: This function manages the data obtained when conducting the therapeutic sessions.

The interface of the mobile application and the distribution of each function can be seen in figure number 3.



Figure 3 – Interfaces of mobile application functions.

3.1.3. Web page

The website has the function of registering the information of the teacher or therapist and the child in turn to be able to visualize the registered information and the information generated in therapy sessions, whose interface can be seen in Figure 4.

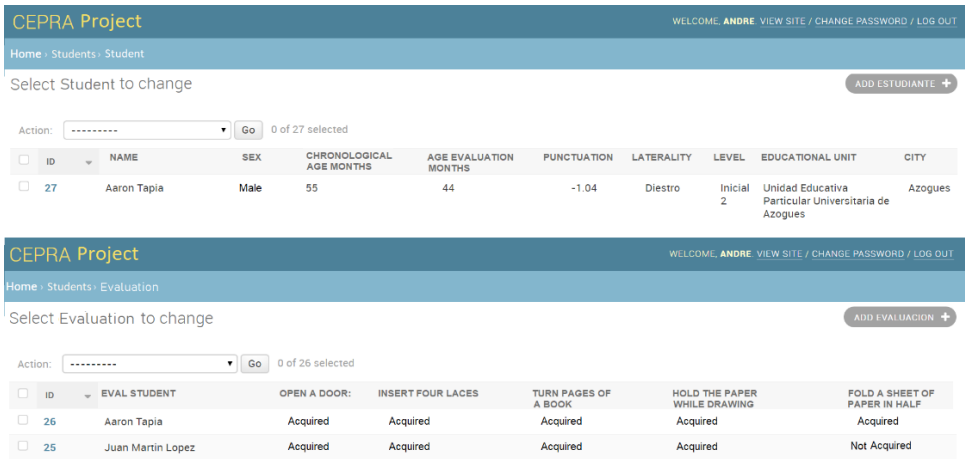


Figure 4 – Web page interfaces for student management and evaluations.

3.2. Knowledge management layer

The administration layer represents all the information entered and generated with the proposal, this being the following:

- Child profile: The basic information of the child is stored, as well as information on the application of a standardized evaluation guide “BATTELLE”.
- Child evaluation: The information entered in the application of the standardized evaluation guide “BATTELLE” is stored. With the items related to fine motor skills.
- Therapist/teacher profile: The professional profile of the therapist/teacher is stored considering their level of expertise in the area and the students with whom they work.
- Session log: When carrying out an activity with the proposed tool, intervention sessions are automatically generated in which the activities carried out, times carried out in each activity and total repetitions are stored.

3.3. Expert system layer

In the expert system layer, a rule-based reasoning module is proposed, which was developed with the CLIPS tool and generated twenty-seven initial rules consistent with the profiles of the children used for the tests. These rules were drawn from the knowledge and experience of a group of experts in the area. Being the objective of the expert system to generate therapeutic intervention session plans depending on the specific profile that a child has, thus being able to have a totally personalized intervention, obtaining better results.

The expert system will use the child's profile as input using the data from:

Student file			
Name			
Chronological age in months		Age evaluation	
BATTELLE evaluation score		Laterality	
BATTELLE evaluation items			
Item	Score	Item	Score
M52		M67	
M53		M68	
M54		M69	
M56		M70	
M57		M71	
M58		M72	
M59		M73	
M60		M74	
M61		M75	
M62		M76	
M66		M77	

Table 1 – Child profile data used for the expert system.

Having as an exit from the expert system an intervention plan that includes the activities to be carried out, repetitions of each activity, and the period of work that must be completed, in addition to including a complementary activity recommended from the experience of experts in the area.

Intervention Session Plan	
<i>Name</i>	
<i>Intervention frequency</i>	
<i>Complementary activity</i>	
Activity to do	
Activity	Repetition
<i>Hat</i>	
<i>Snaps</i>	
<i>Zippers</i>	
<i>Velcro Hands</i>	
<i>Shoelaces</i>	

Table 2 – Intervention session plan generated by the expert system.

These child-specific intervention session plans are stored in the database and can be reviewed by the therapist or teacher from the web application or the mobile application.

4. Intervention methodology

This section refers to the intervention methodology, with the aim of improving fine motor skills in children from 4 to 5 years old, through the stuffed robot, which serves the individual needs of each child and serves as a tool to therapists or teachers in the detection and intervention of children with fine motor difficulties. The following table shows the skills that will be stimulated through the activities presented by the stuffed robot.

Skills	Activity
• Dissociate the wrist joint • Eye-manual coordination • Precision	Screw hat: Screw and unscrew
• Strengthen the digital muscles involved in the clamp • Promote coordination, precision, and digital strength • Promote coordination, precision, and digital strength	Snap: Open and close the snaps
• Strengthen the digital muscles involved in the clamp. • Dissociate the elbow joint.	Zippers: Open and close the Zippers
• Coordination, digital strength, and dissociation of the wrist joint.	Velcro hands: Paste and take off hands
• Eye-manual coordination and precision	Shoelaces: String laces

Table 3 – Skills and activities present in the stuffed robot.

Session Planning 1	
Child data:	XX
Chronological age:	46 months
Evaluation Age:	37 months
Activity	Description
Screw hat	Screw and unscrew the hat Repeats: Three times
Snap	Open and close the brooch on both sides of the stuffed animal costume Repeats: Two times
Zippers:	Open and close the zipper Repeats: Four times Remark: Use the digital clamp on each repetition
Velcro hands	Join and separate hands Repeat: Three times
Shoelaces	String the laces in each shoe hole Repeats: Four times

Table 4 – Generic student intervention plan.

As a first instance, it is important to evaluate the fine motor skills in each of the children through standardized tests, to know their development and needs. Subsequently, an intervention plan is used that fits the child's profile following the evaluation result. This plan is represented in the following table, which refers to the generic profile of a student with fine motor difficulties.

Considering that each child has different needs, the intervention plan will not be the same from one child to another, for this the use of the expert system proposed is fundamental, which has the modeling of the knowledge of the experts in the area and will be layered of putting together the specific intervention plan to the child's profile.

5. Experimentation and preliminary results

For the validity of the proposed tool and to know the perception that children have about it, intervention sessions were conducted with twenty-six children from the ages of 4 to 5. After the work session of each child, a survey was applied. This survey was structured and validated by a group of experts in the area of pedagogy, psychology, and therapy. Being verified by the Crombach Alpha test with which a value of 0.9 was obtained.

As we can see in figure 5, 21 children representing 81% liked the stuffed robot very much, 4 children representing 15% only liked it and only one child responded that he did not care.

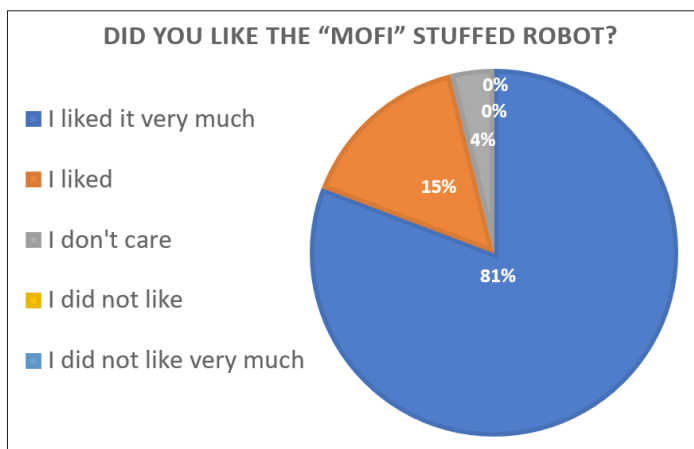


Figure 5 – Question result: Did you like the Stuffed robot?

The activity that children liked the most is the hat as we can see in figure 6 that has 50%, followed by the closures that have 19%, and the one they liked least is the shoelaces No child indicated they liked the activity.

The final question that the children were asked is that if they would play with the stuffed robot again, as shown in figure 7, 58% of the children answered that they would like it very much.

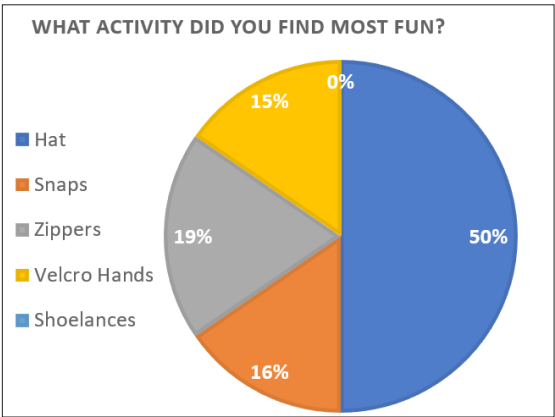


Figure 6 – Question result: What activity did you find most fun?

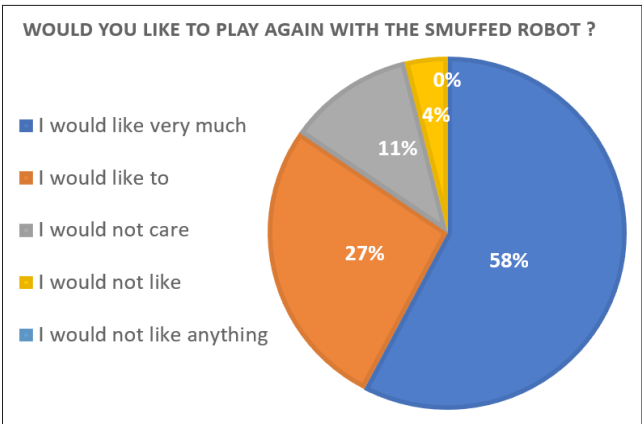


Figure 7 – Question result: Would you like to play again with the stuffed robot?

In the same way, a survey was carried out of expert professionals in the area of education and therapy, who likewise showed great interest in the proposal, arguing that it would help to keep children attracted and to focus longer on sessions. However, they also state that the number of activities is limited with respect to those that they require and are applied in therapy sessions.

6. Conclusions

Children show happiness by doing activities with the stuffed robot, they get excited when they hear the stuffed animal talk and watch the lights on their faces and also receive motivational feedback every time they correctly perform the activities required by the tool.

Each skill was designed in a way that is pleasant for the interaction with the child, and this is reflected in the ease with which they perform the activities, being easy as in the case of the hat, closure, and hands because they are activities that require the three-digit grip and clamp, this because most children in this age already use these things occasionally in their lives and other activities that are a bit difficult for them such as the shoe and the brooches because they require more precision and coordination.

When performing the activities for the first time, each infant has slow performance, but while they use this activity more they show more confidence and speed when completing the tasks and are motivated to try to improve each time in their previous time.

With regard to the results obtained in the surveys, it is possible to observe the great acceptance on the part of the children when carrying out activities with the stuffed robot, and it is verified that the proposed tool is really effective and usable by therapists or teachers in sessions that require stimulating the fine motor skills of children.

The expert system has proven to be a reliable tool when generating therapy session plans since you can have a completely personalized session towards the condition the child is in. However, this tool does not replace the therapist or teacher in charge of developing the fine motor skills of the child since there is no feedback to the expert system from the information taken from the sessions that are carried out.

Therapists in charge of the development of children have confirmed that in the therapy sessions carried out with the children, they showed a greater interest in carrying out the therapeutic activities with the proposed tool compared to traditional therapy, in some of the cases it is frustrating for the children. children who were not motivated to carry out the activities. The proposal has shown how it was observed in the surveys the great acceptance by children when carrying out activities with the stuffed robot, and it is widely justified that the proposed tool is really effective and usable by therapists or teachers in sessions that require stimulating children's fine motor skills.

7. Acknowledgment

To the Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia, CEDIA, for the funding provided to research, development and innovation, through CEPRA projects, especially the CEPRA - XIII - 2019 project; "IA Transtornos Motores (Entorno inteligente interactivo baso en aprendizaje de máquina y sistemas embebidos para el soporte en los procesos de seguimiento y aprendizaje de niños con trastornos motores)".

References

- Coriat, L. f. (2017). Maduración psicomotriz en el primer año del niño. Hospital de Niños de Buenos Aires. Recuperado de <http://www.lydiacoriat.com.ar/libro/download/lydia-coriat-libro.pdf>
- Serrano, P. Luque, C. (2018). Motricidad fina en los niños y niñas. Desarrollo, problemas estrategias de mejora y evaluación. Madrid: Narcea S. A. EDICIONES.

- Bermúdez Bermúdez, P. A. (2016). El desarrollo motriz y su influencia en la pinza digital, en los estudiantes del primer año de educación básica de la Unidad Educativa “Teniente Hugo Ortiz” de la parroquia Bombolí, cantón santo domingo, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas (Bachelor’s thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación. Carrera de Parvularia).
- Cabrera Valdés, B. D. L. C., & Dupeyrón García, M. D. L. N. (2019). El desarrollo de la motricidad fina en los niños y niñas del grado preescolar. Mendive. Revista de Educación, 17(2), 222-239.
- Mateus, D. N., Adam, M. E. A., & Soto, E. G. R. (2019). Desarrollo Motor y su Influencia en el Proceso Lectoescritor en Estudiantes de 6 años. Calidad de Vida y Salud, 12(1).
- Huijnen, C. A., Lexis, M. A., Jansens, R., & de Witte, L. P. (2017). How to implement robots in interventions for children with autism? A co-creation study involving people with autism, parents, and professionals. Journal of autism and developmental disorders, 47(10), 3079-3096.
- Velásquez-Angamarca, V., Mosquera-Cordero, K., Robles-Bykbaev, V., León-Pesántez, A., Krupke, D., Knox, J., ... & Chicaiza-Juela, P. (2019, October). An Educational Robotic Assistant for Supporting Therapy Sessions of Children with Communication Disorders. In 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC) (pp. 586-591). IEEE.
- Robles-Bykbaev, V., Contreras-Alvarado, C., Matute-Sánchez, L., Lema-Condo, E., Robles-Bykbaev, Y., & Suquilanda-Cuesta, P. (2019, June). An educational environment based on stuffed toy robots, mobile apps, and expert systems to provide support in the early development of children. In 2019 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM) (pp. 1-6). IEEE.
- Gandulfo, M., & Young, S. (2011). Juguete Terapéutico para desarrollar la Motricidad Fina en niños con TEA (Trastorno del Espectro Autista) de 1 a 6 años (Doctoral dissertation, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo-Universidad de Buenos Aires).
- Picard, R. W. (2020). Measuring engagement in robot-assisted autism Therapy: a cross-cultural study. Affective and Social Signals for HRI.
- Rombot, O. (2017, June). The Application of Traditional Games to Develop Social and Gross Motor Skills in 6-7 Year-old Children. In 2017 International Symposium on Educational Technology (ISET) (pp. 116-120). IEEE.

Diseño, construcción e implementación de una herramienta para el soporte para ejercicios de grafo-motricidad en niños de cuatro a seis años

Isaac Ojeda-Zamalloa¹, Luis Serpa-Andrade^{1,2}, Roberto Garcia¹, Diego Quisi-Peralta¹, Gabriela Vásquez-Álvarez³, Sebastián Quevedo-Sacoto⁴

isaacoz@hotmail.com; lserpa@ups.edu.ec; rgarciav@ups.edu.ec; dquisi@ups.edu.ec;
gabriela_vazqueza@hotmail.com; asquevedos@ucacue.edu.ec

¹ GI-IATa, Universidad Politécnica Salesiana, UNESCO Chair on Support Technologies for Educational Inclusion, 010107, Cuenca, Ecuador.

² AtlantTIC Research Center for Information and Communication Technologies, Department of Telematics Engineering, University of Vigo, 36310 Vigo, Spain.

³ Fundacion CIMA, 010102, Cuenca, Ecuador.

⁴ Universidad Católica de Cuenca, 030102, Azogues, Ecuador.

Pages: 263–274

Resumen: La grafo-motricidad es una de las actividades más importantes por las que tiene que pasar un niño previo la escritura. Se plantea una herramienta para el soporte en la realización de ejercicios grafo-motrices. La herramienta pretende cumplir con los requerimientos dados por los expertos tanto en diseño como en características de comunicación y toma de datos. En una intervención, se plantean tres niveles de dificultad; un nivel básico donde el niño realiza la actividad con su dedo, una herramienta tridigital donde el niño haciendo pinza con sus dedos al sujetar la misma y terminando un nivel avanzado con la herramienta propuesta (varita). Los participantes se familiarizan con la herramienta permitiendo recabar información acerca de la percepción que tienen los participantes por el diseño y uso de la misma. La herramienta es de interés de niños y de docentes, ya que ayuda al desarrollo de la grafo-motricidad. Permite a plantearse a futuro un sistema experto capaz de tomar datos de las actividades realizadas con la herramienta.

Palabras-clave: grafo-motricidad; intervención; varita; percepción.

Design, construction and implementation of a tool for support for grapho-motor exercises in children from four to six years

Abstract: Grapho-motor skills is one of the most important activities a child has to go through before writing. A tool for support in carrying out grapho-motor exercises is proposed. The tool aims to meet the requirements given by experts in both design and communication features and data collection. In an intervention, three levels of difficulty are proposed; a basic level where the child performs the activity with his

finger, a tridigital tool where the child clamps with his fingers while holding it and finishing an advanced level with the proposed tool (wand). Participants become familiar with the tool, allowing information to be gathered about the participants' perception of its design and use. The tool is of interest to children and teachers, since it helps the development of grapho-motor skills. It allows to consider in the future an expert system capable of taking data from the activities carried out with the tool.

Keywords: graph-motor skills; intervention; wand; perception.

1. Introducción

En (McDonough & De Vleeschauwer, 2019), se expresa que la preescritura en niños se considera un ejercicio bastante complejo ya que de esto depende el desarrollo de destrezas previas a la escritura, la organización de palabras y la formación de párrafos. Centrados en el estudio de la planificación de escribir en (Aydın, 2019), se menciona que la persona con altos niveles de autosuficiencia tiene rendimiento más alto en la escritura.

Entre otros conceptos la preescritura se la contempla como el ejercicio previo a generar y organizar ideas antes de escribir un texto, lo que será importante al momento de mejorar la calidad de un documento, para ello en (Lu et al., 2019), se diseña una herramienta de visualización acompañada de un lápiz que permite a los escritores el uso de diagramas visuales para la redacción que junto a un widget permite realizar ejercicios de escritura para que estos sean coherentes, semánticos y estructurales.

En el trabajo realizado (Vieira, Quercia, Bonnetblanc, & Michel, 2013), muestra que entre las tareas de la preescritura están la bisección de líneas y las tareas centradas en el círculo las cuales se pueden utilizar para investigar la representación espacial en niños con dislexia y sin dislexia. En la primera tarea (bisección de líneas), los niños con dislexia muestran un sesgo significativo hacia la derecha para las ubicaciones centrales y del lado derecho un sesgo a la izquierda. Para la ubicación a la izquierda, en los niños sin dislexia no se observa este sesgo significativo, mientras que en la línea central el procesamiento del contexto espacial es simétrico en ambos espacios llegando a la conclusión que es necesario el trabajo con un seudónimo espacial en la dislexia. Por lo tanto, se plantea el estudio de la bisección de líneas con diferentes ubicaciones como un procedimiento experimental del sesgo de representación lateral de la dislexia contribuyendo a la comprensión de la representación espacial en aquellos niños.

En el artículo (Podobnik, 2017), se manifiesta que en la escuela los niños adquieren habilidades básicas de lectura y escritura, que son proporcionadas por sus padres o maestros de preescolar. Se asume incluso que enseñar a leer y escribir a niños que pasan por esta edad tiene que ser un hecho cuya responsabilidad recae directamente sobre los padres. En esta realidad se plantean habilidades de preescritura y entre ellas se tienen actividades de arte visual como uno de los medios principales que cada niño usa espontáneamente en años de preescolar.

Mediante un estudio cualitativo en (Williams & Beam, 2019), se investiga el uso de la tecnología dentro del proceso y programas de escritura de los niños. La enseñanza es mediada por la tecnología en las habilidades de escritura de los estudiantes. El problema

ocurre al momento que los profesores intentan integrar la tecnología al currículo de escritura, para ello se plantean aplicaciones y entornos de aprendizaje basados en web con el uso de entornos educativos K-12, donde los estudiantes diseñan y producen una serie de textos multimodales y digitales donde representan su conocimiento del material literario.

2. Trabajo relacionado

Los autores (Rodríguez, Díaz y Quinteros (2011)), realizaron un estudio sobre una herramienta tecnológica para el tratamiento de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños y niñas con dislexia. Con el uso de la tecnología mediante software libre y bajo la metodología extreme programming se tratan las dificultades de aprendizaje de los niños, este software funcionará en una pantalla táctil (tablet) para facilitar la interacción. Además, se desarrolla la coordinación viso-manual, con la ayuda del dedo o un lápiz electromagnético para el manejo de la aplicación. Los autores señalan que la técnica que se utilice para la educación de los niños con dificultades en su aprendizaje debe ser motivadora, que retroalimente el aprendizaje, cautivadora y especializada, ya que los niños deben recibir atención personalizada. La evaluación de su rendimiento debe de ser en comparación con sí mismos y no con los demás, de igual manera la información nueva para que se genere un aprendizaje debe ser repetida varias veces.

Por otro lado, en (Rodríguez, Díaz y Quinteros (2011)), se proponen el desarrollo de un software educativo para la reducción de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños y niñas con dislexia. Esta herramienta cuenta con una computadora portátil, con menos peso y su pantalla es sensible al dedo o a un lápiz magnético, el lápiz realiza la función del ratón ya que permite dibujar, escribir, arrastrar, entre otras ofreciendo la ventaja de desarrollar la coordinación viso-motora (una de las dificultades que presenta la dislexia). Su resultado fue que este dispositivo es una gran herramienta para los niños pues resulta motivadora y de gran utilidad, su pequeño tamaño puede colocarse en la situación más cómoda para las características y tipo de visión del niño, evitando así brillos, reflejos y niveles bajos de luminosidad.

3. Varita mágica: propuesta y descripción

Se parte de los requerimientos solicitados por los expertos, quienes solicitan que la herramienta de preescritura permita el desarrollo de destrezas motrices en los niños de 4 a 5 años. Mediante el desarrollo de diferentes actividades como el seguir líneas rectas, líneas horizontales, líneas verticales, líneas oblicuas, seguir bucles y líneas en zigzag se desea cumplir los objetivos de lograr en los niños una coordinación óculo manual y controlar el trazo, disuasión de articulaciones, precisión, fuerza, pinza digital y direccionalidad de movimiento.

En este apartado se desarrolla y explica cómo tres disciplinas intervienen en el proceso de la preescritura planteado en el presente trabajo. La disciplina de la electrónica y el diseño físico, abordan temas de construcción y características electrónicas aplicadas como también el diseño e impresión de sólidos en 3D. El manejo y el empleo de la herramienta en la denominada intervención plantea tres niveles solicitados por el

experto a los niños, esta disciplina final es de vital importancia ya que los resultados obtenidos y la retroalimentación permitirán realizar los ajustes respectivos tanto en la parte electrónica, de diseño y de software.

3.1. Etapa de diseño electrónico y construcción

Tomando en cuenta que los datos a obtener con la herramienta son la precisión y direccionalidad de los niños en las tareas de preescritura, se propone construir una herramienta con las siguientes características:

- Capaz de interactuar con los niños quienes realizarán los ejercicios de destrezas motrices y de preescritura.
- Ser una herramienta inalámbrica.
- Apta para que funcione en cualquier ordenador.
- Liviana.
- Señalización luminosa de funcionamiento.
- Forma de agarre tridigital.
- Precisa.

En la figura 1, se muestran dos etapas necesarias para el diseño y construcción de la varita. En la etapa de construcción se parte del diseño en 3D de la herramienta conservando medidas adecuadas a la mano de los niños, el diseño de los detalles es personalizado y con ciertas recomendaciones dadas por el experto. Una vez finalizado el diseño se realizan las exportaciones de los archivos y se procede a la impresión de la herramienta en una impresora 3D con una duración aproximada de unas 2 horas. Luego de esta fase viene el ensamblaje ya que se partió de dos partes que conforman la herramienta. Dando cumplimiento al requisito físico de construcción se tiene la forma triangular, cómoda para adaptarse a la mano del infante y liviana.

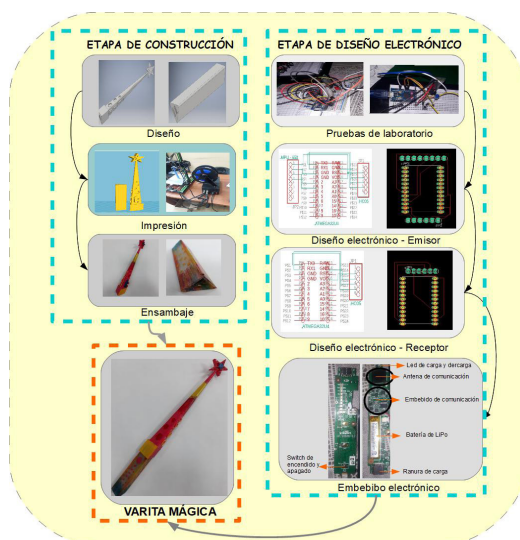


Figura 1 – Etapas construcción y diseño electrónico de la varita mágica.

Dentro de esta misma figura 1, se tiene la etapa de diseño electrónico que parte de una fase de pruebas de laboratorio con la ayuda de placas de prueba se realizan la comunicación y las respectivas pruebas entre las dos partes de la herramienta denominadas emisor y receptor, cada una de ellas con su respectiva programación hecha en lenguaje JAVA. Finalmente se realiza el embebido electrónico de las dos fases y la placa electrónica es insertada precisamente en la parte inferior de la varita mágica. La herramienta presentada está conformada por un microcontrolador (MCU) capaz de realizar la recepción y el envío de los datos, el acelerómetro permite que la herramienta sea precisa al momento de ser usada. La comunicación varita (emisor y receptor) con el ordenador se realiza mediante bluetooth con la ayuda del receptor conectado al computador.

A partir de los requerimientos se plantea realizar tres niveles de intervención: el primer nivel se basa en la realización de ejercicios de preescritura con la mano, específicamente con el dedo, donde el niño realiza las actividades propuestas por la terapeuta de una manera más relajada y cómoda. Con la ayuda de la herramienta tridigital construida en (González-Delgado et al., 2018; Rodas-Tobar, Robles-Bykbaev, Ojeda-Zamalloa, Robles-Bykbaev, & Pesantez-Aviles, 2018; Tapia-jaya & Ojeda-zamalloa, 2019), se ejecuta el nivel medio donde el niño realiza las actividades de preescritura con la misma, se considera como nivel medio ya que al participante se le incluye un dispositivo en su mano que le obliga al agarre en pinza y a la vez por su forma intenta corregir la postura de los dedos. Finalmente, y en el tercer nivel se propone la herramienta (varita) capaz de satisfacer los requerimientos iniciales dados por la terapeuta.

En el diagrama de bloques mostrado en la figura 2, se presenta los tres niveles planteados para el desarrollo de la preescritura mismos que ayudan a fortalecer las destrezas motrices.

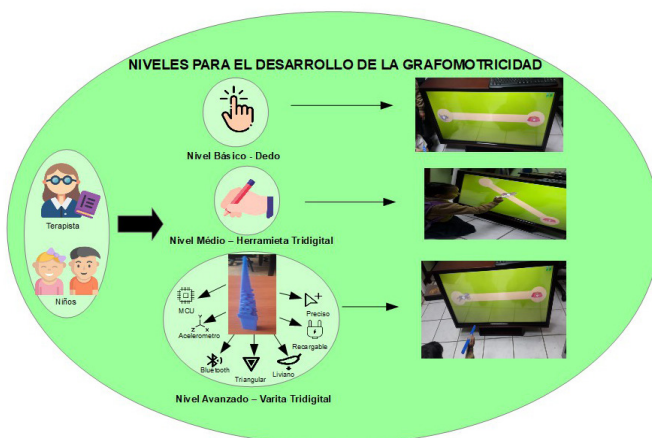


Figura 2 – Niveles y actividades para el desarrollo de la grafomotricidad.

En el ordenador se encuentran los ejercicios de motricidad planteados por el experto, mismas que son el complemento de la herramienta en los ejercicios a realizar.

3.2. Ejercicios de motricidad basados en juegos serios

Las actividades a realizar en pantalla por el niño hacen referencia a un juego serio desarrollado por expertos en educación, terapia ocupacional y computación. El juego fue realizado en el motor de desarrollo de videojuegos Unity y cuenta con todas las especificaciones de ejercicios en cuanto a grafomotricidad, posee tres niveles de dificultad progresiva y el objetivo del juego es llevar al personaje en pantalla desde el inicio al fin del camino. A su vez el juego cuenta con una serie de refuerzos positivos que van desde estímulos auditivos a visuales, los cuales aumentan considerablemente la concentración y el interés de los niños lo que mejora el rendimiento de una sesión de terapia y se obtiene mejores resultados en comparación a una sesión tradicional en la que se usa un pizarrón y marcador.

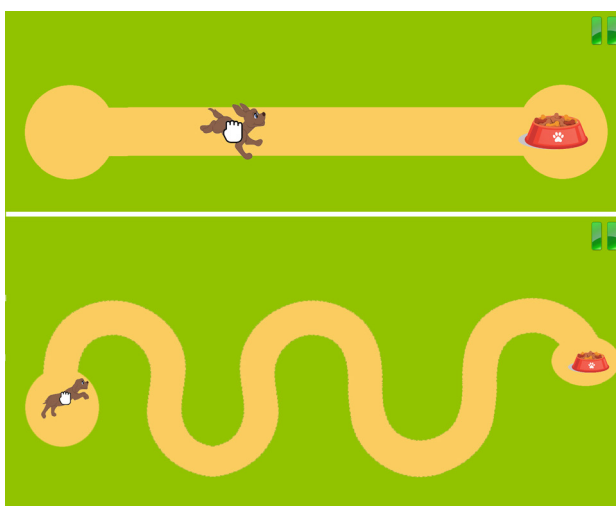


Figura 3 – Niveles de juego serio.



Figura 4 – Refuerzo positivo visual al terminal el nivel.

El juego se proyecta en una pantalla táctil igual o superior a las treinta y dos pulgadas con el objetivo de que se emplee un mayor rango en los movimientos de los niños y

facilitar su interacción con el juego. En la figura 3 se pueden apreciar dos de los niveles del juego serio. Teniendo como nivel inicial un camino en línea recta y finalizando con un camino con varias curvas que obliga al niño a realizar trazos con mayor precisión interviniendo mucho la motricidad fina y la coordinación óculo-manual.

En figura 4 se muestra uno de los varios estímulos presentados por el juego serio, en este caso se muestra confeti como refuerzo positivo al llegar a la meta y es acompañado de estímulos auditivos.

3.3. Plan de intervención

Al momento de utilizar la herramienta se plantea trabajar destrezas que favorecen a la pre escritura. Destrezas como la coordinación óculo-manual, orientación espacial, contorno de letras, entre otras las actividades. Las líneas rectas líneas, horizontales y líneas en zigzag son actividades que se plantean para lograr el fin deseado. Los recursos usados son considerados como niveles, mismos que se los detalla a continuación en la tabla 1.

Destreza	Actividades	Recursos
Coordinación óculo manual.	Seguir líneas rectas Seguir líneas horizontales Seguir líneas zig-zag	NIVEL BÁSICO Dedo NIVEL MEDIO Herramienta tridigital NIVEL AVANZADO Varita
Orientación espacial		
Control del trazo.		
Disociación de articulaciones.		
Precisión y prehensión		
Pinza digital.		
Direccionalidad de movimiento		
Dominio de la mano		

Tabla 1 – Plan de intervención para el desarrollo de destrezas.

3.4. Análisis de resultados de las actividades de intervención

Resultados de las actividades de intervención realizadas con la herramienta:

Nivel de dificultad	Actividades	Descripción de las pruebas piloto	Análisis
UTILIZAR EL DEDO ÍNDICE PARA REALIZAR EL TRAZO	ACTIVIDAD 1 Seguir líneas rectas	El usuario, al realizar el trazo usa el dedo índice, comienza su primer acercamiento a la pantalla, por lo tanto, tiene más precisión y control para seguir la dirección de las actividades en cada nivel.	No existen dificultades en la actividad 1 y 2, el usuario lo realiza en un buen tiempo y sin errores, sigue la dirección, fijándose en las claves visuales de la pantalla, además existe una retroalimentación positiva que motiva al usuario.
	ACTIVIDAD 2 Seguir líneas horizontales		Sin embargo, en la actividad 3 requiere más tiempo y precisión para culminar la actividad.
	ACTIVIDAD 3 Seguir líneas zig-zag		

UTILIZAR LÁPIZ ÓPTICO PARA REALIZAR EL TRAZO	ACTIVIDAD 1 Seguir líneas rectas	Al utilizar un lápiz óptico el usuario tiende a mejorar el agarre del lápiz, adopta mejor posición en sus dedos, sigue la dirección del trazo cada vez con mayor precisión, al inicio, durante y final de la actividad.	No existen dificultades el usuario sigue correctamente los trazos, sigue la dirección y culmina con éxito, requiere más tiempo y control del movimiento para realizar cada trazo, empleando el lápiz.
	ACTIVIDAD 2 Seguir líneas horizontales		
	ACTIVIDAD 3 Seguir líneas zig-zag		
UTILIZAR LA VARITA MÁGICA PARA REALIZAR EL TRAZO	ACTIVIDAD 1 Seguir líneas rectas	Al momento de empear la varita mágica, el usuario debe controlar el movimiento, velocidad de arrastre, mantener un solo ritmo con precisión, para poder culminar el trazo, de igual forma tener atención visual y uso de la direccionalidad espacial.	En la actividad 1 y 2, el usuario no tuvo dificultad, logro seguir el trazo. En la actividad 3, existió dificultad y varios errores pues no se completó la actividad hasta el final. El grado de velocidad es muy elevado para controlarlo, lo cual dificultaba seguir el trazo. Es importante que la varita cuente con una retroalimentación visual y auditiva al colocar correctamente el agarre.
	ACTIVIDAD 2 Seguir líneas horizontales		
	ACTIVIDAD 3 Seguir líneas zig-zag		

Tabla 2 – Análisis y resultados de las actividades de intervención.

Al plantear estas actividades con diferentes niveles de dificultad, según Serrano y Luque (2011) el desarrollo de la motricidad fina sigue una secuencia evolutiva a medida que el niño crece, pues empieza moviendo los brazos y manos para tocar los objetos, en esta fase inicial el niño explora a través de sus manos y dedos tocando, mientras que en una segunda fase el niño es capaz de agarrar los objetos pues tiene mayor control y empieza utilizando el dedo índice y pulgar, sin embargo con el paso el tiempo el niño sigue desarrollándose, y ya es capaz de tener precisión, mayor seguimiento visual, coordinación óculo manual.

Es por eso que se ha diseñado tres niveles, en donde se empieza utilizando el dedo para realizar un trazo, posterior a ello el lápiz óptico y para finalizar, el dispositivo de la varita mágica, haciendo referencia al desarrollo evolutivo del niño.

3.5. Análisis de resultados de percepción de la herramienta

De una muestra de 15 docentes a quienes se les aplicó una encuesta de percepción de la herramienta, se obtienen resultados interesantes, el 80% de participantes manifiesta que la varita llama su atención y que el diseño de la misma es el adecuado. El 100% de docentes encuestados manifiesta que la varita ayudaría al desarrollo de la motricidad de los niños de 4 a 6 años y que realizar ejercicios grafo-motores con la herramienta despertaría el interés por realizar este tipo de ejercicios. Las respuestas de las personas encuestadas están parcialmente fraccionadas al momento de hablar de la comodidad, ya que se tiene un 40% de personas que les parece bastante cómoda la herramienta, otro 40% les parece suficientemente cómoda, un 7% les parece medianamente cómoda y finalmente un 13% poco cómoda la herramienta. Al sujetar a herramienta y realizar las

actividades propuestas, tanto las observaciones de la tabla 1 y las encuestas muestran que el 73% de encuestados consideran que la varita cumple con las actividades planteadas.

Con una población de 13 niños, entre ellos seis niñas y 7 niños con edades entre cuatro a 6 años se obtienen resultados interesantes, donde a 11 de ellos llama su atención la herramienta lo que corresponde al 84%, mientras que el restante llama suficientemente su atención, como se puede apreciar en la figura 5. El 61,5% de los niños encuestados que corresponde a cuatro de ellos consideran que la varita les parece cómoda al momento de sujetarla y 8 de ellos consideran que es bastante cómoda. En la figura 6, cabe destacar que el diseño de la varita llega a ser muy adecuado para el 84% de niños correspondiente a 11 de ellos. A pesar de la dificultad en manejar la herramienta 11 niños encuestados equivalente al 84%, consideran que la varita cumple con sus actividades planteadas y dos de ellos considera que la varita cumple muy poco sus actividades planteadas. El interés por realizar las actividades o ejercicios con la varita está marcado en un 76,9% de los niños encuestados que corresponde a 10 de ellos, dos de ellos consideran de acuerdo y neutral al momento de realizar sus ejercicios, como se puede observar en la figura 7.

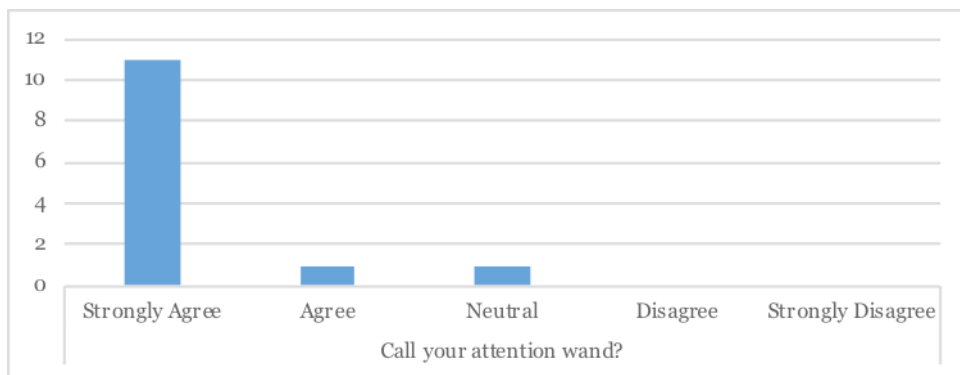


Figura 5 – Estadística del interés por el uso de la herramienta.

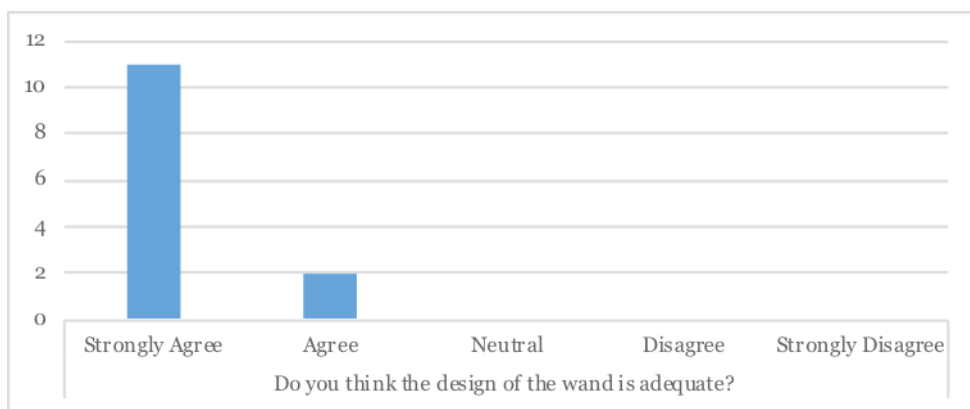


Figura 6 – Estadística de diseño adecuado de la herramienta.

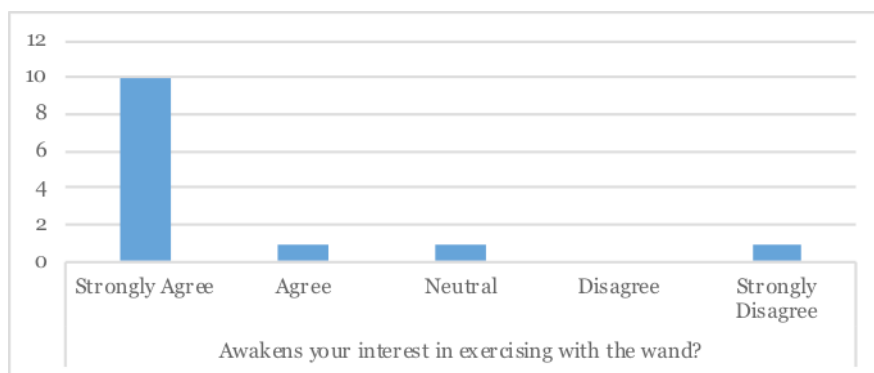


Figura 7 – Estadística del por realizar los ejercicios de grafo-motricidad con la herramienta.

4. Conclusiones

El emplear tecnología en niños tiene numerosas ventajas pues tienen la posibilidad de escribir de forma manual sobre una pantalla táctil. Es ligera, fácil de usar y además se puede instalar el software en cualquier ordenador. Sus funcionalidades son iguales a una computadora portátil con conexión inalámbrica. De este modo, esperamos que se convierta en la herramienta ideal de los especialistas que trabajan con niños con dificultades en el aprendizaje, mejorando la pre escritura y procesos educativos.

La “varita” favorece al niño para que pueda mejorar su prensión, pues el diseño triangular ayuda a que agarre correctamente, mejorando su proceso de pre escritura. El peso y el diseño se adapta a la mano del niño sin dejar de mencionar la motivación que éste tiene al realizar y culminar una actividad mediante un efecto de retroalimentación positiva para el niño.

Dentro del proceso de intervención con este dispositivo se observó su funcionalidad en la ejecución de las actividades por niveles. Los niños desarrollan habilidades de viso percepción y de esa manera mejoran la motricidad fina pues este es un prerrequisito indispensable para el proceso de escritura, por ello es importante identificar tempranamente dificultades relacionadas con esta área y dotar al niño de actividades variadas que permitan su desarrollo. Los usos de las pantallas táctiles en diferentes actividades ayudan al movimiento de los dedos. Al apuntar con el dedo índice o con otra herramienta en este caso “varita mágica” ayudan al uso de la pinza (pulgar/índice), estimulando la coordinación ojo/mano al realizar recorridos para dibujar.

5. Trabajo futuro

La herramienta, ayuda al niño a mejorar su motricidad fina y su proceso de preescritura mediante sesiones de intervención por lo que se plantea que el terapeuta pueda registrar varios datos a través de un sistema experto, entre los datos a tomar están: Posición de los dedos, precisión y control al iniciar, durante y al finalizar el trazo, intentos fallidos por no completar la actividad o realizarla de manera incorrecta, logros, velocidad,

entre otros. Con esos datos el terapeuta podrá identificar las necesidades del niño y podrá atender de una manera individualizada a sus requerimientos, con el objetivo de mejorar en su pre escritura.

6. Agradecimientos

A la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia, CEDIA, por los fondos provistos para investigación, desarrollo e innovación, a través de proyectos CEPRA, especialmente el proyecto CEPRA - XIII - 2019; IA Trastornos Motores (Entorno inteligente interactivo basado en aprendizaje de máquina y sistemas embebidos para el soporte en los procesos de seguimiento y aprendizaje de niños con trastornos motores).

Referencias

- Aprendizaje_que_Presentan_los_Ni%C3%B1os_y_Ni%C3%B1as_con_Dislexia_en_Panam%C3%A1. pdf? sequence = 1&isAllowed = y& fbclid = IwAR1wZiZqoC98JdVzVjr6oAAQg5Q8SORxch2LAIXWgXztX24OfTMCphyv5OQ
- Aydın, İ. S. (2019). Improvement of preservice Turkish teachers' perceived writing self-efficacy beliefs. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 19(1), 78–94. <https://doi.org/10.12738/estp.2019.1.0269>
- González-Delgado, L., Verdugo-Cabrera, J., Serpa-Andrade, L., Ojeda-Zamalloa, I., Robles-Bykbaev, V., Pesántez-Avilés, F., ... González-Delgado, N. (2018). Mathematical modeling and ergonomic study of a pencil through numerical simulation for support of the graphological presumptive diagnosis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 590, 519–528. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60483-1_54
- Lu, Z., Fan, M., Wang, Y., Zhao, J., Annett, M., & Wigdor, D. (2019). InkPlanner: Supporting prewriting via intelligent visual diagramming. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1), 277–287. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864887>
- McDonough, K., & De Vleeschauwer, J. (2019). Comparing the effect of collaborative and individual prewriting on EFL learners' writing development. *Journal of Second Language Writing*, 44(April), 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.jslw.2019.04.003>
- Podobnik, U. (2017). Stimulating Prewriting Skills with the Help of Pictorial Images. *Teaching Artist Journal*, 15(2), 51–63. <https://doi.org/10.1080/15411796.2017.1331696>
- Rodas-Tobar, M., Robles-Bykbaev, V., Ojeda-Zamalloa, I., Robles-Bykbaev, Y., & Pesantez-Aviles, F. (2018). Consensus socialization: A contribution to the assessment method center based on the use of a smartpen and the fast fourier transform. *2018 28th International Conference on Electronics, Communications and Computers, CONIELECOMP 2018, 2018-Janua*, 74–79. <https://doi.org/10.1109/CONIELECOMP.2018.8327178>

- Rodríguez, Díaz y Quinteros (2011). Herramienta Tecnológica para el Tratamiento de las Dificultades en el Aprendizaje que Presentan los Niños y Niñas con Dislexia en Panamá. Recuperado de https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/2424/2011_Herramienta_Tecnol%C3%B3gica_para_el_Tratamiento_de_las_Dificultades_en_el_
- Serrano, P. Luque, C. (2018). Motricidad fina en los niños y niñas. Desarrollo, problemas estrategias de mejora y evaluación. Madrid: Narcea S. A. EDICIONES.
- Tapia-jaya, C., & Ojeda-zamalloa, I. (2019). Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design, 795. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94619-1>
- Vieira, S., Quercia, P., Bonnetblanc, F., & Michel, C. (2013). Space representation in children with dyslexia and children without dyslexia: Contribution of line bisection and circle centering tasks. *Research in Developmental Disabilities*, 34(11), 3997–4008. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.08.031>
- Williams, C., & Beam, S. (2019). Technology and writing: Review of research. *Computers and Education*. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.024>

Alzheimer's disease diagnosis system using electroencephalograms and machine learning models

Paola Martínez-Arias¹, Rigoberto Fonseca-Delgado¹, Graciela Salum¹,
Isidro Amaro-Martín¹

paola.martinez@yachaytech.edu.ec; rfonseca@yachaytech.edu.ec;
gsalum@yachaytech.edu.ec; iamaro@yachaytech.edu.ec

¹Yachay Tech University, 100650, San Miguel de Urcuquí, Ecuador.

Pages: 275–288

Abstract: Alzheimer's disease (AD) is a neurodegenerative disorder that gradually destroys brain cells causing loss of memory and cognitive abilities. The potential of Electroencephalograms (EEG) for the diagnosis of AD is currently studied since it is a low-cost, non-invasive technique that might be very useful for an early diagnosis. This research aims to propose a system for AD detection using characteristics extracted from the EEG and the best classification model. To this end, a comparative study is carried out using characteristics that capture two effects that AD produces on EEGs, which are the slowing and the complexity reduction of the signal. Different classification models are compared, such as Feed-Forward Neural Networks (FFNN), Support Vector Machines, among others. The best features were Higuchi's fractal dimension and Power Spectral Density and the best classifier was FFNN. The proposed method, classifying between AD patients and healthy controls, achieves an accuracy of 99.8%.

Keywords: Alzheimer's disease; electroencephalograms; feature selection; feed forward neural networks.

1. Introduction

Alzheimer's Disease (AD) is the most common type of dementia, according to the Alzheimer's Association. There are many diagnostic tests and procedures to confirm or rule out if there is a neurological disorder in a patient. The Electroencephalogram or EEG is a register of a non-invasive examination used to study the electrical activity of the brain through the scalp. The interpretation of the EEGs can be complicated because it is necessary to analyze the frequency, amplitude, and morphology of different signals captured by the electrodes. Several methods of the machine learning (ML) area report excellent results in the interpretation of EEGs (Fan, Yang, Fuh, & Chou, 2018) (Nielsen, et al., 2018). This work carries out a study of EEGs and ML models in order to design a system for the diagnosis of AD.

Nevertheless, the diagnosis of AD is a complex task involving many parameters, and the symptomatology associated with early stages of the disease are usually challenging to detect (Goh, et al., 2007). Currently, several markers allow the clinical detection of AD; most of them include highly invasive procedures such as studies of cerebral spinal fluid and tissue samples. Neuroimaging techniques are also used for diagnosing AD, but although they have some advantages, they are expensive and not suitable for routine screening (Goh, et al., 2007). Research about non-invasive and low-cost procedures to detect AD in early states is very important, and it is one of the main reasons for the development of this work.

According to several studies, no known cure exists for AD, but treatments for symptoms are available, and research continues in order to slow its progress and improve the quality of life of patients and its surrounding (family and caregivers). Current research and a worldwide effort are made to find better ways to treat the disease. As mentioned in (Dauwels, Vialatte, & Cichocki, 2010) early diagnosis of AD is significant for several reasons:

- A positive diagnostic given on time helps the patient and his/her family to inform themselves about the disease and to make decisions about their future concerning finances and legal matters.
- Early diagnosis helps the patients to ensure the prescription of symptoms-delaying medication that may help them to deal with the disease.
- A negative diagnosis of the disease may ease the find of other conditions with similar symptoms that may be reversible.
- It gives people greater opportunities to participate in clinical trials and the testing of possible new treatments.

This work aims to study different methods from the area of ML in order to analyze EEGs in patients suffering from Alzheimer's Disease. Several papers have been reviewed with the aim of finding the most common features to be used, and the ML models that have had the best results to classify between healthy controls and patients suffering from AD. After this, a system capable of classifying between AD patients and healthy controls with the best results from the previous analysis is designed.

The proposed system uses Higuchi Fractal Dimension (HFD), which is a non-linear measure of the complexity of the signal, and Power Spectral Density (PSD), that allows to analyze the signal as a function of the frequency, from the 16 channels of the EEGs to train a Feed-Forward Neural Network (FFNN), obtaining an accuracy of 99.8%.

This document is organized as follows: Section 2 introduces information about Alzheimer's Disease, the main features used to describe the signal's behavior, and the classification models that will be considered. Section 3 details the proposed system with its respective experiments, results and analysis. Section 4 presents the conclusions and ongoing work of this research.

2. Preliminaries

Alzheimer's is a progressive and irreversible brain disorder that causes problems with memory, slowly destroying it until losing the ability to develop simple tasks, interfering

with daily life. AD begins slowly, involving at first the parts of the brain that control memory and language. People with AD may have trouble remembering recent things and the names of people they know. It is a degenerative and progressive disease. Because of that, it gets worse over time, making people suffering it to have trouble speaking, reading, and writing.

An electroencephalogram (EEG) registers voltage differences between different parts of the brain; this allows to detect changes in the electrical activity of the brain (Teplan & others, 2002). This work represents the registered signal by a real function of an integer, e.g. $x(n)$, where n is the sample size.

Various studies about this topic have shown that AD has, at least, three important effects on EEG signals (Jeong, 2004):

- **Slowing of the EEG:** Alzheimer's disease seems to affect different frequency bands of the EEG in specific ways. This effect is associated with an increase of power in low frequencies (delta and theta) and a decrease of power in higher frequencies (alpha and beta). According to Jeong (2004), visual analyses of the EEG in AD patients have shown a slower posterior rhythm and a reduction in alpha and beta activities.
- **Reduced complexity of the EEG signal:** Studies have shown that EEG signals of AD patients tend to be more regular, and equivalently, less complex than the EEG signals of age-matched control patients. Dauwels et al. (2010) say that one of the reasons this may happen is that, in AD is common to have a loss of neurons that eventually perturb their anatomical and functional coupling.
- **Perturbation in EEG synchrony:** The synchrony of the EEG refers to the simultaneous appearance of rhythmic and morphologically distinct patterns over different parts of the brain (the same side or different sides) (Dauwels, Vialatte, & Cichocki, 2010). Several studies have reported as well, decreased EEG synchrony in AD patients under rest conditions, that refer to the 'spontaneous' EEG signals.

This work will focus on two of the three mentioned effects of AD on EEGs since they are the most common to study when dealing with this problem: Slowing and Reduced complexity of the EEG. The *slowing of the EEG* is related to the power of the signal, and it is commonly analyzed by using Spectral Features. Differently, the *Complexity of the signal* is analyzed by using complexity measures such as different types of entropy measurements. In the following section, the main features used in this work for both effects will be explained.

2.1. Spectral features

The signals are in the domain of time; spectral analysis transforms the signals into the frequency domain. This section shows the main features based on spectral analysis.

Power Spectral Density

The Power Spectral Density (PSD) shows the strength of the energy variation of a signal as a function of the frequency. In this work, the PSD was obtained by using the

'Periodogram'. It is a nonparametric estimate of the power spectral density, and it is the Fourier transform of the biased estimate of the autocorrelation sequence (MathWorks, 2020). The periodogram for a signal $x(n)$ is defined as:

$$\hat{P}(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i2\pi f n} \right|^2 \quad (1)$$

where Δt is the sampling interval, N is the length of the signal and f is the frequency in Hz.

Specific Spectral Power Ratios

Several scientific works have used Spectral Power Ratios (RelPow) from the different frequency bands of the EEG. This method consists of the computation of the Spectral Power in each band of the EEG, and then, it computes the percentage of the total power that each frequency band has. This work uses four bands, which are the delta band (δ , that goes from 0-4 Hz), the theta band (θ , that goes from 4-8 Hz), the alpha band (α , that goes from 8-12Hz), and finally the beta band (β , that goes from 12-30Hz).

2.2. Complexity measures

This section shows the features used to detect changes in the complexity of the EEG signals.

Sample Entropy

The Sample Entropy (SampEn) measures the rate of new data generation, and it has been used for assessing the complexity of physiological time-series signals. As advantages, it is data length independent, and has less computational cost (Richman & Moorman, 2000). SampEn is the negative logarithm of the probability that, if two sets of simultaneous data points of length m , have *distance* $< r$, then two sets of length $m+1$ also have *distance* $< r$.

From a signal $x(n)$ of length N , there are $N-m+1$ points $x_m(i)$, i is the point identifier, and $x_m(i) = \{x(i+k) : 0 \leq k \leq m-1\}$. The distance function $d[x_m(i), x_m(k)]$ is the maximum difference between the components of the vectors:

$$d[x_m(i), x_m(k)] = \max\{|x(i+j) - x(k+j)| : 0 \leq j \leq m\} \quad (2)$$

Sample Entropy is defined as:

$$\text{SampEn} = -\log \frac{A}{B} \quad (3)$$

where A is the number of template vector pairs having $d[x_{m+1}(i), x_{m+1}(k)] < r$, and B is the number of template vector pairs having $d[x_m(i), x_m(k)] < r$. The result is always greater than zero, and a small value is an indicator of less noise and more self-similarity.

Lempel-Ziv Complexity

Lempel-Ziv Complexity (LZC) method counts the number of different patterns in a signal of length N . The less such patterns, the better a signal may be compressed. Zhang et al. (2016) give a detailed explanation of how to obtain this measurement from the signal. The original signal must be coarse-grained and transformed into a symbol sequence for simplifying the computation. To generate a two-state sequence, source signal x could be converted into a sequence s of zeros and ones by comparison with a threshold T_h . It is produced as follows:

$$s(i) = \begin{cases} 0, & \text{if } x(i) < T_h \\ 1, & \text{if } x(i) \geq T_h \end{cases} \quad (4)$$

in this work, the threshold is the mean value of the source signal.

The counter $c(n)$ registers the number of different substrings contained in s , the upper bound of $c(n)$ is:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = b(n) = \frac{n}{\log_\alpha(n)} \quad (5)$$

Then $c(n)$ can be normalized as:

$$C(n) = \frac{c(n)}{b(n)} \quad (6)$$

Higuchi Fractal Dimension

The Fractal Dimension (FD) is a nonlinear measure on the time domain that characterizes the complexity of a signal, and Higuchi's algorithm estimates the FD of a discrete-time sequence. The degree of complexity of the sequence increases as the FD increases (Gómez, Mediavilla, Hornero, Abásolo, & Fernández, 2009). Given a signal x , form k new sequences $x_{m,k}$ is defined by:

$$x_{m,k} = \left\{ x(m), x(m+k), x(m+2k), \dots, x\left(m + \text{int}\left(\frac{N-m}{k}\right)k\right) \right\} \quad (7)$$

where $\text{int}(\ast)$ makes reference to the integer part of ' $\ast$ '; the variable k represents the discrete time interval between points, and $m=1,2,\dots,k$ is a representation of the initial time value. For each of these sequences, the length is computed in the following way:

$$L(m, k) = \frac{q}{k} \left(\sum_{i=1}^p |x(m + ik) - x(m + (i - 1)k)| \right) \quad (8)$$

with $p = \text{int}((N-m)/k)$, and $q = (N-1)/(pk)$ as a normalization factor.

The length of the curve for the time interval k is defined as the average of the k values $L(m, k)$ for $m=1, 2, \dots, k$:

$$L(k) = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k L(m, k) \quad (9)$$

Those steps are repeated $k_{\max}$ times. Therefore, Higuchi Fractal Dimension (HFD) is defined as the slope of the line that fits the pairs $\{\ln(L(k)), \ln(1/k)\}$ using a least-square method to determine it.

2.3. Machine learning models

This section reviews briefly the main machine learning models used in this work, which includes neural networks and support vector machines, among others.

Feed Forward Neural Network

The Feed Forward Neural Network (FFNN) is a type of model in which data flows through different layers, which are the input layer, the hidden layers, and the output layer. Each layer has its own number of neurons, and each link of the neurons to the next layer represents a synaptic weight that should be fit according to the data.

A Backpropagation algorithm trains the network. The first step is to apply an initial input pattern like a stimulus for the first layer, which spreads throughout the hidden layers until reaching the final layer and generating an output. This output is compared with the target output and an error is calculated for each exit neuron. Then this error is backpropagated, starting from the final neuron layer towards all the hidden layers that are part of the network. This process is done until every neuron has received an error that describes its participation in the process. Based on the error value, the synaptic weights of each neuron are readjusted in a way that the next time the initial pattern enter the network, a result closer to the target is obtained (Hecht-Nielsen, 1989).

Support Vector Machines

Support Vector Machines (SVM) are a method of supervised learning to distinguish objects between classes. The training process starts applying a kernel function to the data, in order to obtain a new data space. The next step is to build separating hyperplanes, those maximizes the minimum distance between the different examples, previously labeled (Fiscon, et al., 2014).

K-Nearest Neighbors

K-Nearest Neighbors (KNN) is a nonparametric classification algorithm that belongs to the supervised learning domain. It does not work by learning from its mistakes like the neural networks do, but it saves information and memorize it to use it later (Harrison, 2018). The classification procedure calculates the distance of the new object among the k neighbors around it. Then, the object will belong to the class that is closer to this new item. The K of its name refers to the number of neighbors the algorithm will consider.

Naive Bayes

Naive Bayes (NB) classifier is based on the Bayes' Theorem. It assumes that the predictors are independent, which means that the effect of a particular feature in a class is completely independent of the other features. This assumption is called 'class conditional independence'. NB returns the class with higher probability, using the product of the probabilities of the features given the class.

3. Building the AD diagnosis system

The proposed system has two main components that are feature extraction and classification model. For selecting these components, the most used options were evaluated. This section starts describing the data used in the evaluation and continues with the experiments performed for building the system.

3.1. Data description

The data used for all the experiments is available at <https://osf.io/jbysn/>. Smith et al. (2017), Escudero et al. (2006) and Abasolo et al. (2008) used this database in their work. The electroencephalograms came from 23 patients that were recruited from the Alzheimer's Patients' Relatives Association of Valladolid (Smith, Abásolo, & Escudero, 2017). The recording process has 16 channels of EEG; the data was organized in 5 seconds of artifact-free epochs. From now on, a 5 seconds epoch from the 16 channels belonging to one subject will be referred to as 'trial'.

For this work, each individual feature will be extracted from each channel and each trial of every subject. In this database, there were individuals with very few numbers of trials, and then only subjects with at least ten trials were considered for the experiments. After this, we had 657 trials, 400 belonging to patients with AD, and 257 belonging to healthy controls. For the experiments done in this research, we realized that the classes were unbalanced, so only 257 trials from the initial 400 belonging to the AD group were randomly taken. In this way, the classes were balanced, and it was expected to obtain better and more realistic results.

3.2. Validation of the experiments

In order to validate the results, each experiment carries out a 10-fold cross-validation. Both samples of AD patients and healthy controls (a total of 514) were introduced in one

matrix and randomly mixed 50 times. After this, the samples were divided into features and labels. Then, the validation process divided the data into training and testing sets for each fold.

3.3. Evaluation of features individually

The objective of this experiment is to know the performance of each feature in the early detection of Alzheimer’s disease. Table 1 shows the features extracted individually from the signals; the first column shows features used to detect slowing and the second column shows the features used to detect changes in the complexity of EEGs.

The experiment consisted of taking the 16 channels EEG epoch from each subject (one trial) and extracting features from it. Then, a set of specific features taken from several trials and subjects is obtained. This set of data goes through a Feed Forward Neural Network (FFNN) in order to know its capacity to classify between AD patients and healthy controls with each type of feature.

Slowing		Complexity	
Power Spectral Density	(PSD)	Tsallis Entropy	(TsEn)
Total Average Power)	(Tap)	Approximate Entropy	(ApEn)
Mediam Frequency	(Mfreq)	Sample Entropy	(SampEn)
Relative Power	(Relpow)	Multiscale Entropy	(MSE)
		Lempel-Ziv Complexity	(LZC)
		Higuchi Fractal Dimension	(HFD)

Table 1 – Features used in this research.

Results

Table 2 shows the accuracy, the specificity, and the sensitivity of each feature on average with their respective standard deviation (SD). With features related to *Complexity*, Higuchi Fractal Dimension (HFD) has the best accuracy compared to the others. On the other hand, with features related to *Slowing*, the one with the best performance is Power Spectral Density (PSD). Nonetheless, HFD is slightly better. Now, if we analyze the specificity (ability to correctly reject control patients) of the compared features, the ones that show a result of 100% are also HFD and PSD. Analyzing the sensitivity (ability to correctly detect patients with AD), the feature with the highest sensitivity is Relative Power (Relpow). HFD and PSD show good results as well, and HFD has a small difference over PSD.

Now, it is important for us to know that the difference between the accuracy of the features is statistically significant. For that, we define the null hypothesis saying that this difference is attributed to chance, and we perform a t-test to obtain a p-value to see if we can reject the null hypothesis. Differences will be considered statistically significant if the p-value is lower than 0.05, to have 95% of confidence. Since HFD shows best results, Table 3 shows the results of the p-values obtained comparing HFD with the rest of the features.

Feature	Accuracy %	Specificity %	Sensitivity %
Mfreq	86.19 ± 4.20	78.26 ± 9.44	94.20 ± 5.79
PSD*	99.02 ± 1.90	100	98.06 ± 3.75

Feature	Accuracy %	Specificity %	Sensitivity %
Relpow	98.64 ± 1.86	98.05 ± 2.04	99.23 ± 2.43
Tap	87.15 ± 2.49	96.08 ± 5.51	78.17 ± 4.39
SampEn	97.08 ± 2.31	98.43 ± 2.77	95.71 ± 3.92
HFD*	99.03 ± 1.38	100	98.08 ± 2.72
ApEn	84.24 ± 6.07	83.23 ± 8.03	85.22 ± 7.54
LZC	97.07 ± 2.95	95.69 ± 5.05	98.45 ± 2.01
MSE	88.75 ± 1.72	92.44 ± 2.06	85.05 ± 2.22
TsEn	86.38 ± 2.45	93.74 ± 4.95	78.97 ± 5.30

Table 2 – Comparison of features used to classify between AD patients and Controls using a FFNN. The best result of each section (Slowing and Complexity) is marked with an asterisk.

Feature	p-value
Mfreq	4.722 e-06
PSD	0.995
Relpow	0.521
Tap	1.077 e-07
SampEn*	0.026
ApEn*	3.007 e-05
LZC	0.066
MSE*	1.551 e-08
TsEn*	5.373 e-08

Table 3 – Results of p-values of the difference between HFD and the rest of the features. Significant differences are marked with an asterisk.

From the tables above, we can see that in some cases, the null hypothesis cannot be rejected, and then we can't say that the difference between these features is statistically significant. Based on Table 3, we cannot say that HFD is better than LZC, PSD, and Relpow. Nonetheless, it is important to make further analysis to see if we could choose only one of them as the best feature to classify between patients and healthy controls. In addition, Table 3 shows that HFD is statistically different from Mfreq, Tap, SampEn, ApEn, MSE and TsEn. Then the difference of these features with HFD may not be attributed to chance, and we can say with a level of certainty that HFD is better.

Based on the tables showed above, we can say that the best features related to Slowing, according to this experiment, are PSD and Relpow. PSD is slightly better based on the accuracy of the classification performance. Also, considering the Specificity and Sensitivity, PSD has a 100% rate in Specificity, but Relpow has a better rate in Sensitivity. Then both features must be considered as good candidates for classification concerning the Slowing of the signal. In relation to the Complexity of the signal, the best features for classification based on the results of the tables and figures, are HFD, LZC, and SampEn.

3.4.Comparison of classifiers performance from the selected features

The objective of the experiment is to know the performance of different Machine Learning (ML) Models to classify between AD patients and healthy controls, based on the selected features from the previous experiment, the five features with the best accuracy, specificity, and sensitivity (>95%) were selected as inputs for every classification model. The different models compared in this experiment were based on the ones that were more used in different researches related to this work. Table 4 shows the features that will be used for this experiment, and the ML models whose performance will be compared.

Selected Features		Models
Lempel-Ziv Complexity	(LZC)	Feed Forward Neural Network (FFNN)
Higuchi Fractal Dimension	(HFD)	Support Vector Machine (SVM)
Sample Entropy	(SampEn)	K-Nearest Neighbors (KNN)
Power Spectral Density	(PSD)	Naïve Bayes (NB)
Relative Power	(Relpow)	

Table 4 – Features and models used in this experiment to compare their classification performance.

Each model will classify AD using the selected features, and then, the classifier with the best performance (accuracy) will be considered as the most appropriate to work with the data used in this work. Specificity and Sensitivity will also be considered to choose the best classifier.

Results

After training and testing the different models, the results of accuracy obtained can be seen in Table 5. Results are presented as mean ± standard deviation (SD), and the model with the best results is marked with an asterisk.

According to Table 5, the best performance is obtained by the FFNN. It is important for us to know if the difference between the best classifier (FFNN) and the others is statistically significant. For this, we define the null hypothesis saying that this difference is a result of chance. Then a t-test is performed between the different models to obtain a p-value that can help us to determine if we can reject or accept the null hypothesis. The hypothesis will be rejected when $p<0.05$ to have a 95% confidence. Results of this comparison are presented in the Table 6. As can be seen, the difference between FFNN with the rest of the models is statistically significant; then we can say that the results are not obtained by chance and that FFNN is the best model for classification between AD patients and healthy controls, compared with SVM, KNN, and Naive Bayes.

Model / Feature	HFD	LZC	SampEn	PSD	RelPow
FFNN*	99.03 ± 1.38	97.07 ± 2.95	97.08 ± 2.31	99.02 ± 1.90	98.64 ± 1.86
SVM	96.68 ± 0.91	86.12 ± 1.61	90.98 ± 1.37	95.99 ± 0.36	58.14 ± 0.90
KNN	97.87 ± 1.99	94.74 ± 4.14	94.36 ± 4.16	98.24 ± 2.15	97.08 ± 1.89
NB	87.95 ± 6.12	78.83 ± 8.76	79.41 ± 8.82	71.80 ± 5.34	86.60 ± 4.29

Table 5 – Accuracy (%) of the selected features with different classification models.
The best result is marked with an asterisk.

Model / Feature	HFD	LZC	SampEn	PSD	RelPow
SVM	7.81 e-38	1.66 e-35	3.93 e-36	1.89 e-4	7.64 e-38
KNN	9.71 e-35	8.24 e-32	8.68 e-32	1.89 e-3	6.21 e-35
NB	2.29 e-30	6.86 e-29	7.29 e-29	6.64 e-31	9.61 e-32

Table 6 – Results of the p-values of comparing the FFNN accuracy against the other models performance.

3.5. Proposed diagnosis system

Based on the previous analysis, a system to deal with the problem of classification between healthy controls and AD patients is proposed. The system uses two features: HFD and PSD, all the EEG channels, and a FFNN as the classification model. This one is proposed since the combination of these two features gave the best results using the FFNN as well.

The features used in the proposed model are HFD and PSD, each one representing the effects of AD on the EEG signal considered in this work, which are Complexity and Slowing of the EEG, respectively. The model that showed the best results in the classification task is the Feed Forward Neural Network.

Results

Table 7 shows the results of the experiment saying that HFD and PSD did not present a statistically significant difference, the combination of the two features give a better accuracy result. According to the p-values obtained by a comparison based on the accuracy of classification, this difference is not statistically significant. Nonetheless, we consider it favorable to have at least one feature from each of the effects caused by AD in the EEG. Moreover, the *sensitivity* of the combined features increases, and the *specificity* decreases a little, but both are greater than 99%.

Feature	Accuracy (%)	Specificity (%)	Sensitivity (%)	p-value
HFD	99.03 ± 1.38	100	98.08 ± 2.72	0.1074
PSD	99.02 ± 1.90	100	98.06 ± 3.75	0.2249
HFD+PSD*	99.81 ± 0.61	99.62 ± 1.22	100	

Table 7 – Comparison between single and combined features. Best result is marked with an asterisk, and the *Accuracy* column is compared using a t-test obtaining the p-values.

4. Conclusions and future work

In this work, a system to help the diagnosis of Alzheimer's Disease by using Electroencephalograms has been proposed. The features used by the proposed methods embrace two typical effects of AD over the EEGs, which are the slowing of the EEG and the complexity reduction of the signal. Experimental results show that the best features for classifying between healthy and ailing patients, related to the slowing of the signal are Power Spectral Density and Relative Power. In relation to the reduced complexity of the signal, the best features are Higuchi's Fractal Dimension, Lempel-Ziv Complexity, and Sample Entropy. Additionally, the comparison of Machine Learning models showed that the Feed Forward Neural Network is suitable for this problem. All the mentioned features obtained an accuracy of classification, specificity, and sensitivity higher than 95% using a Feed Forward Neural Network.

The purpose of this research was to find out the potential of an EEG to detect Alzheimer's disease since it is a non-invasive technique, it is a low-cost test, and it could be portable. The results obtained show evidence of the EEGs could be a great tool for detecting AD. The proposed system using HFD and PSD as features, and a FFNN as the model for classification, obtained a 99.8% of accuracy, 99.62% of specificity and 100% of sensitivity.

For future work, we want to extend the results from this work with more databases and to try to classify between different types of dementia as well. In addition, a comparison with other classification approaches, such as Deep Learning and Reinforcement Learning, could accomplish better results. Finally, it could be said that Machine Learning should be considered as a tool for helping in the diagnosis of Alzheimer's Disease using EEGs. Further studies should be made to consider EEGs as a diagnostic method for the disease itself, but it could certainly be helpful for doctors and patients to find abnormalities related to AD. With a further investigation of this topic, there could also be findings of specific electrodes that give the most important information of the disease, and this will make it easier to create a portable system that can be used by anyone, and that would be very helpful for early diagnosis of the disease.

References

Abásolo, D., Escudero, J., Hornero, R., Gómez, C., & Espino, P. (2008). Approximate entropy and auto mutual information analysis of the electroencephalogram in Alzheimer's disease patients. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 46, 1019-1028. doi:10.1007/s11517-008-0392-1

- Dauwels, J., Vialatte, F., & Cichocki, A. (2010). Diagnosis of Alzheimers Disease from EEG Signals: Where Are We Standing? *Current Alzheimer Research*, 7, 487-505. doi:10.2174/156720510792231720
- Escudero, J., Abásolo, D., Hornero, R., Espino, P., & López, M. (2006). Analysis of electroencephalograms in Alzheimers disease patients with multiscale entropy. *Physiological Measurement*, 27, 1091-1106. doi:10.1088/0967-3334/27/11/004
- Fan, M., Yang, A. C., Fuh, J.-L., & Chou, C.-A. (2018). Topological Pattern Recognition of Severe Alzheimers Disease via Regularized Supervised Learning of EEG Complexity. *Frontiers in Neuroscience*, 12. doi:10.3389/fnins.2018.00685
- Fiscon, G., Weitschek, E., Felici, G., Bertolazzi, P., Salvo, S. D., Bramanti, P., & Cola, M. C. (2014). Alzheimers disease patients classification through EEG signals processing. *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining (CIDM)*. IEEE. doi:10.1109/cidm.2014.7008655
- Goh, C., Ifeakor, C., C. Cassar, E., Latchoumane, C.-F. V., F. Bigan, C., Henderson, C., J. Hudson, N. (2007). Comparison of Methods for Early detection of Alzheimer's disease. *Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Intelligence in Medicine and Healthcare (CIMED2007)*, Plymouth, UK, July 25.
- Gómez, C., Mediavilla, Á., Hornero, R., Abásolo, D., & Fernández, A. (2009). Use of the Higuchi's fractal dimension for the analysis of MEG recordings from Alzheimer's disease patients. *Medical engineering & physics*, 31, 306-313.
- Harrison, O. (2018). Machine Learning Basics with the K-Nearest Neighbors Algorithm. *Towards Data Science*. September, 10.
- Hecht-Nielsen. (1989). Theory of the backpropagation neural network. *International Joint Conference on Neural Networks*. IEEE. doi:10.1109/ijcnn.1989.118638
- Jeong, J. (2004). EEG dynamics in patients with Alzheimers disease. *Clinical Neurophysiology*, 115, 1490-1505. doi:10.1016/j.clinph.2004.01.001
- MathWorks. (2020). *Documentation*. Retrieved from Help Center: <https://www.mathworks.com/help/index.html>
- Nielsen, M. S., Simonsen, A. H., Siersma, V., Engedal, K., Jelic, V., Andersen, B. B., Høgh, P. (2018). Quantitative Electroencephalography Analyzed by Statistical Pattern Recognition as a Diagnostic and Prognostic Tool in Mild Cognitive Impairment: Results from a Nordic Multicenter Cohort Study. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 426-438. doi:10.1159/000490788
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278, H2039-H2049.
- Smith, K., Abásolo, D., & Escudero, J. (2017). Accounting for the complex hierarchical topology of EEG phase-based functional connectivity in network binarisation. *PloS one*, 12, e0186164.

- Teplan, M., & others. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2, 1-11.
- Zhang, Y., Wei, S., Maria, C. D., & Liu, C. (2016). Using Lempel–Ziv Complexity to Assess ECG Signal Quality. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 36, 625-634. doi:10.1007/s40846-016-0165-5

Diseño inclusivo de una prótesis de rodilla para pacientes con grado de movilidad II

José M. Segnini Maizo¹, Mary J. Vergara², Luis Camuendo¹

jmsegnini@pucesi.edu.ec; mvergarap@ups.edu.ec; lmcamuendo@pucesi.edu.ec

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100112, Ibarra, Ecuador.

² Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, 090101, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 289–301

Resumen: La ausencia de la rodilla lleva al uso de prótesis para alcanzar una vida activa y autónoma. Idealmente en el proceso de diseño, el paciente podría definir sus propios requerimientos a fin de vincularse en etapas tempranas del desarrollo de ésta. Sin embargo, es el paciente el que debe adecuarse a lo que existe en el mercado, el cual ofrece productos de importación con altos costos de adquisición y mantenimiento. En esta investigación, se presenta un diseño conceptual de una prótesis de rodilla junto con un procedimiento de geometría constructiva de sólidos que permite copiar la anatomía de la pierna no afectada. Además, considera requisitos de movimiento y resistencia simulados con programas CAD-CAE-CAM junto con otros requisitos obtenidos a partir de una investigación exploratoria que añade al diseño del dispositivo comodidad, bajo costo, funcionabilidad, seguridad y estética propuestos por los pacientes del Hospital San Vicente de Paúl de la ciudad de Ibarra en Ecuador. Los resultados obtenidos muestran que se puede diseñar un dispositivo protésico como producto mínimo viable orientado por los pacientes involucrados en el proceso que permite realizar movimientos de flexo-extensión de 0° a 90° de la extremidad con grado de movilidad II.

Palabras-clave: prótesis; reemplazo total de rodilla; bajo costo.

Inclusive design of a knee prosthesis with degree of mobility II

Abstract: The absence of the knee leads to the use of prostheses to achieve an active and autonomous life. Ideally in the design process, the patient could define their own requirements in order to be linked in the early stages of its development. However, it is the patient who must adapt to what exists in the market, which offers import products with high acquisition and maintenance costs. In this investigation, a conceptual design of a knee prosthesis is presented together with a solid geometry constructive procedure that allows to copy the anatomy of an unaffected leg. In addition, it considers simulated movement and resistance requirements with CAD-CAE-CAM programs along with other specific requirements based on an iterative process and exploratory research associated with the comfort, low cost, functionality, safety and aesthetics proposed by the patients of the hospital San Vicente de Paul from the city of Ibarra in Ecuador. The results obtained show that

a prosthetic device can be developed as a minimum viable product oriented by the patients involved in the design, allowing flexo-extension movements from 0° to 90° of the limb with degree of mobility II.

Keywords: prosthesis; total knee replacement; low cost.

1. Introducción

Después de una amputación, se desea estar seguro de poder reanudar lo antes posible el estilo de vida anterior. Razón por la cual es necesario un sistema protésico que proporcione al usuario de manera simultánea un nivel elevado de seguridad y máxima movilidad. En la actualidad, existen un sin número de prótesis externas de rodilla, estas rodillas protésicas pueden utilizar resortes lineales, neumática, electrónica, hidráulica y mecatrónica para controlar los movimientos de la articulación de la rodilla, tal como se muestra en (Álvarez, Moya, Vázquez, Campos, & Chagoyén, 2012), (Amador, 2013), donde, además muestra la necesidad de realizar investigaciones direccionadas a diseñar dispositivos que asemejen más a la función de la rodilla durante todo el ciclo de andar.

Bajo la luz de lo anterior, se han desarrollado investigaciones direccionadas a simular el movimiento natural de la rodilla mediante diferentes mecanismos, tal como se detalla en (Hekmatfard, Farahmand, & Ebrahimi, 2013), (Amador B., 2013), (Silva Júnior, Vinchi de Oliveira, & Bonvent, 2015). En los últimos cinco años universidades ecuatorianas han participado en el desarrollo de dispositivos protésicos de rodilla, (Aldaz Valverde & Farias Gámez, 2016), (Barros Morán & López Vélez, 2016), por citar algunos, todas, direccionadas a crear un dispositivo protésico que pueda ser más accesible económicamente a los pacientes ecuatorianos. En este mismo contexto, en los últimos diez años, se han desarrollado patentes que muestran la evolución de los sistemas protésicos con distintas configuraciones geométricas que van desde sistemas netamente mecánicos hasta sistemas mecatrónicos avanzados, ver, por ejemplo, (U.S. Patente nº 9161847B2, 2015). Estas prótesis funcionan a partir de un actuador capaz de ajustarse a las variaciones de ritmo como caminar, trotar y correr.

Por otro lado, es importante recalcar que los costos de la mayoría de esas prótesis es prohibitivo cuando se considera el 21,5% de la población ecuatoriana vive con un promedio per cápita familiar de US\$ 84,49 mensuales, lo que equivale a US\$ 2,82 diarios, como lo reporta el Instituto Nacional de Estadística y censos (INEC), debido a que una prótesis básica de rodilla que permita a un paciente caminar sobre un piso plano puede costar hasta US\$5,000, sí la prótesis posee un sistema hidráulico especializado US\$15,000 y sí la pierna protésica es asistida por computadora puede alcanzar los US\$20,000 o más (McGimpsey & Bradford, 2008).

Por lo tanto, es evidente que este sector no puede adquirir estos productos necesarios e indispensables para mejorar su calidad de vida. Por lo anterior, es imprescindible que una porción de empresas de producción y ensamble se desarrollen específicamente en el área de la salud con equipos protésicos, cuyo objetivo se dirija a ofrecer la atención debida con productos más accesibles para el mercado ecuatoriano (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018), más aun cuando se considera que algunos pacientes requieren sistemas

más sencillos y económicos que emulen la articulación de la rodilla en las actividades cotidianas más importantes, considerando su propia autonomía para el uso de esta. Así, esta investigación presenta un diseño conceptual de una prótesis externa de rodilla, con restricciones asociadas al uso de geometrías sencillas, material disponible en la zona y de bajo costo que reúna requisitos adicionales retroalimentados por el paciente. Para esto, en el proceso de diseño, primero se presentan alternativas de mecanismos, formas y materiales para seleccionar las más adecuadas según los requerimientos planteados. Posteriormente, se realizan simulaciones numéricas validadas para definir una prótesis de rodilla con un mecanismo sencillo con un grado de libertad, capaz de soportar cargas máximas dadas por el paciente sin deformarse permanentemente, para finalmente en base a retroalimentación de investigación experimental apoyada en pacientes del Hospital San Vicente de Paúl de la ciudad de Ibarra en Ecuador desarrollar una prótesis de rodilla mínima viable para una población de bajos recursos económicos.

2. Requisitos de la prótesis

Para la identificación de las necesidades es básico crear un canal de información de alta calidad directamente con el usuario final del producto, es necesario una retroalimentación. La recopilación de datos involucra el contacto con los usuarios y con su experiencia con el ambiente de uso del producto, siendo el método primario de recopilación de datos para lograr este objetivo las entrevistas y encuestas a expertos. Los usuarios están representados por las personas que poseen amputación de miembro inferior por encima de la rodilla (amputación transfemoral), de uno o ambos miembros. Se trabajó con los pacientes de la Unidad de Rehabilitación y Terapia Física del Hospital San Vicente de Paúl (HSVP), ubicado en la ciudad de Ibarra, Ecuador. Se debe destacar que en esta investigación no se calculará el número de muestra para que los resultados estadísticamente fuesen significativos, debido a que no se cuenta con una base de datos de amputados transfemoralmente en la zona norte del país y adicionalmente los centros de rehabilitación y fundaciones no divulgan este tipo de información. Motivo por el cual, solo se trabajará con diez pacientes del HSVP.

Esta información es sintetizada, comparada y analizada con la bibliografía acerca del tema, para finalmente con el asesoramiento de un especialista fisioterapeuta, generar alternativas de diseño acorde con los requerimientos. Se establecieron seis variables fundamentales que se deben considerar en las prótesis para amputación transfemoral:

Comodidad: referida al bienestar físico que proporciona el uso de la prótesis; *Seguridad*: relacionada con la confianza en la prótesis, y por ende, con la ausencia de riesgos al emplear el dispositivo; *Estética*: asociada a la proyección visual de la prótesis, su apariencia física; *Funcionalidad*: relacionada directamente con la posibilidad de permitir la ejecución de movimientos similares a los de la articulación sana; *Peso*: relativo a lo pesado o liviano que sea el dispositivo y *Costo*: referido a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición de la prótesis.

En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos en las entrevistas realizadas a los 10 pacientes y que sirven para definir con detalle los requisitos.

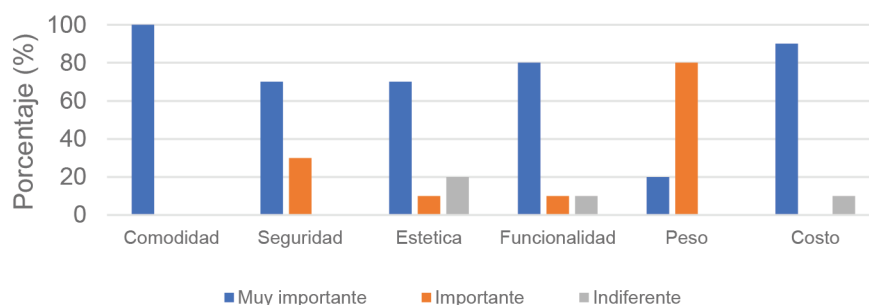


Figura 1 – Resultados de encuestas con respecto a las características de la prótesis.

Para el 100% de los pacientes la comodidad es muy importante, pero los pacientes asocian la comodidad al encaje de la prótesis, donde se aloja el muñón del miembro amputado, y el cual representa la conexión del paciente con la prótesis. De igual manera, el 70% de los pacientes la seguridad es muy importante y la asocian directamente a la articulación de rodilla. Es recurrente el comentario sobre la inseguridad que les provoca la flexión inesperada de la rodilla durante la fase apoyo de la marcha, lo que alerta sobre la importancia de la selección del mecanismo de control para la seguridad en dicha fase. Para los pacientes para los cuales la estética es muy importante (70%), la prótesis debe incorporar una funda cosmética de algún material sintético que se asemeje a la piel o algo que le de valor estético, que sea duradero e impermeable.

La investigación se centra en el diseño de la prótesis de rodilla y pierna protésica en esta primera etapa, ya que representan la parte más relevante desde el punto de vista biomecánico, además, se puede verificar que existen propuestas académicas interesantes que resuelven el problema del acoplamiento de ésta con el paciente, como es el caso de Olesnavage y Winter (2016), por nombrar uno de los más emblemáticos.

Adicionalmente se analizó el grado de movilidad del paciente, los aspectos que el paciente considera que se pueden mejorar en la prótesis y las características especiales que el paciente desea incluir en la prótesis. Para establecer el grado de movilidad del paciente se emplea como referencia el sistema de clasificación Medicare Functional Classification Level (MFCL), que describe el estado funcional del paciente, especialmente en lo que se refiere a su potencial para el éxito con una prótesis. Así, en vista que se requiere diseñar una propuesta de bajo costo que ayude al paciente a cubrir las necesidades básicas, los grados de movilidad 1 y 2 cubren estas expectativas.

La marcha humana es un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano en posición erguida, se mueve hacia delante, siendo su peso soportado alternativamente por ambas piernas, y el ciclo de marcha (CM) comprende la actividad que ocurre entre el contacto del talón de una extremidad y el siguiente contacto de talón de la misma extremidad con el suelo, constando de dos pasos, se descompone en dos fases, fase de apoyo y fase de balanceo y a su vez, cada fase se subdivide en otras, las cuales se contabilizan en porcentajes parciales. Así, Amador (2013) estipula que la fase de apoyo incluye cinco etapas: contacto inicial (0 – 2% del CM), etapa inicial de apoyo o de respuesta a la

carga (0 - 10% del CM), etapa media del apoyo (10 - 30% del CM), etapa final del apoyo (30 - 50% del CM) y la etapa previa a la oscilación (50 - 60% del CM). A su vez, la fase de oscilación o balanceo consta de tres etapas: etapa inicial de la oscilación (60 - 73% del CM), etapa media de la oscilación (73 - 87% del CM) y etapa final de la oscilación (87-100% del CM).

De lo anterior es fácil dilucidar que en condiciones de normalidad la fase de apoyo constituye el 60% del CM y la fase de oscilación el 40% y por lo tanto estas consideraciones son retomadas para la simulación de la prótesis con cargas que se presenta en la sección 5.1.

3. Metodología para el diseño

Una metodología de diseño es una guía, cuya meta se centra en orientar al diseñador durante el proceso proyectual, esta no es una fórmula para constituir rutinas, si no son pautas para lograr objetivos (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018). Una parte de la metodología utilizada es una modificación a la propuesta desarrollada por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) que propone el proceso de diseño como fases en el desarrollo de productos. Así, el proceso no es secuencial, ya que algunas fases pueden darse de manera simultánea e integrada, por lo que se adapta este modelo a los primeros cinco pasos, de manera, que el proceso terminaría en la fabricación del prototipo.

A partir de un problema detectado se comienza a analizar y procesar la información disponible y se explora antecedentes pertinentes que contribuyan en la elaboración de una base de datos, para la estructuración, creación y registro del marco conceptual y teórico (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018). Luego se pasa a una etapa el análisis y la creatividad que dan forma a la idea del producto, y en la que se analizan distintas alternativas para luego seleccionar una de ellas para llegar al diseño de detalle y definir formalmente al producto y las especificaciones técnicas para su prueba. Aquí se verifica entre otros aspectos, la seguridad, la calidad, confiabilidad y mantenimiento. En esta fase también se verifican las características técnicas como compatibilidades dimensionales, de ensamblado y montaje con miras a su fabricación. Finalmente se fabrica un prototipo que debe retroalimentarse hasta llegar a un producto mínimo viable.

4. Diseño de la propuesta

Para la selección de mecanismos y formas se sigue un proceso analítico jerárquico necesario para ejecutar el paquete computacional Expert Choice Comparion, se les da un valor numérico a las opciones planteadas que están regidas bajo el principio de la metodología y acorde a propiedades y procesos analíticos, para que la herramienta sintetice dichos valores y tome las decisiones que se adapten a los requerimientos y determinantes del proyecto.

4.1. Alternativas para la forma de diseño

En el bosquejo preliminar del diseño de la forma, se exponen alternativas geometrías orgánicas que concilian el concepto de diseño y se asocian a los sistemas protésicos

contemporáneos, para ello, se consideran mecanismos que cumplen con las restricciones de movimiento asociadas a la prótesis de rodilla.

Mecanismo 1: Está compuesto por un sistema monocéntrico (tipo bisagra), la flexo-extensión se produce alrededor de un solo eje, el cual permite un giro de la articulación de 90° , como se muestra en la figura 2a.

Mecanismo 2: Es un sistema policéntrico el cual posee dos ejes de rotación, este permite que el Centro Instantáneo de Rotación (CIR) varíe en función del ángulo de flexo-extensión de rodilla, ver figura 2b.

Mecanismo 3: Es un sistema policéntrico con dos ejes de rotación, a diferencia del mecanismo 2, este cuenta con un amortiguador hidráulico para el eje central, ver figura 2c.

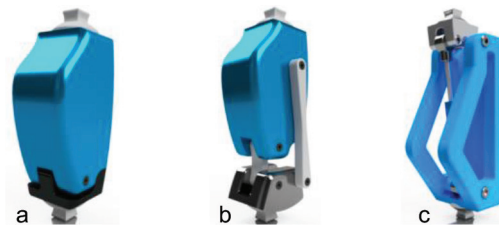


Figura 2 – a) Mecanismo 1: Prótesis Monocéntrica b) Mecanismo 2: Prótesis Policéntrica con barra c) Mecanismo 3: Prótesis Policéntrica con pistón neumático.

Los criterios se plantean según el grado de importancia, donde se busca estabilidad del sistema y la facilidad de apertura de la prótesis para poder describir el movimiento de flexión y extensión, considerando además que éstos estén disponibles al menor costo, utilizar la menor cantidad de elementos posible y con piezas sencillas de ensamblar.

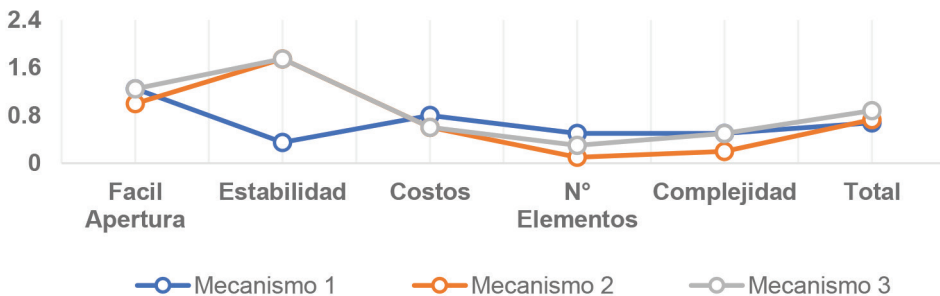


Figura 3 – Resultados para la síntesis de tipo y sistema de mecanismo.

Una vez que se evalúan las alternativas de acuerdo con los criterios y su ponderación se obtiene que el más apropiado es el mecanismo tres (3) según se aprecia en la figura 3. De igual manera, se observa que el mecanismo 1 (prótesis monocéntrica) es la que presenta

menor costo, número de elementos y complejidad del armado, pero tiene una estabilidad muy baja, motivo por el cual se descarta. Así mismo, el mecanismo policéntrico 2 al igual que el mecanismo 3, tiene una excelente estabilidad y apertura para el movimiento flexo-extensión, pero tiene un nivel de complejidad de armado y número de elementos mayor que la propuesta seleccionada.

4.2. Diseño personalizado de la pierna protésica

El método propuesto por (Mei, 2015), para medir la extremidad a diferentes niveles de amputación, se utiliza para diseñar y desarrollar una prótesis de bajo costo con tecnología de impresión 3D. El objetivo es crear un método de medición personalizado que sea útil para crear una extremidad protésica idéntica a su pierna no amputada. Este consiste en capturar imágenes fotográficas de la extremidad no amputada, estas imágenes son procesadas y vectorizadas en el software Autodesk Inventor® para poder obtener silueta de la extremidad (ver figura 4.a) y así con las siluetas en varios perfiles poder realizar el modelado 3D de la extremidad (ver figura 4.b).

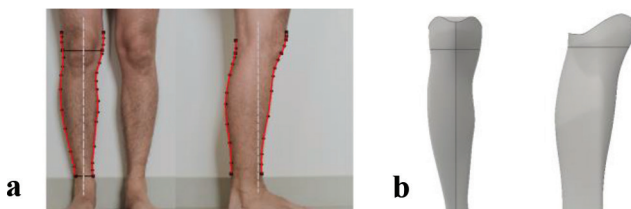


Figura 4 – a) Vectorización de la silueta de la extremidad. b) Modelado 3D de la Extremidad.

4.3. Alternativas de diseño personalizado para la pierna protésica

Una vez procesada la extremidad y modelada en 3D, se precede a generar alternativas de formas para el diseño.

Modelo 1: Esta propuesta, se diseñó pensando en la ligereza de la estructura, para ello se propone generar un orificio en la parte central de la extremidad modelada (ver figura 5a), la forma de dicho orificio se realizó pensando en la sucesión de Fibonacci y su relación con la naturaleza.



Figura 5 – Propuestas desarrolladas. a) Modelo 1 b) Modelo 2 c) Modelo 3.

Modelo 2: Esta propuesta muestra un texturizado en la zona central de la extremidad modelada (ver figura 5b), dicho texturizado se basó en la distribución de los paneles de abeja, el cual muestra un patrón de hexágonos perfectos distribuidos uniformemente.

Modelo 3: este diseño se apoyó en el modelado paramétrico basado en el diseño generativo, el cual, es un proceso de búsqueda de formas que puede imitar el enfoque evolutivo de la naturaleza para el diseño. El objetivo, principal al igual que las opciones anteriores, era aligerar la estructura (ver figura 5c). Para ello, el software utilizado (Autodesk Fusion 360) puede comenzar con objetivos de diseño y luego explorar innumerables posibles permutaciones de una solución para encontrar la mejor opción.

Las tres propuestas fueron proyectadas bajo la condición de acoplarse a los diferentes mecanismos para que se puedan armonizar y obtener la prótesis deseada. Además, se desarrollaron siguiendo el método de medición personalizado, tomando en cuenta el cuadro de determinantes y requerimientos. Se involucró un proceso creativo apoyado del concepto de formas orgánicas y minimalistas para mejorar la estética del producto.

Con estas propuestas, se plantea un análisis de alternativas, donde los criterios considerados por orden de importancia son: estética del producto, la ligereza del producto, la dificultad de fabricación de las propuestas, y la resistencia mecánica. Cabe destacar, que las variables “ligereza del producto” y “resistencia mecánica” fueron calculados en el software Autodesk Inventor®. Después de desarrollar, ejecutar y sintetizar los datos en el programa se obtiene el modelo 3 como la propuesta de forma más idónea (ver Figura 6), el cual consta de orificios con patrones irregulares para aligerar el peso del producto.

Como se observa en la figura 6, los tres modelos tienen comportamientos estructurales similares al igual que en dificultad de fabricación, las diferencias más significativas se presentan en ligereza del producto y en la estética, en donde el modelo 3 se destacó por encima de las demás propuestas.

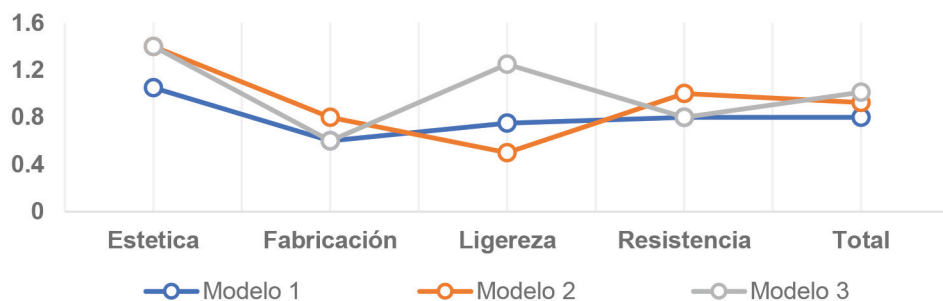


Figura 6 – Resultados para la síntesis de forma exterior.

Finalmente, para definir los materiales de cada uno de los elementos diseñados, la prótesis se diseñó para ser procesada con tecnología de impresión 3D, motivo por el cual se utilizará el material Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), el cual es el segundo material más popular en Ecuador. Por su disponibilidad en el país y su resistencia

mecánica, el ABS es el termoplástico mejor posicionado para usarse en la impresión 3D. De igual manera, el mecanismo está pensado desarrollarse en aluminio, por ser un metal producido en el país y con una densidad baja con respecto a otros metales.

5. Resultados y propuesta

Una vez seleccionadas las dos propuestas mediante el análisis jerárquico, se fusionan en un solo producto de manera de aligerar aún más la propuesta final sin afectar el comportamiento estructural. La figura 7 muestra el resultado de la generación de la geometría en Inventor® para cada uno de los componentes que conforman el dispositivo protésico de rodilla:

Articulación de rodilla: La articulación de rodilla es una pieza de geometría muy especial, que fue diseñada para fabricarse en aluminio T6061, tratando de no aumentar excesivamente el peso, y tomando en consideración las cargas involucradas en su desempeño. Esta pieza cierra el mecanismo de la prótesis al estar unida con el actuador, por medio del eje superior, y con la pierna protésica impresa, por medio del eje articular de rodilla, tal como se muestra en la figura 7. La articulación de rodilla presenta igualmente un agujero en su cara superior, de acuerdo con dimensiones estándar de adaptadores comerciales, para unir la prótesis al encaje (cuenca) del paciente.

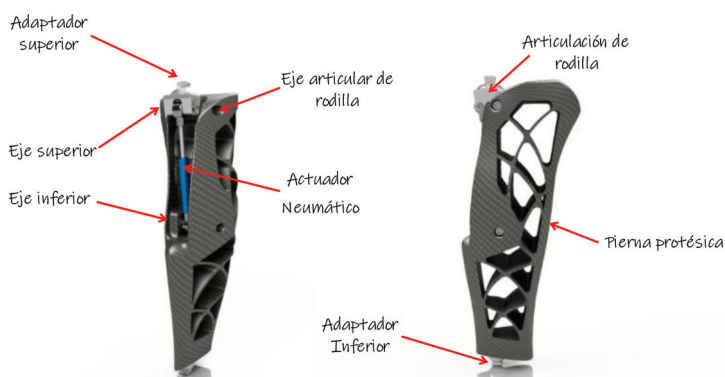


Figura 7 – Geometría propuesta para la Prótesis de Rodilla y sus partes.

Actuador neumático: El actuador solo cumple la función de accionar el retorno de la pierna a su posición original, se usa para controlar el movimiento de la pierna durante la fase de balanceo. El actuador consiste básicamente de un pistón lineal conformado por un cilindro y un vástago que se mueve dentro de éste. Asimismo, el actuador presenta orificios transversales en ambos extremos para su conexión con el resto del mecanismo por medio de ejes, en este caso, los ejes superior e inferior que se muestran en la figura 7. La pierna protésica incorpora adaptadores convencionales (superior e inferior) para el acople del pie protésico y el encaje del muñón. Con el fin de estandarizar el producto.

Para finalizar es importante detallar el peso de la prótesis, esta se obtiene recurriendo a su geometría y se introducen las densidades respectivas de acuerdo con el material

de cada pieza, obteniendo como resultado un peso total de 1.5 Kg, donde se muestra la contribución de cada uno de los componentes al peso total de la prótesis.

5.1. Análisis estructural

El análisis de esfuerzos fue hecho utilizando el método de elementos finitos (MEF). De acuerdo con el diseño mostrado en la figura 13. las piezas involucradas en éstos, con sus respectivos materiales, son las siguientes: la pierna protésica ABS, los ejes en acero inoxidable, la articulación de rodilla y los adaptadores superior e inferior en aluminio, el actuador no se tomará en cuenta para el análisis por ser un producto comercial estándar.

Las cargas de contacto pie-superficie aplicadas en los análisis realizados fueron tomadas de acuerdo con Nordin y Frankel (2001) y lo estipulado en las Norma ISO 10328:2006, quienes dividen la fase de apoyo del ciclo de marcha de acuerdo con los eventos mostrados. Se llevó a cabo un estudio cuasi-estático para cada uno de estos eventos, tomando en consideración las cargas respectivas para una persona de 100kg de peso, las cuales se muestran en la tabla 1. Estas cargas en realidad actúan a lo largo de la planta del pie, a medida que el contacto de éste con el piso avanza, no obstante, en aras de simplificar el cálculo, el corrimiento del punto de contacto del pie con el piso no fue considerado, así como tampoco los momentos debidos a la traslación de las fuerzas de reacción del piso, hasta los puntos de aplicación de estas en los modelos estudiados.

Fuerza sobre el pie	Contacto de talón	Pie plano	Despegue de talón	Impulso	Depegue de punta
Carga vertical [N]	0	1050	900	1200	100
Carga sagital [N]	50 (hacia adelante)	140 (hacia atrás)	0	160 (hacia adelante)	50 (hacia adelante)
Carga coronal [N]	0	50 (hacia adentro)	40 (hacia adentro)	40 (hacia adentro)	20 (hacia adentro)
Torque axial [Nm]	0	4 (hacia afuera)	0	3 (hacia afuera)	0

Tabla 1 – Eventos de la fase de apoyo del ciclo de marcha y sus respectivas cargas.

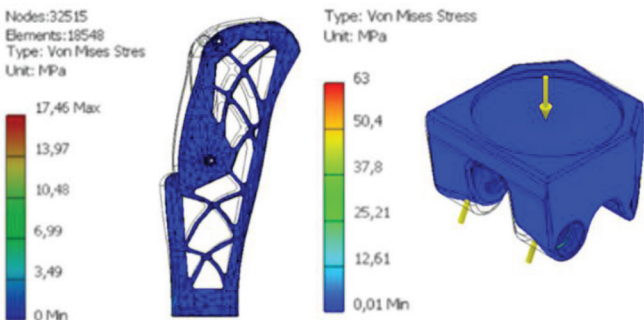


Figura 8 – Distribución de los esfuerzos de Von Misses en las dos piezas críticas.

Por otra parte, la fuerza aplicada por el actuador sobre la prótesis es una de las principales cargas a tomar en cuenta al momento de hacer el análisis de esfuerzos. Esta fuerza se transmite a través del mecanismo y fue calculada a partir del torque aplicado por una rodilla pasiva a lo largo del ciclo de marcha. En cuanto a las simulaciones, los análisis son estáticos, los materiales se consideran lineales e isotrópicos, y la condición de carga utilizada corresponde a la sub-fase de impulso (más crítica) mostrada en la tabla 1. El análisis estructural estático, se realizó con mallas refinadas de topologías tetraédricas (ver figura 8) que convergen hacia la solución.

En la figura 8 se muestran el esfuerzo equivalente de Von Misses en el último refinamiento de malla y el factor de seguridad estático, respectivamente. En estas, puede observarse que el esfuerzo producido por la carga de impulso (1200N) y el peso de 100kg del usuario es menor que la resistencia del material, ya que, éste no sobrepasa los 17.46 MPa; mientras que la resistencia a la fluencia del ABS es de 20 MPa. De igual manera para la articulación de rodilla, los esfuerzos no son mayores a 63.37 MPa, los cuales están muy por debajo de la resistencia a la fluencia del aluminio.

Por lo anterior, es fácil visualizar que, con estas magnitudes de trabajo, la prótesis no fallará y tendrá deformaciones pequeñas.

5.2. Propuesta final

El producto final es una prótesis de rodilla, la cual, está compuesta por un cuerpo rígido y un mecanismo de articulación (ver figura 9). El cuerpo rígido o pierna protésica es un elemento diseñado anatómicamente para que adopte la forma de la pierna sana del usuario, de tal forma, que la persona se sienta segura y a la vez, tenga un sentido de pertenencia por el producto. Por otra parte, el mecanismo de articulación está diseñada para que mecánicamente cumpla la función de flexo-extensión de la rodilla.

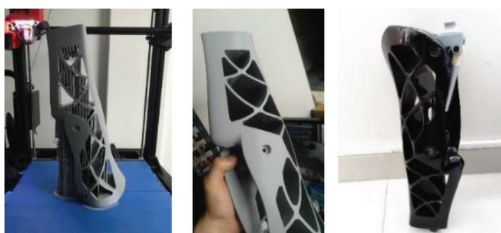


Figura 9 – Diseño y fabricación de la pierna protésica en una impresora 3D.

5.3. Costo asociado al prototipo

Se fabricó el prototipo tomando como proveedores de los componentes las casas comerciales Aluvid®, Madec®, ubicadas en la ciudad de Ibarra. Para la tercerización de los procesos de fabricación, la empresa LaFabrica3D® (impresión 3D) ubicada en Guayaquil y el FabLab Yachay (Mecanizado CNC) ubicada en Urcuquí. Obteniéndose un precio de fabricación del prototipo de 240 dólares. Se debe destacar que esto es un precio referencial de la fabricación del prototipo, si este proceso es realizado industrialmente, su costo puede bajar considerablemente ya que el 50% del producto se

va en la tercerización del mismo y en las compras detalladas de los componentes. A pesar de ello, se demuestra que es posible desarrollar una pierna protésica que cumpla con movimientos de flexión y extensión, con materiales disponibles en el mercado nacional y accesible para la población que no puede costear un equipo de manufactura extranjera.

6. Conclusiones

Se realizó un proceso de diseño del prototipo de la prótesis de rodilla para pacientes con amputaciones transfemorales. El proceso seguido consideró la evaluación y selección de posibles alternativas de solución para el sistema de accionamiento y material, con la ayuda de las herramientas computacionales Autodesk Inventor® y Fusion 360 (CAD-CAE) se realizó el modelado y documentación de la geometría del dispositivo protésico, el estudio cinemático y el análisis estructural del dispositivo.

Se ha desarrollado una propuesta de diseño que cumple con movimientos de flexión y extensión, basado en un mecanismo sencillo con un grado de libertad con materiales disponibles en el mercado nacional y accesible para la población que no puede costear un equipo de manufactura extranjera.

Los resultados de análisis estructural obtenidos para la distribución del esfuerzo y el factor de seguridad muestran que la geometría planteada, basándose en la posición donde la absorción de carga sobre el mecanismo es más crítica, cumplen con los requisitos preestablecidos donde el mecanismo y la pierna protésica no se deformará permanentemente. Por lo tanto, el dispositivo de protésico de rodilla no fallará desde el punto de vista de resistencia y deflexión del material.

Se realizó un estudio de convergencia y error, encontrándose que los valores convergen y representan un porcentaje de error menor al 1%, lo cual refleja la precisión del estudio realizado y a la vez hace válida la simulación para el análisis con carga estática.

Se ha introducido dentro del proceso de diseño el uso de CAD, CAE y CAM proponiendo una metodología de diseño combinada que considerando factores estéticos y funcionales pueden llevar a corto plazo a la innovación de productos en el mercado nacional, ya que antes de construir el prototipo puede realizarse simulaciones que sirvan para visualizar el comportamiento en servicio en el menor tiempo posible.

Referencias

- Aldaz-Valverde, K. P., & Farias-Gámez, F. E. (2016). Modelado de un implante ortopédico tipo prótesis para amputación parcial del pie con técnicas CAD-CAM (Tesis de pregrado). Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Álvarez, C., Moya, J. L., Vázquez, V., Campos, Y. S., & Chagoyén, C. A. (2012). Diseño de prótesis externa de rodilla. VII Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica. doi:10.13140/RG.2.1.4257.3286
- Amador, B. (2013). Desarrollo de prótesis de rodilla basado en plataforma de cómputo de dimensionamiento de mecanismos de cuatro barras (Tesis Doctoral). Caracas-Venezuela: Universidad Simón Bolívar.

- Barros Morán, C.A. & López Vélez, P.F. (2016). Diseño y construcción de un prototipo de prótesis de pierna para amputación transfemoral (Tesis de pregrado). Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
- Hekmatfard, M., Farahmand, F., & Ebrahimi, I. (2013). Effects of prosthetic mass distribution on the spatiotemporal characteristics and knee kinematics of transfemoral amputee locomotion. *Gait & Posture* (Elsevier B.V.), 37, 78–81. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.06.010>
- McGimpsey, G., & Bradford, T. (2008). Limb Prosthetics Services and Devices. Critical Unmet Need: Market Analysis. Bioengineering Institute Center for Neuroprosthetics - Worcester Polytechnic Institution.
- Mei, Z. (2015). An Approach For The Development of Low Cost Prosthetic Limbs With 3D Printing Technology (master's thesis). Auburn, Alabama: Auburn University.
- Nordin, M., & Frankel, V. H. (Edits.). (2001). Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lippincott Williams & Wilkins. doi:[https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00016-7)
- Olesnavage, K. M., & Winter, A. G. (2016). Design and Preliminary Testing of a Prototype for Evaluating Lower Leg Trajectory Error as an Optimization Metric for Prosthetic Feet. Proceedings of the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Volume 5A: 40th Mechanisms and Robotics Conference. doi:<https://doi.org/10.1115/DETC2016-60565>
- Otto Bock Healthcare Products GmbH. (2015). U.S. Patente nº 9161847B2.
- Segnini, J., Chagna, A., & Vergara, M. (2018). Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla. *Axioma*, XIV(18).
- Silva Júnior, W. C., Vinchi de Oliveira, M. A., & Bonvent, J.-J. (2015). Conception, design and development of a low-cost intelligent prosthesis for one-sided transfemoral amputees. *Research on Biomedical Engineering*, 31(1), 62-69. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/2446-4740.0647>

Gait Dual-task activities and Mild Cognitive Impairment in the elderly analyzed through a Tele-rehab platform

Ricardo Xavier Proaño Alulema¹, Verónica Cobo Sevilla¹, María Augusta Latta¹

xavierproanio@uta.edu.ec; vdlc.cobo@uta.edu.ec; mariaalatta@uta.edu.ec

¹ Universidad Técnica de Ambato, Av. Colombia y Chile, 180105, Ambato, Ecuador.

Pages: 302–311

Abstract: Cognitive impairment affects a representative number of elderly worldwide while, emerging technologies are being used to facilitate the conservancy of functionality in this population; however, access can be a limitation in developing countries. The aim of the study was, to identify the difference in the execution of a series of dual task exercises in the elderly, with and without cognitive impairment. To measure the accuracy of the performance of exercises executed by a control (no MCI) and an experimental group (MCI), were compared to the gold standard, values provided by the reference avatar, built on the Telerehabilitation platform “Kushkalla”. The platform uses inertial sensors, a kinetic camera for deep shots and the graphic software designed for this purpose. Each group had 5 older adults. Main findings show that 4 out of 5 dual task exercises, were better performed by the control group; however, the exercise better performed by the MCI group is considered more complex, which could be given by factors associated with age and adaptation developed by this population over the years.

Keywords: IMUS, Cognitive Impairment, elderly populations.

1. Introduction

Aging is a natural process of the human being, which added to the increase of life expectancy in developed and developing countries, bring along several public health concerns to governments and health institutions. One of the most worrisome upcoming issues, would be the high number of elderly populations living with disorders associated to cognition, 110 million by 2050, as estimated by the World Health Organization (WHO) (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2012). In Latin-America, from data collected in 2016, 14.5 million people were living with cognitive impairment while, 4.5 million suffered of dementia (Allegri, 2016). In the specific case of Ecuador, in 2009, 16.3% males and 25.7% females over 60 years were diagnosed with a mental disorder (Miranda Mogollón & Ramos Alvarado, 2017); even though those diagnoses have been questioned, since the country lacks stablished or standardized mental health indicators (Veletanga, 2016).

In the pursuit of identifying early signs of dementia, Mild Cognitive Impairment (MCI) has been stated as a milestone, due to its clinical presentation, which involves

smooth cognitive changes, such as infrequent episodes of “memory loss” and, supposed conservation of normal functional abilities (Hugo & Ganguli, 2014; Petersen et al., 2014). Although, several social programs have been implemented to target MCI, since the adaptation of the term more than 20 years ago (Petersen et al., 2014), other benefits of technology, besides imaging techniques, have been revealed by reviewing the state of the art as relatively new trends. Imaging analysis has been mainly developed to identify brain abnormalities, as predictors of Alzheimer Disease (Narváez, Árbito, & Proaño, 2018), Parkinson and other types of dementia and, the new trends are mainly being applied for establishing a relationship between human motion and dementia.

Considering that one of the early signs of cognitive dysfunction is gait abnormalities, results from early detection systems (Cohen, Verghese, & Zwerling, 2016) of MCI can direct authorities, policymakers and clinicians in designing and implementing interventions to prevent the advance of these disorders, preventing them from becoming dementia. In the other hand, limitations for retrieving technologies might be encountered along the way, such as lack of internet access and, the quality of the connection in developing countries; for instance, in Latinamerica only 10% of the population has wide range fixed internet, while 30% uses the service on a mobile device, being the elderly the population group whose access is even more limited (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018)

The aim of this research report is to inform about the development and functionality of a platform to detect alterations during gait at the ankle-foot level of the elderly when performing dual-task activities as a sign of MCI.

2. Methodology

A mixed method observational cross-sectional study was conducted in the Tele- rehab laboratory, at Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. During one visit, participants of each group: experimental and control, were individually instructed to mimic movements performed by the avatar on the screen (a 72” SMART TV), after an initial demonstration by one of the research assistants. The performance of every participant was recorded in the platform, which also reports and calculates on Microsoft excel the Range of Motion (ROM) of ankle plantar and dorsiflexion.

2.1. Participants

Initially, the research team requested authorization to the facilities selected to carry out the study. Once access was granted by Centro Integral del Adulto Mayor - GAD Municipal Ambato (experimental group), and the Physical Therapy Community Service at Universidad Técnica de Ambato (control group), one of the researchers and a research assistant informed older adults, family, caregivers and power of attorneys (POA) about the study. After agreement of participation and fulfilling inclusion and exclusion criteria, an informed consent was signed by the participant and/or a legal representative. General inclusion criteria included: older adults 65 years or over, autonomous gait and no presence of visual and/or hearing impairments. The specific inclusion criterion for the experimental group included: older adults with a certified medical diagnosis of MCI; while subjects in the control group must have not suffered MCI. In order to confirm cognitive impairment, the Mini Mental State Examination (MMSE) test in its Spanish

validated version (Lobo et al., 1999) was administered to all participants. An additional exclusion criterion was to have had a reported episode of aggressiveness

2.2. Platform

The Tele-rehab system has been developed to capture and save, from far distances, objective measures; provide physical therapy interventions and, follow up to patients or subjects participating in studies, creating a real time interaction between those involved. In addition, the platform can be managed from any health unit, allowing clinicians to monitor patients in frequency, time and complexity levels of performance as indicators of the evolution of a patient. The platform “Kushkalla” (together in kichwua language) is hosted in the cloud provided by the Ecuadorian Corporation for the Development of Research and Academia (CEDIA), under the domain <http://kushkalla.cedia.org.ec> (Narváez et al., 2017). The platform allows high interaction with users through an integrational network of inertial measurement units (IMUs - Xsens Technology) (Xsens, 2020), a deep video sensor, by Microsoft Kinect and a set of graphic environments to virtualize training scenarios and rehabilitative therapies.

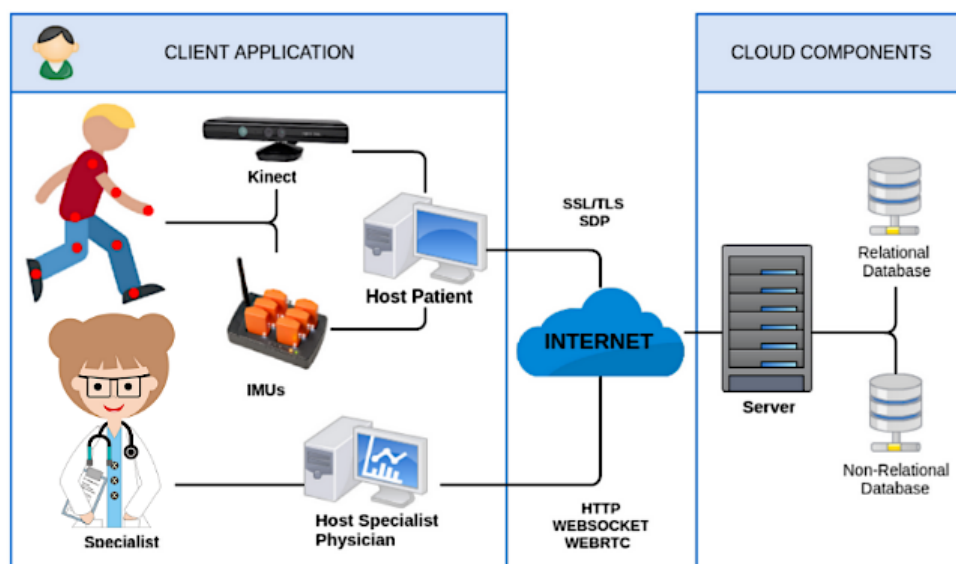


Figure 1 – General sequel of data interaction on Kushkalla: Tele-Rehab platform.

The Kushkalla platform has two main components and various workstations, all including software and hardware: client/patient/clinician and server/data-base and repository, which at the same time are subdivided into other components depending on the role performed by each one. For instance, the client/patient/clinician component has two workstations; the client/patient workstation where data from patient's kinematics

and intervention performance is recorded and the clinician workstation where they administer interventions, monitor patient's performance and access to client's records.

The following component, server/data-base and repository, has been designed through service-oriented architecture (SOA). The cloud encloses a web server, a websocket server and a Real-time communication web (webRTC), while the main server is based on NODE.js with several web-based apps in Express.JS, Three.JS for WebGL, WebSockets and WebRTC, all developed in JavaScript and programmed in Hypertext Markup Language revision 5 (HTML5), which allows to control some graphic interfaces. Each event has been packed in JSON format by websocket channels, between patients and server. Finally, the data-base was built in MySQL to collect and save data and information of each patient/client.

2.3. Dual-task exercises

Table 1 shows exercises performed by subjects in both groups. Before initiating the routine, individuals were instructed to remain 3 meters from the TV, while the avatar syncs with the Kinect camera and the IMUs.

Exercise	Description
<i>Tip-Heel: Platform: Dual Task</i>	Subject rests on their toes and then on the heels
<i>Tip- Alternate Heel: Platform: Dual Task 1</i>	Subject rests on the tip of one foot, while the other foot is resting on the heel. Then alternates this position
<i>Unipodal Support and Ankle Circumcision Platform: Dual Task 2</i>	Subject stands on one foot; the other leg is bent, while the foot in elevation makes circular movements in the air
<i>Cross side march with semi squat Platform: Dual Task 3</i>	Subject performs a lateral march, crossing one foot in front of the other; then, returns to the starting position, does a semi squat, finally returns to the starting position
<i>Unipodal support with flexion, extension and hip abduction. Platform: Double Task 4</i>	Subject stands on one foot while raising the opposite limb forward, then sideways and backwards, finally switches limbs.

Table 1 – Dual task exercises.

3. Results

Initially, referential data for: speed of rotation, acceleration and three-dimensional positioning of each movement was obtained; to later be analyzed against the information provided by the avatar instructor, which displays dual-task exercises at optimum performance levels. Range of motion (ROM) data of ankle plantar and dorsiflexion was recorded in the platform and, saved also as Microsoft excel files, to facilitate calculations and analysis. A number of 7 IMUs were located on anatomical landmarks in the lower quarter and, attached to them with pocket-like cinchs. One sensor was set on the sacrum, one sensor on the upper third of the thigh bilaterally; another pair at the internal level of the right and left tibiofemoral joint, below the patella; the last pair was located on the dorsal face of the midfoot at the metatarsal-phalangeal joint level as shown in Figure 2.



Figure 2 – IMUS in patient.

3.1. Participants

After the informational session, 20 older adults and their representative were interested in having the elderly participating in the study; 8 at Centro Integral del Adulto Mayor - GAD Municipal Ambato, and 12 at the Physical Therapy Community Service at Universidad Técnica de Ambato. After applying the inclusion and exclusion criteria and the MMSE test, a total of 5 subjects qualified to be part of the experimental group, as well as another 5, who qualified to be part of the control group, based on the confirmation of their MMSE test scores, which proved that they don't suffer MCI. A detailed representation of participants and their MMSE scores is presented in Table 2.

Older adults	MMSE Score	Interpretation
<i>Older adult 1</i>	17 pts	Cognitive Impairment
<i>Older adult 2</i>	16 pts	Cognitive Impairment
<i>Older adult 3</i>	16 pts	Cognitive Impairment
<i>Older adult 4</i>	13 pts	Cognitive Impairment
<i>Older adult 5</i>	13 pts	Cognitive Impairment

Table 2 – MMSE scores.

3.2. Dual task exercises

Participants in the experimental and control group performed 4 dual-task exercises. The following values in Table 3 belong to the arithmetic mean and, the intention coefficient of each exercise, calculated through the equation below.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Mean Dual Task	Min	Max	Mean	Std.Desviation
<i>mean_ dual-task_ control group</i>	-5,6	4,68	-0,5125	2,07292
<i>mean_ dual-task_ experimental group</i>	0,08	9,05	3,5676	1,72754
<i>mean_ dual-task_ avatar</i>	-10,43	17,54	1,3492	6,72483
<i>mean_ dual-task 1_ control group</i>	-6,63	7,03	-0,8743	2,20616
<i>mean_ dual-task 1_ experimental group</i>	-0,02	9,89	2,7495	1,76458
<i>mean_ dual-task 1_ avatar</i>	-7,71	24,3	5,7117	7,2043
<i>mean_ dual-task 2_ control group</i>	-22,29	17,73	-1,6155	6,42019
<i>mean_ dual-task 2_ experimental group</i>	-6,75	13,71	4,7829	3,00379
<i>mean_ dual-task 2_ avatar</i>	-42,28	46,98	-6,9035	17,55559
<i>mean_ dual-task 3_ control group</i>	-15,9	24,28	0,9761	6,08038
<i>mean_ dual-task 3_ experimental group</i>	-2,74	12,89	3,9483	2,87252
<i>mean_ dual-task 3_ avatar</i>	-6,55	30,2	8,1392	8,74031
<i>mean_ dual-task 4_ control group</i>	-6,6	14,09	0,8692	4,30866
<i>mean_ dual-task 4_ experimental group</i>	-2,04	15,8	5,1071	2,95224
<i>mean_ dual-task 4_ avatar</i>	-6,39	23,58	5,1496	5,4305

Table 3 – Mean values of the 4 dual-task exercises performed by experimental and control group members.

For measuring the degree of intention of the sample values, assuming a normal distribution of reference Table 4 shows the results; the equation was:

$$g_2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4 n_i / n}{s^4} - 3 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4 f_i}{s^4} - 3$$

Mean Dual Task	Skewness	Kurtosis
<i>mean_ dual-task_ control group</i>	0,09	0,063
<i>mean_ dual-task_ experimental group</i>	0,496	0,063
<i>mean_ dual-task_ avatar</i>	0,935	0,089
<i>mean_ dual-task 1_ control group</i>	0,551	0,056
<i>mean_ dual-task 1_ experimental group</i>	1,302	0,056
<i>mean_ dual-task 1_ avatar</i>	1,062	0,079
<i>mean_ dual-task 2_ control group</i>	-0,481	0,063
<i>mean_ dual-task 2_ experimental group</i>	0,366	0,064

Mean Dual Task	Skewness		Kurtosis	
<i>mean_ dual-task 2_ avatar</i>	-0,399	0,089	0,368	0,178
<i>mean_ dual-task 3_ control group</i>	1,013	0,05	1,057	0,099
<i>mean_ dual-task 3_ experimental group</i>	0,62	0,05	0,229	0,101
<i>mean_ dual-task 3_ avatar</i>	0,682	0,07	-0,737	0,141
<i>mean_ dual-task 4_ control group</i>	0,913	0,075	0,234	0,149
<i>mean_ dual-task 4_ experimental group</i>	0,646	0,054	0,916	0,108

Table 4 – Intention for performing the 4 dual-task exercises.

Taking data from the instructor avatar as a reference of optimum level for each exercise, the formula was:

$$\bar{X}_{\text{avatar}} - \bar{X}_{\text{dual-task } n}$$

Initially, a comparison between the median score, obtained by the avatar in performing the double task exercises (the gold standard), versus median scores from both groups was calculated. Later, the relative dispersion of the means differences, was calculated by Pearsons variation coefficient, which provides values of variability for each exercise in relation to the avatar-instructor, determining if MCI influences in the performance of the individuals, as shown is Table 5. The following equation is applied to obtain Pearsons variation coefficient:

$$CV = \frac{S}{|\bar{x}|}$$

Therapy	Coefficient of variation (CV)
dual-task control group	3,948
dual-task experimental group	6,0506
dual-task 1 control group	0,9962
dual-task 1 experimental group	3,2843
dual-task 2 control group	3,5695
dual-task 2 experimental group	1,5619
dual-task 3 control group	1,3143
dual-task 3 experimental group	2,6317
dual-task 4 control group	1,4459
dual-task 4 experimental group	31,6477

Table 5 – Results from calculation of Pearson coefficient of variation.

Finally, Figure 3 summarizes Pearson's coefficient of variation values, obtained from the double task exercises from both groups, where the distance respect to the gold standard (precision value = 0) is clearly appreciable.

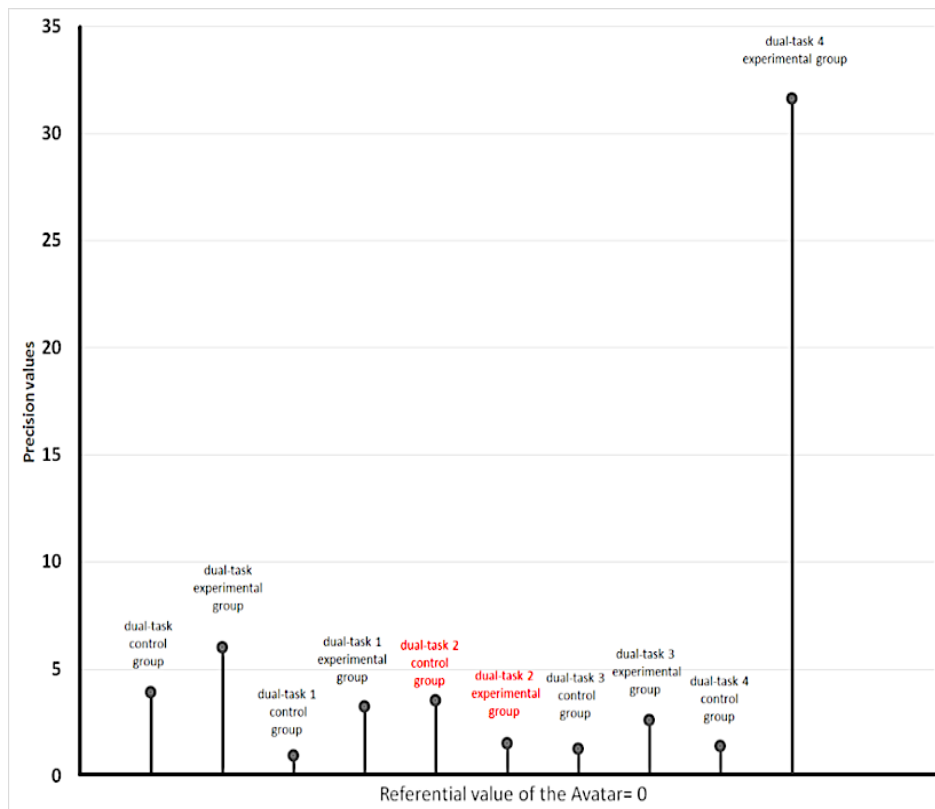


Figure 3 – Values of Pearson for each group and the gold standard (precision = 0).

With exception of exercise double task 2, the control group shows more precision than its experimental counterpart; however, in this task the experimental group has performed more precisely, giving place to the mathematical reason displayed below:

dual-task 2 control group (3,5695): dual-task 2 experimental group (1,5619)

The obtained value 2,2853 means that precision is twice as accurate in the experimental than in the control group.

4. Conclusions

The referential value required for the execution of double-task exercises, has been provided by the avatar designed in the platform; allowing the measurement of the accuracy of the exercise in both, the control and experimental group. In 4 exercises,

the control group gets much closer to the reference point (o), not so in the exercise double task 2, in which the experimental group did better.

In this exercise the subject stands on one foot, while the other limb is bent and the foot in elevation performs circular movements in the air. At this point several hypotheses could arise in relation to this finding; one, suspects that despite having an inefficient joint range in the experimental group, they somehow have come to adapt the body in function of this limitation, since they already coexisted with it for quite a while.

In the other hand, the control group shows that the ankle range is the first to suffer a limitation in the joint range, and putting it in a dynamic challenge does not fulfill the proposed task. It should be taking into account that aging the ROM naturally decreases, although it is a very little valued process, which could be a foundation for designing fall prevention plans.

5. Acknowledgments

This work was funded by the Universidad Técnica de Ambato, Dirección de Investigación y Desarrollo - UTA (Plataforma de telerehabilitación para adultos mayores que presentan trastornos asociados a demencia, basada en tecnologías emergentes) [Grant number: 0352-CU-P-2017] and the Ecuadorian Consortium for Advanced Internet Development (CEDIA) through the CEPRA projects.

Specifically, under grants CEPRA-X-2016 project; “Tele-rehabilitation platform for elderly with dementia disorders, based on emerging technologies”. [Grant number: X-2016-02].

We thank the above-mentioned institutions for their important contribution to the achievement of this work.

References

- Allegri, R. F. (2016). Latinoamérica, un camino hacia la prevención del deterioro cognitivo [Editorial]. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 7(2), 307-310. DOI:10.21501/22161201.2019
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). Estudio del BID insta a América Latina y el Caribe a modernizar la gobernanza de las telecomunicaciones para reducir la brecha digital. Retrieved from <https://www.iadb.org/es/noticias/estudio-del-bid-insta-america-latina-y-el-caribe-modernizar-la-gobernanza-de-las>
- Cohen, J. A., Verghese, J., & Zwerling, J. L. (2016). Cognition and gait in older people. *Maturitas*, 93, 73–77. DOI:10.1016/j.maturitas.2016.05.005
- Hugo, J., & Ganguli, M. (2014). Dementia and Cognitive Impairment: Epidemiology, Diagnosis, and Treatment. *Clinics in Geriatric Medicine*, 30(3), 421–442. DOI:10.1016/j.cger.2014.04.001

- Lobo, A., Saz, P., Marcos, G., Día, J. L., de la Cámara, C., Ventura, T.,... Aznar, S. (1999). [Revalidation and standardization of the cognition mini- exam (first Spanish version of the Mini-Mental Status Examination) in the general geriatric population]. *Medicina Clínica*, 112(20), 767–774.
- Miranda Mogollón, P.A., & Ramos Alvarado, E.E. (2017). Evolución del deterioro cognitivo leve a la demencia tipo Alzheimer. Retrieved from <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/3686/1/EVOLUCI%C3%93N%20DEL%20DETERIORO%20COGNITIVO%20LEVE%20A%20DEMENCIA%20TIPO%20ALZHEIMER%20MIRANDA%20Y%20RAMOS.pdf>
- Narváez, F., Arbito, F., Luna, C., Merchán, C., Cuenca, M. C., & Díaz, G. M. (2017). Kushkalla: A Web-Based Platform to Improve Functional Movement Rehabilitation. *Communications in Computer and Information Science*, 749, 194–208.
- Narváez, F., Árbito, F., & Proaño, R. (2018). A Quaternion-Based Method to IMU-to-Body Alignment for Gait Analysis. *Lecture Notes in Computer Science*, 10917, 217–231. DOI: 10.1007/978-3-319-91397-1_19
- Organización Panamericana de la Salud. (2012). Demencia, una prioridad de salud pública. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/98377/9789275318256_spa.pdf;jsessionid=89CB7BD3231AE2CDFB48BF9184E43BC4?sequence=1
- Petersen, R. C., Caracciolo, B., Brayne, C., Gauthier, S., Jelic, V., & Fratiglioni, L. (2014). Mild cognitive impairment: a concept in evolution. *Journal of Internal Medicine*, 275(3), 214–228. DOI:10.1111/joim.12190
- Veletanga, J. (2016, July 14). Deterioro cognitivo en adultos mayores está subdiagnosticado: Se desarrolla un nuevo programa de entrenamiento y estimulación cognitiva. Edición Médica. Retrieved from <https://www.edicionmedica.ec/secciones/profesionales/deterioro-cognitivo-en-adultos-mayores-est-subdiagnosticado-88245>
- Xsens. (2020). Inertial Sensor Modules. Retrieved from <https://www.xsens.com/inertial-sensor-modules>

Conductas sustentables sobre el marco de evaluación SAFA - FAO: un aporte para poblaciones rurales vulnerables de la Amazonía

Marco Heredia-R^{1,2}, Karina Falconí A.³, Deniz Barreto¹, Katherine Amores⁴,
Jamil H-Silva⁵, Bolier Torres^{1,2}

**mheredia@uea.edu.ec; karina.falconi@udla.edu.ec; d28barreto@gmail.com;
fkamores@espe.edu.ec; jamilhsilva90@gmail.com; btorres@uea.edu.ec**

¹ Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, 160101, Pastaza, Ecuador.

² AgSystems, Ceigram, itdUPM, Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28040, España

³ Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de las Américas. 170125, Quito, Ecuador.

⁴ Departamento Ciencias Económicas Administrativas y del Comercio, Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 050102, Cotopaxi, Ecuador.

⁵ Departamento de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Internacional de la Rioja, Logroño, 26006, La Rioja, España.

Pages: 312–326

Resumen: El comportamiento humano y promover el bienestar humano es parte de la psicología; la psicología de conservación (PC) investiga las interacciones entre el comportamiento humano y el entorno socio-físico, La PC reconoce y acepta el concepto de sostenibilidad con todas sus dimensiones, por lo cual el objetivo planteado fue evaluar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios a partir de las dimensiones del marco de evaluación SAFA (FAO) incluyendo dimensiones psicológicas de sostenibilidad, en poblaciones rurales: Kichwa, Shuar y Mestizos – Colonos, localizados en la Franja de Diversidad y Vida de la Reserva de Biosfera Yasuní. Se utilizó en metodología SAFA (116 preguntas) y un cuestionario (38 preguntas) de la dimensión psicológica, cuyas respuestas se basaron en la escala de Likert. Se evidenció que la dimensión psicológica con sus componentes: 1) proecológicos, 2) frugales, 3) altruistas, 4) ecuanímes aportan en el entendimiento de la dinámica de sostenibilidad en las poblaciones evaluadas, considerando la importancia de las propiedades psicológicas de las personas para lograr conductas sustentables.

Palabras-clave: comportamientos; psicología; sostenibilidad; Yasuní.

***Sustainable behaviors on the SAFA - FAO evaluation framework:
a contribution to vulnerable rural populations in the Amazon***

Abstract: Human behavior and promoting human well-being is part of psychology, Conservation psychology (CP) investigates the interactions between human behavior and the socio-physical environment, the CP recognizes and accepts the concept of sustainability with all its dimensions, Therefore, the objective was to evaluate the sustainability of food systems based on the dimensions of the SAFA (FAO) evaluation framework including psychological dimensions of sustainability, in rural populations: Kichwa, Shuar and Mestizos - Settlers, located in the Strip of Diversity and Life of the Yasuni Biosphere Reserve. It was used in SAFA methodology (116 questions) and a questionnaire (38 questions) of the psychological dimension, whose answers were based on the Likert scale. It was evidenced that the psychological dimension with its components: 1) proecological, 2) frugal, 3) altruistic, 4) equanimous, contribute to the understanding of the dynamics of sustainability in the populations evaluated, considering the importance of people's psychological properties to achieve sustainable behaviors.

Keywords: behaviors; psychology; sustainability; Yasuni.

1. Introducción

El objetivo de la psicología es comprender del comportamiento humano y promover el bienestar humano, la psicología de conservación (PC) estudia las causas conductuales y las soluciones de los problemas ambientales, tiene como objetivo comprender y promover el cuidado humano y de la naturaleza (Clayton y Myers, 2009). La PC investiga las interacciones entre el comportamiento humano y el entorno socio-físico (Clayton y Saunders, 2012). La PC reconoce y acepta el concepto de sostenibilidad (Gifford, 2007) que se describe en el Informe de Brundtland, y se señala la importancia de estudiar los temas de sostenibilidad desde una perspectiva psicológica, la PC está dirigida para estudiar los componentes psicológicos involucrados en acciones sostenibles denominadas como dimensiones psicológicas de la sostenibilidad (Corral-Verdugo *et al.*, 2010) que involucran tendencias y capacidades psicológicas (actitudes, motivos, creencias, normas, habilidad proambientales, etc.) que influyen en el comportamiento sostenible (acciones proecológicas, altruistas, frugales y equitativas) (Corral-Verdugo *et al.*, 2013).

El comportamiento sostenible es el conjunto de acciones destinadas a proteger los recursos socio-físicos (Corral-Verdugo *et al.*, 2013), considera las necesidades de las próximas generaciones de manera coincidente con la satisfacción de las necesidades actuales (Bonnes y Bonaiuto, 2002), influye significativamente en el factor de felicidad de las personas, ser sostenible puede contribuir al bienestar personal (Corral-Verdugo *et al.*, 2011).

Una consecuencia potencialmente intrínseca del comportamiento sostenible es la restauración psicológica experimentada por la práctica de acciones pro-ambientales y pro-sociales. Las experiencias restaurativas causadas por la fatiga atencional (Hartig, Kaiser y Bowler, 2001). Indispensables para mantener los estados homeostáticos para una vida saludable. Existe evidencias que las personas pueden estar motivadas para actuar en pro del medio ambiente al prever los efectos restauradores de las acciones (Hartig, Kaiser y Strumse, 2001).

El desarrollo sostenible promueve la protección y la sostenibilidad de los recursos naturales, para ello se han creado diferentes metodologías: La evaluación de la sostenibilidad – SAFE (Van Cauwenbergh *et al.*, 2007), el método IDEA (Zahm *et al.*, 2018), MOTIFS (Van Passel, y Meul, 2012), MESMIS (Da Silveira Nicoloso, *et al.*, 2018), RISE (Heredia-R *et al.*, 2017), MESRAE (Bravo-Medina *et al.*, 2017), y otras se utilizan a nivel mundial, pero ninguna hasta la actualidad realiza una sinergia con dimensiones psicológicas de sostenibilidad, se considera que el desarrollo sostenible también debe satisfacer las necesidades de las personas, la conservación de los recursos humanos (sociedad, cultura, supervivencia y bienestar de las personas) es tan importante como la conservación de los ecosistemas. Por lo cual se propone incluir dimensiones psicológicas de sostenibilidad para la restauración del ser humano, como comportamientos proecológicos, frugales, altruistas, ecuanímes como instancias de una conducta sostenible.

1.1. Comportamientos proecológicos

Son las acciones decididas y efectivas que resultan en la conservación de los recursos naturales (Corral-Verdugo *et al.*, 2010), las investigaciones psicoambientales realizadas han estudiado varias conductas proecológicas como: el reciclaje, el compostaje, el control de los desechos sólidos y efluentes contaminantes (Santana *et al.*, 2013), conservación y manejo del agua (Rodríguez *et al.*, 2016), manejo sostenible de los suelos (Schritt *et al.*, 2020), ahorro de energía, lectura de temas ambientales (Svarstad, H., & Benjaminsen, 2020), la persuasión proecológica a los demás, el cabildeo proecológico, pro diseño y construcción ecológica y conservación del ecosistema (Vasco *et al.*, 2018), entre otros. Se ha creado y validado varios instrumentos para evaluar comportamientos proecológicos, incluido el autoinforme y el registro de acciones ecológicas en una serie de comportamiento, la escala de Comportamiento Ambiental General (CAG) que considera las diferentes circunstancias en que se encuentra una persona para poder desarrollar un comportamiento ecológico favorable (Barcelo, 2018).

1.2. Comportamientos frugales

La frugalidad es una característica conductual fundamental para un estilo de vida sostenible; se refiere al menor nivel de consumo y comportamientos humanos austeros sobre la disponibilidad y renovación de los recursos naturales (Iwata, 2002), los comportamientos frugales son antagonistas del consumismo en especial, es el estilo que predomina de las sociedades modernas e industrializadas (Jackson, 2008). El consumismo es la principal causa de los problemas ambientales, es la idea de aumentar el consumo de bienes y servicios comprados en el mercado, es siempre un objetivo deseable y que el bienestar y la obtención de bienes de consumo y posesiones. Existen varios instrumentos para evaluar las conductas frugales como: utilizar encuestas para determinar los aspectos psicológicos del comportamiento de consumo reducido y determinantes psicológicos de los estilos de vida sustentables (Corral-Verdugo, 2008), etc.

1.3. Comportamientos altruistas

Por medio de las investigaciones en psicología ambiental, la acción proambiental se considera como un comportamiento altruista, es decir tienen repercusiones en la integridad y bienestar de los demás (Zchultz, 2001). El altruismo es un estado

motivacional destinado a incrementar el bienestar de los demás) o tiene una tendencia para maximizar a los beneficios de los demás con poco o nulo interés en ganancia para uno mismo (Van, 2000). La evidencia experimental indica que el altruismo humano es una fuerza poderosa y es única en el mundo animal (Fehr & Fischbacher, 2003), el altruismo está relacionado con el Modelo de Activación de Normas, que es un enfoque teórico utilizado para explicar el comportamiento proambiental, los resultados han sido que existe una relación significativa entre el altruismo y otros comportamientos sostenibles (Joireman *et al.*, 2001).

1.4. Comportamientos ecuanímes

Implica un equilibrio entre el bienestar humano y la integridad de los ecosistemas, generando un acceso adecuado a los recursos para las personas y la conservación del medio físico. El instrumento para medir el comportamiento ecuaníme fue desarrollado por Corral-Verdugo *et al.*, (2010) que además evalúa la equidad social, racial, económica, edad y género, en su estudio se evidencia que existe una relación significativa entre acciones equitativas y otros estilos de vida sostenible. En el marco de los antecedentes, el propósito de este estudio fue evaluar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios a partir de las dimensiones generadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) incluyendo dimensiones psicológicas de sostenibilidad en poblaciones rurales.

2. Metodología

2.1. Zona de estudio

La investigación se realizó en la Franja de Diversidad y Vida (FDV) creada en el 2007 (Figura 1), la FDV está en un área de alta diversidad y sensibilidad natural y cultural (Finer, 2008), se localizada en la Reserva de Biosfera Yasuní (RBY) (20.000 km²), colinda con el Territorio Ancestral Waorani (TAW) (6.126 km²) y Parque Nacional Yasuní (PNY) (9.082 km²). Ubicada en la ecorregión terrestre de los bosques húmedos del Napo (Olson y Dinerstein, 2002).

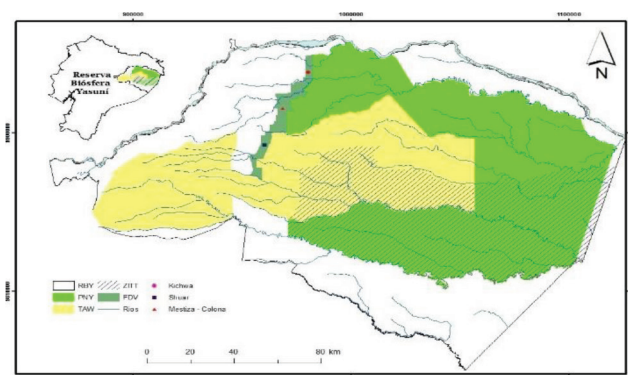


Figura 1 – Franja de Diversidad y Vida superpuesta en la Reserva de biosfera Yasuní.

2.2. Técnica de muestreo

La técnica de muestreo utilizada fue: el muestreo por cuotas, es una técnica no aleatoria (no probabilístico) en la que los participantes se eligen sobre la base de ciertas características predeterminadas (Lohr, 2010). Las fases del muestro por cuotas son: 1) Segmentación, 2) Fijación del tamaño de las cuotas y 3) selección de participantes y comprobación de cuotas. Segmentación: Los criterios para segmentar fueron: étnica, mujeres, mayores 30 años de edad y que sean responsables del manejo de los sistemas productivos (chakras). Fijación del tamaño de las cuotas: cada cuota debe tener tres individuos por étnica (caso de estudio). Selección de participantes y comprobación de cuotas. La selección de los participantes se considera en función a la aproximación más cercana al investigador.

2.3. Casos de estudio

Comunidad Kichwa Mandarinpanga: son originarios del Tena y Archidona que llegaron a la zona tras la apertura de las vías construidas por la explotación petrolera (Villaverde *et al.*, 2005) Los Kichwas tienen un origen multiétnico a partir de los Canelos, Quijos, Yumbos y Kichwas andinos, provienen de las estribaciones bajas de los Andes. Se practica la agricultura de corte y martillo (Carr, Pan y Bilsborrow, 2006), dejan espacios de tierra en barbecho durante 2 a 3 años (Gray, *et al.*, 2008), además se dedican a la pesca, cría de aves y caza de animales silvestres como paujil (*Mitu salvini*), el tapir amazónico y el pecarí de labios blancos.

Comunidad Tiguanu Shuar: la palabra Shuar significa “gente” “persona, su migración ha sido desde el sur de la Amazonia ecuatoriana (provincia de Morona Santiago) hasta el norte en 1985, se dedican a sembrar cultivos migratorios (Rudel, Bates & Machinguishi, 2002) definidos como un sistema en el que periodos relativamente breves de cultivo son seguidos por periodos relativamente largo de barbecho y basados en una agricultura de subsistencia (Loaiza, T., Nehren, U., & Gerold, G. 2015).

Comunidad Mestiza – Colona Perla de la Amazonía: Población dedicada a la ganadería y agricultura descendientes de los indígenas españoles que han llegado de las provincias: Loja, Manabí, etc., (Rudel, Bates & Machinguishi, 2002), la tala de árboles fue su primera actividad en el proceso de colonización, su agricultura es convencional y sistemas ganaderos extensivos.

2.4. Evaluación de la sostenibilidad con el programa SAFA – FAO

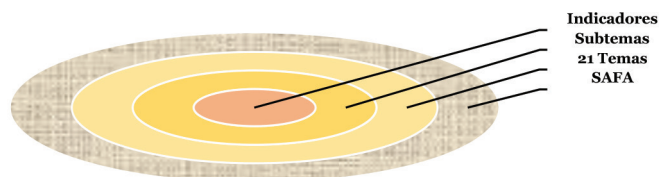


Figura 2 – Niveles en el Marco de evaluación SAFA.

Para la evaluación de la sostenibilidad, se utilizó el programa SAFA versión 2.2.40 (Evaluación de la sostenibilidad para la agricultura y la alimentación), desarrollado por la FAO en el año 2012 con la finalidad de evaluar el impacto de las operaciones de alimentación y agricultura en el medio ambiente y las personas (FAO, 2014). SAFA fomenta la mejora continua y crea capacidad para la sostenibilidad, además ayuda en la comprensión clara de los componentes constitutivos de la sostenibilidad y cómo se pueden evaluar la fortaleza, la debilidad y el progreso. Existen varios niveles de SAFA, que están anidados para mejorar la coherencia (Figura 2).

Los datos se recolectaron en el mes de septiembre de 2019, a través de una entrevista semi – estructurada, se desarrolló entorno a los indicadores de la metodología SAFA (FAO, 2014). La duración de la entrevista fue de 68 – 80 min realizada a las mujeres (que cuidan el sistema productivo o chakra), las preguntas fueron traducidas del inglés al español, kichwa (segundo idioma más hablado de la familia de las lenguas quechuas) y shuar (es una lengua aglutinante, hablado en la región amazónica del Ecuador). La metodología SAFA tiene niveles jerárquicos: dimensiones, temas, subtemas e indicadores (Figura 2); las dimensiones son: Buen Gobierno (BG) Integridad Ambiental (IA), Resiliencia Económica (RE) y Bienestar Social (BS), los temas se evalúan a partir de una escala del 1 al 5; definidos de la siguiente manera: inaceptable (rojo), limitado (naranja), moderado (amarillo), bueno (verde claro) y mejor (verde oscuro) (FAO, 2013).

La evaluación de la sostenibilidad se desarrolla en cuatro etapas mapeo, contextualización, indicadores y reporte o informe final (Figura 3) Cada una de las etapas puede volver a ser ejecutada o evaluada a lo largo del proceso siendo una metodología dinámica que se retroalimenta con la información obtenida en cada una de las etapas.

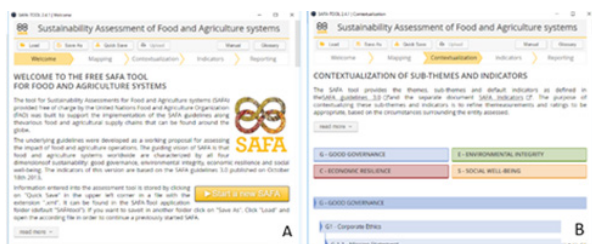


Figura 3 – Programa SAFA versión 2.2.40: A) Interface de inicio y B) cuatro para la evaluación de la sostenibilidad.

2.5. Dimensiones psicológicas de sostenibilidad

Los cuestionarios se aplicaron en febrero de 2020, están estructurado con cuatro secciones que incluyen las dimensiones psicológicas de sostenibilidad (Koger y Winter, 2010): 1) proecológicas, 2) frugales 3) altruistas y 4) ecuanímes; con 12, 9, 10, 7 preguntas por sección, respectivamente. Las opciones de respuestas siguen diferentes esquemas como: la escala de Likert con 5 niveles; es una técnica para la medición de comportamientos, opiniones y preferencias. Los cuestionarios fueron traducidos del español al idioma Kichwa y Shuar, y la recepción de las respuestas tuvo una duración 22 a 35 min por cada lista de preguntas. La información recolectada se tabuló en una

hoja programa en Excel, que influye las dimensiones de sostenibilidad de la metodología SAFA (FAO, 2014) y la dimensión psicológica.

3. Resultados y discusión

Los temas evaluados por cada dimensión de sostenibilidad fueron: 1) Buen Gobierno (BG): ética corporativa, responsabilidad, participación, estados de derecho, gestión holística; 2) Conductas Sustentables (CS): proecológicos, frugales, altruistas, ecuanímenes; 3) Integridad Ambiental (IA): atmósfera, agua, tierra, biodiversidad, materia y energía, bienestar animal; 4) Resiliencia Económica (RE): inversión, vulnerabilidad, calidad de productos e información (no considerado en esta evaluación por en la zona de estudio ningún producto tiene un proceso de trazabilidad), economía local, 5) medios de vida digno, prácticas comerciales justas, derechos laborales, equidad, seguridad y salud humana, diversidad cultural (Figura 4, Figura 5, Figura 6).

3.1. Valores resultantes de la evaluación de la sostenibilidad SAFA –FAO, con la incorporación de dimensiones psicológicas

En la Comunidad Kichwa Mandaripanga: los temas mejores son: agua (C3), biodiversidad (C1, C3), equidad y diversidad cultural (C1, C3); como limitados son: ética corporativa, atmósfera, materiales y energía, economía local, seguridad y salud humana (C1-3), participación, estados de derecho, gestión holística (C3), agua (C2) (Figura 4).

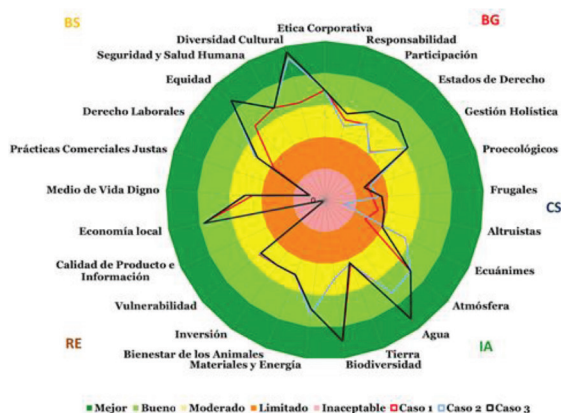


Figura 4 – Grado de sostenibilidad utilizando el marco de evaluación SAFA-FAO incluidas dimensiones psicológicas. Comunidad Kichwa Mandaripanga.

Los temas inaceptables son autistas (C2) y prácticas de comercio justo (C1-3); como Limitados: proecológicos y frugales (C1-3), altruistas y ecuanímenes (C1-C3) y como moderados son: responsabilidad, tierra, bienestar de los animales, inversión, vulnerabilidad y medio de vida dignos (C1-3), participación y estados de derecho (C1-2), ecuanímenes (C2), derechos laborales (C1-3).

En la Comunidad Tiwano Shuar: el tema prácticas de comerciales justas es inaceptable en los tres casos evaluados, como limitado son proecológicos, frugales

(C2-3), altruistas (C1-C3), ecuanímes (C1-2), bienestar animal, vulnerabilidad, derechos laborales (C1-3), economía local (C1) (Figura 5).

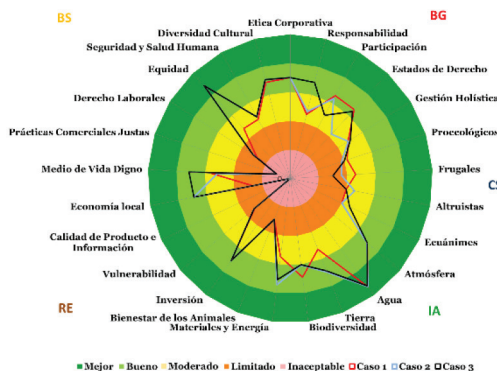


Figura 5 – Grado de sostenibilidad utilizando el marco de evaluación SAFA-FAO incluidas dimensiones psicológicas. Comunidad Tiwano Shuar.

Temas moderados son: responsabilidad, medios de vida digno (C1-2), participación, frugales, tierra, materiales y energía, y equidad (C1), estados de derecho y altruistas (C2), gestión holística, seguridad y salud humana y diversidad cultural (C1-3), proecológico (C1, C3), ecuanímes, medio de vida digno (C3). Como buenos son: ética corporativa, atmósfera, biodiversidad, inversión (C1-3), responsabilidad (C1), participación (C1, C2), estados de derecho (C1, C3), materiales y energía, economía local (C2- C3). En la clasificación mejores están agua y equidad, los casos C1 – 3) y (C1-C2), respectivamente.

En la Comunidad Mestiza – Colona Perla de la Amazonía: no existe ningún tema clasificado como Mejor, los temas gestión holística (C2, C3), agua, materiales y energía, seguridad y salud humana (C1 - 3), vulnerabilidad (C1), son Buenos (Figura 6).

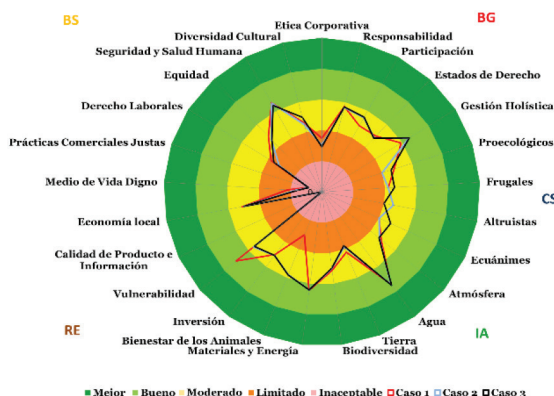


Figura 6 – Grado de sostenibilidad utilizando el marco de evaluación SAFA-FAO incluidas dimensiones psicológicas. Comunidad Mestiza – Colona Perla de la Amazonía.

Como moderados son los temas responsabilidad, participación, estados de derecho, proecológicos, frugales, altruistas, ecuanímenes, atmósfera, biodiversidad, inversión, economía local, equidad y diversidad cultural (C1 - 3), gestión holística y tierra (C1), bienestar animal y vulnerabilidad (C2, C3). Los temas limitados son: ética corporativa, prácticas de comercio justas (C1 - 3), tierra (C2, C3), bienestar animal y medios de vida digna (C1). El tema medios de vida digna, en los casos C2, C3 son inaceptables.

3.2. Valores promedio por dimensión de la metodología SAFA – FAO, incluido los puntajes resultantes de la dimensión psicológica.

Los resultados de los casos de estudio no superan la clasificación de limitado (Figura 7), el valor máximo es 3,23 en Integridad Ambiental (IA) y el valor mínimo 1,63 en Conductas Sostenibles (CS), evidenciando la insostenibilidad de los recursos naturales en los sistemas productivos (chakras/finca) y la restauración del ser humano, corroborando que el no combinar efectivamente objetivos sociales, económicos, ecológicos, de gobernanza y conductas sustentables conlleva al no cumplimiento de la sostenibilidad (WCED, 1987) y requiere una diversidad de perspectivas, enfoques plurales y democráticos a nivel local (ONU, 2015).

En términos de Buena Gobernanza (BG) los casos de poblaciones indígenas (Kichwa y Shuar) son limitados con un valor superior de 0,37 al caso de estudio de mestizo – colono, corroborando que la gestión de recursos por parte de los indígenas proporcionan ideas importantes sobre las cualidades de colaboración en el campo de la gestión de recursos (Rodon, 2018), se evidencia la necesidad de una mayor capacidad de adaptación para hacer frente a la incertidumbre y la complejidad asociada con el cambio social y ecológico (Folke *et al.*, 2005). Para el incremento en el puntaje en BG, es indispensable generar procesos adaptativos “gobernanza adaptativa” que se centran en la capacidad de adaptación descritos como cogestión y gestión colaborativa (Schultz *et al.*, 2015) y incursionar con estrategias para el fortalecimiento de capacidades (Heredia *et al.*, 2020).

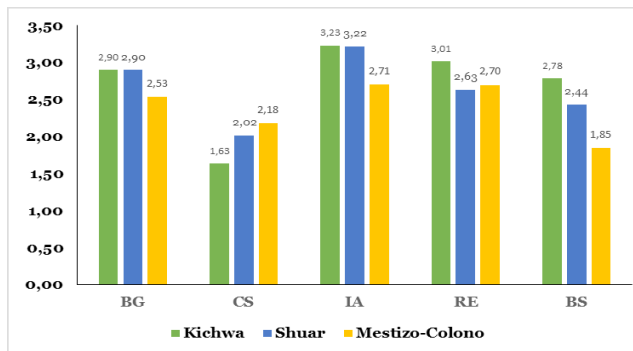


Figura 7 – Valores de sostenibilidad de SAFA – FAO e indicadores de psicología.

En la dimensión Conductas Sustentables (CS), el caso con mejor puntaje es mestizo – colono (Limitado), con un incremento de 0,16 y 0,55 con respecto a Shuar y Kichwa, se identifica que es independiente de las etnias porque los comportamientos son

insostenibles en los casos de estudio, que están relacionado con la no tenencia de tierras con documentos legales en el caso indígenas, a diferencia de los mestizos colonos que si tienen escrituras oficiales, está dinámica se relaciona con la propiedades psicológicas y conductas sostenibles cuando siente o sabes que algo es suyo; la propiedad psicológica se materializa en la expresión “¡esto es mío!” (Pierce, Kostova y Dirks, 2003), los sentimientos de propiedad afectan de manera positiva a las actitudes de los individuos (Jussila *et al.*, 2015; Kamleitner, 2011). Una mejor comprensión de la propiedad psicológica colectiva ayudará a determinar en qué medida la propiedad psicológica puede actuar para comportamientos sostenibles (Süsssenbach y Kamleitner, 2018).

El estudio de caso Kichwa y Shuar (Bueno) tienen una mejor puntaje con los mestizos – colonos (Moderado) en la dimensión Integridad Ambiental (IA), el tema de influencia para los valores es la utilización de compuestos químicos como fertilizantes y plaguicidas en el caso de mestizos-colonos, están tecnologías como el uso de los fungicidas para el control de la raya del café (Avelino *et al.*, 2015) el pesticida para controlar el barrenador de la baya del café (Damon, 2000), el uso inadecuado de productos químicos puede causar un peligro al medio ambiente y/o salud humana, como se registra en casos en la amazonia brasileña (Schiesari *et al.*, 2013) y Amazonía ecuatoriana (Hurtig *et al.*, 2003). Además, el IA, está influenciada por las perforaciones petroleras, por la contaminación al agua, aire y suelo, y mucha más por ser una de las áreas de mayor fragilidad y complejidad en términos ecológicos. Es importante mencionar que los casos indígenas usan la tierra con menos intensidad que los mestizos – colonos, lo que resulta una mayor protección para los sistemas naturales (Sellers y Bilsborrow, 2020).

En el caso Shuar (Moderado) la dimensión Resiliencia Económica (RE) tiene el menor puntaje a mestizo – colono y Kichwa con valores mayores de 0,07 y 0,38, respectivamente. El tema de relevancia es economía local ya que en los casos de estudio indígenas es más difícil acceder a las económicas de mercado, mientras que los mestizos – colonos si interactúan de manera directa con las economías de mercado definidas como: sistema económico en donde las decisiones fundamentales como de qué, cómo y para qué y para quién producir se resuelve por medio del mercado; la oferta y demanda es la que determina la cantidad y precios de los productos (Vasco *et al.*, 2018).

El Bienestar Social (BS) tiene un menor puntaje en mestizos – colonos, mientras que el caso Kichwa tiene una puntuación mayor de Shuar, ya que los medios de vida mestizo – colonos es por medio de los ingresos de pocos productos agrícolas y pecuarios: cacao, café, ganado de engorde, mientras que en los casos de indígenas utilizan los productos que siembran y vienen de los servicios ecosistemas (Loaiza, Nehren, Gerold, 2015).

4. Conclusiones

La aplicación de la metodología SAFA en contextos rurales ayuda a visualizar la dinámica de los sistemas productivos y promueve acciones que conjuguen con la responsabilidad y permite realizar una planificación estratégica utilizando procesos inclusivos, bien informados, culturalmente relevantes y respetuosos.

Las diferentes dimensiones evaluadas en el marco de evaluación SAFA integran cuatro dimensiones que promueven objetivos de legitimidad, transparencia, responsabilidad,

inclusión y justicia, pero no integran dimensiones psicológicas de sostenibilidad que permiten entender mejor el funcionamiento de las personas.

En la dimensión psicológica de sostenibilidad el estimular la propiedad psicológica promueve mecanismos exitosos para alentar a comportamientos sustentables; además la propiedad psicológica ayuda a combatir las barreras sistemáticas de la sostenibilidad.

5. Agradecimientos

Al Vicariato Apostólico de Aguarico, Gobierno de Orellana, GAD Dayuma, Inés Arango y la Universidad Estatal Amazónica por el financiamiento del proyecto.

Referencias

- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., ... Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7, 303–321.
- Barcelo, V. C. (2018). Conciencia ambiental y comportamiento ecológico. Un análisis de la escala GEB de Kaiser. *Revista internacional de sociología*, 60(33), 133-170.
- Bonnes, M.; Bonaiuto, M. (2002) Environmental psychology: from spatial-physical environment to sustainable development. In *Handbook of Environmental Psychology*; Bechtel, R., Churchman, A., Eds.; Wiley: New York, NY, USA, pp. 28–54.
- Bravo, C., Marín, H., Marrero, P., Ruiz, M. E., Torres, B., Navarrete-Al, H., & Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23-36
- Carr, D. L., Pan, W. K., & Bilsborrow, R. E. (2006). Declining fertility on the frontier: The Ecuadorian Amazon. *Population and Environment*, 28(1), 17.
- Clayton S, Myers G (2009) Conservation psychology. Understanding and promoting human care for nature. Wiley, Oxford.
- Clayton, S., Saunders, C. (2012). Introducción: Psicología ambiental y de conservación. En *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology*; Clayton, S., Ed.; Oxford University Press: Oxford, Reino Unido, pp. 1-6
- Corral-Verdugo, V., Tapia, C., Fraijo, B., Mireles, J., & Márquez, P. (2008). Determinantes psicológicos de los estilos de vida sustentables. *Revista de Psicol.*, 25, 313-327.
- Corral-Verdugo, V.; Frías-Armenta, M.; García-Cadena, C. (2010). Introduction to the psychological dimensions of sustainability. Nova Science Publishers: NY USA, pp. 3–18.

- Corral-Verdugo, V., Mireles-Acosta, J. F., Tapia, C., & Fraijo-Sing, B. (2011). Happiness as correlate of sustainable behavior: A study of pro-ecological, frugal, equitable and altruistic actions that promote subjective wellbeing. *Human Ecology Review*, 95-104.
- Corral-Verdugo, V., Montiel M., Sotomayor, M., Frías, M., et al., (2011). Psychological wellbeing as correlate of sustainable behaviors. *Int. J. Hisp. Psychol.*, 4(1), 31.
- Corral-Verdugo, V.; Montiel, M.; Sotomayor, M.; Frias, M.; Tapia, C.; Fraijo, B. (2013) Psychological wellbeing as correlate of sustainable behaviors. In *Psychology Research Progress. Recent Hispanic Research on Sustainable Behavior and Interbehavioral Psychology*. Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA, pp. 27–40.
- Da Silveira Nicoloso, C., Silveira, V. C. P., Coelho Filho, R. C., & de Quadros, F. L. F. (2018). Aplicação do Método Mesmis para Análise da Sustentabilidade de Sistemas de Produção da Pecuária Familiar. *Desenvolvimento em Questão*, 16(45), 354-376.
- Damon, A. (2000). A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera). *Bulletin of Entomological Research*, 90, 453–465.
- FAO (2013). SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems: Indicators Food and Agriculture Organization of the United Nations; Roma, Italy, p. 271.
- FAO (2014). SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems: Tool User Manual Version 2.4.1; FAO: Roma, Italy. p. 20.
- Fehr, E., & Fischbacher, U. (2003). The nature of human altruism. *Nature*, 425(6960), 785-791.
- Franzen M. (2006). Evaluating the sustainability of hunting: a comparison of harvest profiles across three Waorani communities *Environ. Conserv.* 33 36–45
- Finer, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., et al. (2008). Oil and gas projects in the western Amazon: threats to wilderness, biodiversity, and indigenous peoples. *PloS one*, 3(8).
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30, 441-473.
- Gray, L., Bilsborrow, E., Bremner, J. & Lu, F. (2008). Indigenous land use in the Ecuadorian Amazon: a cross-cultural and multilevel analysis. *Human Ecology*, 36(1) 97-109.
- Gifford, R. (2007). Environmental psychology and sustainable development: expansion, maturation and challenges. *J. Soc.* 63, 199–212
- Hartig, T., Kaiser, F. & Bowler, P. (2001). Psychological restoration in nature as a positive motivation for ecological behavior. *Environment & Behavior*, 33, 590-607.

- Hartig, T., Kaiser, F. & Strumse, E. (2007). Psychological restoration in nature as a source of motivation for ecological behavior. *Environmental Conservation*, 34, 291-299.
- Heredia-R, M., Bravo C., Vargas-B J. (2017). Sostenibilidad y manejo de recursos naturales a nivel de finca: marco de evaluación RISE. Pp. 120 – 133, Puyo, Ecuador. 293 pp.
- Heredia, M., Bravo, C., Torres, B., & Alemán, R. (2020). Innovación para el fortalecimiento de capacidades sobre sostenibilidad de los recursos naturales en poblaciones indígenas y mestizas-colonas: Reserva de Biosfera Yasuní. *Revista RISTI*, (E25), 103-116.
- Hurtig, A.K., Sebastián, M.S., Soto, A., Shingre, A., Zambrano, D., & Guerrero, W. (2003). Pesticide use among farmers in the Amazon basin of Ecuador. *Archives of Environmental Health: an International Journal*, 58, 223-228.
- Jackson, T. (2008). The challenge of sustainable lifestyles. In *State of the World*; Starke, L., Ed.; W.W. Norton and Company: New York, NY, USA, pp. 45-60.
- Joireman, J.A.; Lasane, T.P.; Bennett, J.; et al. (2001), Integrating social value orientation and the consideration of future consequences within the extended norm activation model of proenvironmental behaviour. *Brit. J. Soc. Psychol.* 40, 133-155.
- Jussila, I., Tarkiainen, A., Sarstedt, M., & Hair, F. (2015). Individual psychological ownership: Concepts, evidence, and implications for research in marketing. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 23(2), 121-139. <https://doi.org/10.1080/10696679.2015.10>
- Kamleitner, B. (2011). When imagery influences spending decisions. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, 219(4), 231-237.
- Koger, S.M.; Winter, D.D. (2010). *The Psychology of Environmental Problems: Psychology for Sustainability*; Psychology Press: New York, NY, USA,
- Larrick J W., Yost J., Gourley C., Buckley C EIII., Plato C C., Pandey J P., Burck K B. and Kaplan J. (1985). Markers of genetic variation among the Waorani Indians of the Ecuadorian Amazon Headwaters *Am. J. Phys. Anthropol.* 66 445-53.
- Loaiza, T., Nehren, U., & Gerold, G. (2015). REDD+ and incentives: An analysis of income generation in forest-dependent communities of the Yasuní Biosphere Reserve, Ecuador. *Applied Geography*, 62, 225-236.
- Lohr, A. L. (2010). *Sampling design and analysis*. Boston, MA: Cengage Learning.
- Lu F E., (2001). The common property regime of the Huaorani Indians of Ecuador: implications and challenges to conservation *Hum. Ecol.* 29 425-47.
- Olson DM., Dinerstein E., (2002). The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89: 199-224.
- ONU. (2015). Sustained and inclusive economic growth. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&ty2&menu=1565&nr=7>.

- Pierce, J. L., Kostova, T., & Dirks, K. T. (2003). The state of psychological ownership: Integrating and extending a century of research. *Review of General Psychology*, 7(1), 84–107
- Rodríguez Badillo, L., Ríos Guayasamín, P., Espinosa Chico, M., Cedeño Loja, P., & Jiménez Ortiz, G. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiológica*, 26(3), 497-507.
- Rodon, T. (2018). Institutional development and resource development: the case of Canada's Indigenous peoples. *Can. J. Dev. Stud.* 39(1): 119–136. doi:10.1080/02255189.2017.1391069. Scott, C. (Editor). 2011. *Aborigi*
- Rudel, T., Bates, D., & Machinguiashi, R. (2002). Ecologically noble Amerindians? Cattle ranching and cash cropping among Shuar and colonists in Ecuador. *Latin American Research Review*, 144-159.
- Santana, K. D., Arteaga-Pérez, L. E., Ledon, Y. C., & Rico, I. L. R. (2013). Análisis de ciclo de vida y caracterización ambiental en una industria alimenticia. Vol. 40. P 52 – 58.
- Schiesari, L., Waichman, A., Brock, T., Adams, C., & Grillitsch, B. (2013). Pesticide use and biodiversity conservation in the Amazonian agricultural frontier. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368, 20120378.
- Schritt, H., Beusch, C., Ríos, P and Kaupenjohann M. (2020). Transformation of traditional shifting cultivation into permanent cropping systems: a case study in Sarayaku, Ecuador. *Ecology and Society* 25(1):10.
- Schultz, L., Folke, C., Österblom, H., & Olsson, P. (2015). Adaptive governance, ecosystem management, and natural capital. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7369-7374.
- Sellers, S., & Bilsborrow, R. (2020). Agricultural technology adoption among migrant settlers and indigenous populations of the Northern Ecuadorian Amazon: are differences narrowing?. *Journal of Land Use Science*, 1-15.
- Svarstad, H., & Benjaminsen, T. A. (2020). Reading radical environmental justice through a political ecology lens. *Geoforum*, 108, 1-11.
- Süßenbach, S., & Kamleitner, B. (2018). Psychological Ownership as a Facilitator of Sustainable Behaviors. *Psychological Ownership and Consumer Behavior*, 211–225.
- Van Cauwenbergh N., Biala K., et al. (2007), SAFE a hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems *Agric. Ecosyst. Environ.* 120 (2-4) pp 229-242.
- Van Passel, S., & Meul, M. (2012). Multilevel and multi-user sustainability assessment of farming systems. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 170-180.
- Vasco, C., Bilsborrow, R., Torres, B., & Griess, V. (2018). Agricultural land use among mestizo colonist and indigenous populations: Contrasting patterns in the Amazon. *PloS one*, 13(7).

- Vasco, C., Navarrete, AT, Jaramillo, MI y Huerta, S. (2018). Reciprocidad y trabajo asalariado en comunidades indígenas: El caso de los Kichwa y los Shuar de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7 (3), 151-157
- Zahm, F., Ugaglia, A. A., Barbier, J. M., Boureau, H., del'Homme, B., Gafsi, M., ... & Manneville, V. (2018). Evaluating sustainability of farms: introducing a new conceptual framework based on three dimensions and five key properties relating to the sustainability of agriculture. The IDEA method version 4.
- Schultz, P. W. (2001). The structure of environmental concern: Concern for self, other people, and the biosphere. *Journal of environmental psychology*, 21(4), 327-339.

La WebQuest en el aprendizaje de enfermería: evaluación de su uso desde la percepción de los estudiantes

Venus Medina-Maldonado¹, Judith Francisco-Pérez¹, Priscila Maldonado¹

vemedinam@puce.edu.ec; jifrancisco@puce.edu.ec; bpmaldonado@puce.edu.ec

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Enfermería, 17-01-2184, Quito, Ecuador.

Pages: 327–337

Resumen: El objetivo del presente estudio fue evaluar la estrategia de aprendizaje WebQuest empleada en el abordaje de la temática del Marco Legal y Normativo de la educación y el ejercicio profesional de enfermería a nivel nacional. Corresponde a una investigación mixta de tipo concurrente, participaron 47 estudiantes tanto en la aplicación de la encuesta como en los grupos focales, cada enfoque metodológico se examinó por separado y en la discusión se expusieron los temas emergentes que fueron comunes en la evaluación. El resultado más relevante mostró que la estrategia permitió a los estudiantes familiarizarse con casos que exigieron dar solución a los problemas, a pesar de no tener ningún tipo de experiencia previa dentro del campo de la Enfermería y la salud. En conclusión, los docentes en el campo de la enfermería están llamados a valorar propuestas didácticas innovadoras que promuevan la utilización colaborativa de contenidos.

Palabras-clave: WebQuest; estrategia de aprendizaje; educación superior; método mixto; enfermería.

The WebQuest in nursing learning: evaluation of its use from the students' perception

Abstract: This study aimed to evaluate the WebQuest learning strategy used in addressing the theme of Legal and Regulatory Framework for education and professional nursing practice at the national level. Corresponding to a mixed research of concurrent type, 47 students participated both in the application of the survey and in the focus groups, each methodological approach was examined separately and, in the discussion, the emerging issues that were common in the evaluation were exposed. The most relevant result selected is the strategy selected for students familiar with the cases that required to solve the problems, a weight of not having any previous experience in the field of Nursing and health. In conclusion, teachers in the field of nursing are called to value innovative teaching proposals that promote the collaborative use of content.

Keywords: WebQuest; learning strategy; higher education; mixed method; nursing.

1. Introducción

Uno de los principios que incorpora el modelo educativo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), para guiar sus actividades de docencia, investigación y vinculación, es la centralidad en el estudiante, visto como una persona única e irrepetible, en toda sus dimensiones, contextos y estilos de aprendizaje (PUCE, 2017). Este modelo reconoce al uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), como una competencia genérica que permite enriquecer la enseñanza, estimulando el dialogo, la flexibilidad y el protagonismo de los estudiantes en su proceso de formación.

Con base en lo expuesto, se incursionó en el diseño de una WebQuest, fundamentada en el enfoque constructivista del aprendizaje (Rocu Gómez et al., 2019), dirigida a estudiantes del primer nivel de la Carrera de Enfermería en la asignatura Enfermería Contexto y Desarrollo. Técnicamente, se trata de un sitio web que agrupa en una sola página, la información necesaria sobre un tema específico. Asimismo, contiene instrucciones que sitúan al estudiante en un escenario imaginario, dirigiéndolo a realizar tareas requeridas, asumir un rol en la solución de problemas, presentar productos, evaluar sus acciones y desarrollar conclusiones. Debe ser planificada y diseñada por el docente, quien utiliza actividades de aprendizaje y recursos web para promover el procesamiento, análisis, síntesis y transformación de la información (Miranda Realpe et al., 2018).

Adicionalmente, el docente reúne recursos bibliográficos cuidadosamente seleccionados para llevar a cabo el aprendizaje, motivando a los estudiantes al desarrollo de ciertos objetivos educativos. La WebQuest ha sido valorada como una herramienta de utilidad para integrar la tecnología en el aula, que contribuye a preparar a los estudiantes para una vida exitosa, en la medida que los expone a contenidos auténticos y los involucra en actividades de colaboración que desarrollan el pensamiento crítico y la creatividad (Salic-Hairulla et al., 2019).

Además, esta herramienta se seleccionó considerando su utilidad metodológica para centrar al estudiante en la utilización y aplicación de la información (Serrano-Aroca et al., 2019), vincular los conocimientos teóricos con los casos clínicos de enfermería (Barquilla, s. f.), desarrollar argumentos de nivel avanzado (Awada & Burston, 2019), cultivar la mentalidad exploratoria y de resolución de problemas (Karimi & Armat, 2013), favorecer habilidades para el pensamiento crítico y orientar el desarrollo de niveles superiores del pensamiento, en un ambiente de aprendizaje activo, colaborativo y autónomo (Salic-Hairulla et al., 2019).

En ese sentido, se implementó esta estrategia para fomentar la colaboración, el trabajo en equipo, la solución de problemas y el pensamiento analítico-reflexivo en el contexto y desarrollo de la Enfermería profesional. De igual manera, para fortalecer la competencia transversal en el manejo de las TIC's, tan demandada actualmente para estimular la implementación de soluciones digitales a los problemas de salud, con eficacia e innovación (Montero Delgado et al., 2019). Además, estos rasgos forman parte de las habilidades y aptitudes del perfil de egreso que han sido definidos en el diseño curricular de la carrera de Enfermería, los cuales deben ser construidos progresivamente por los estudiantes a lo largo de su formación profesional.

Con las intencionalidades pedagógicas antes descritas, se planificó una tarea de simulación en la cual, los estudiantes asumían roles de coordinador y de enfermeros de

atención directa de un servicio hospitalario. Como base de apoyo cognitiva, se aseguró la curación de contenidos específicos para las situaciones seleccionadas, procurando formatos diversos, desafiantes y atractivos que sirvieran de motivación a los estudiantes. Este diseño fue similar al implementado en una investigación anterior, en la cual se utilizó la WebQuest para situar a los enfermeros en el contexto de la asistencia profesional de un establecimiento clínico, reproduciendo situaciones equivalentes a las vivenciadas en el ámbito real de la profesión (Omitto et al., 2015).

La docente asumió la responsabilidad de mediadora de la experiencia y se encargó de promover que las actividades realizadas, ubicaran a los estudiantes en el centro del proceso didáctico, propiciando la inserción de la tecnología como estrategia de cooperación en línea (Czerwinski & Cogo, 2018). Esta condición es necesaria para ayudar a los estudiantes en el trabajo investigativo, la construcción de aprendizajes, la contextualización y la resignificación de los conocimientos (Pereira et al., 2010).

Para el caso específico de la investigación se conformaron equipos colaborativos que recibieron instrucciones de analizar situaciones hipotéticas, en contrastación con la teoría, simulando el abordaje complejo de eventos que ocurren cotidianamente en los servicios de salud. El producto de estos análisis debía ser redactado y entregado como tarea escrita, procurando reforzar, no solo la habilidad para el trabajo en equipo, sino el desarrollo de procesos analíticos, de síntesis y de lectoescritura en los estudiantes. recibieron la misma instrucción de escritura argumentativa (Awada & Burston, 2019)

La WebQuest se incrustó en dos aulas virtuales alojadas en el entorno Moodle versión 3.5 de la PUCE. Para ello se utilizó la web ZUNAL.COM, basada en un software de acceso libre que permite la interacción de los docentes y estudiantes, y de estos últimos con los contenidos. Con la planificación de la didáctica y el acceso a la herramienta en el ambiente virtual de la universidad, se completaron todas las condiciones necesarias para esta experiencia de innovación educativa dentro de la Facultad.

Desde esta perspectiva, el objetivo del presente estudio fue evaluar la estrategia de aprendizaje WebQuest empleada en el abordaje de la temática del Marco Legal y Normativo de la educación y el ejercicio profesional de enfermería a nivel nacional.

2. Metodología

El estudio se realizó mediante un diseño mixto, utilizando dos fuentes de verificación para la obtención de la evidencia: 1) Cuestionario para evaluar satisfacción del estudiante con la estrategia WebQuest y 2) Grupo Focal de discusión. La combinación de estos enfoques de investigación fue concebida como una posibilidad de contrastar los resultados obtenidos en ambas perspectivas y aprovechar al máximo la evaluación de la estrategia.

La investigación se realizó durante el periodo académico 2018-01, en la carrera de enfermería-Facultad de Enfermería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Los participantes fueron estudiantes del primer nivel de la carrera que cursaron una de las asignaturas que conforman el componente de formación profesional. El total de estudiantes para este nivel fue de $n=51$, de los cuales participaron $n=47$ estudiantes. El llamado a participar en el estudio fue voluntario, anónimo y de carácter libre, cumpliendo con los principios éticos establecidos en las normativas del Ecuador.

Para la obtención de los datos en la fase cuantitativa se utilizó un cuestionario diseñado en una investigación previa usado para la administración de recursos materiales en enfermería por alumnos de un curso de graduación (Pereira et al., 2010). Este cuestionario contiene seis (06) preguntas referidas a: utilidad de las informaciones para desarrollar la propuesta, claridad, presentación estética de la WebQuest, pertinencia de los recursos de información en relación al tema estudiado, información confiable, así como, coherencia entre lo consultado y lo previamente conocido sobre el asunto.

El instrumento está estructurado con una escala de Likert que contiene 4 opciones de respuesta. La medición y clasificación de las respuestas se realizó de acuerdo con el siguiente puntaje: Insatisfactorio: 1-6 puntos, Razonable: 7-12 puntos, Satisfactorio: 13-18 puntos y Excelente: 19-24 puntos. La encuesta fue auto-administrada utilizando la vía electrónica como soporte para la aplicación. El tipo de análisis utilizado en la fase cuantitativa fue la estadística descriptiva.

Para la fase cualitativa se diseñaron preguntas semi-estructuradas que buscaron profundizar en la percepción de los estudiantes, tomando como base la encuesta previamente aplicada. La técnica de recolección de la información fue el grupo focal de discusión, para lo cual se definieron 9 grupos, 8 de éstos conformados por 5 participantes y uno con 7.

El tiempo de discusión aproximado con cada grupo fue de 45 minutos. Para la interpretación de los datos se utilizó el método de análisis de contenido cualitativo (Mayring, 2014). De esa manera, a partir de los comentarios escritos realizados por los estudiantes, se recopilaban las percepciones, experiencias y sugerencias de mejora para la implementación de la WebQuest, perspectiva la cual, dio origen al desarrollo de categorías analíticas inductivas.

En la discusión se expone la fase mixta donde surgen los temas emergentes, que fueron comunes para ambas fases en la evaluación.

3. Resultados

En cuanto a las características de la población, se observó que los participantes presentaron un rango de edad entre 17-26 años, la μ : 20,17 años $\pm$ 1.99; la distribución por sexo de los participantes fue la siguiente $n=11/47$ (23%) masculinos y $n=36/47$ (77%) femeninas. El estado civil reportado en el $n=47/100\%$ de los participantes eran solteros.

La primera fuente de verificación consistió en la aplicación de un cuestionario que evaluó la satisfacción de los estudiantes con la estrategia de aprendizaje WebQuest. Las respuestas a cada elemento fueron sumadas con la finalidad de obtener una puntuación total que proporcionó información sobre el posicionamiento del estudiante frente a la estrategia.

En este sentido, la proporción de las respuestas obtenidas mostró tendencia favorable hacia la estrategia, ya que $n=35/47$ es decir el (74%) de las respuestas oscilaron entre 19-24 puntos, calificándola como excelente. Asimismo, las respuestas que oscilaron entre 13-18 puntos calificaron globalmente la estrategia como satisfactoria $n=12/47$ (26%).

Adicionalmente, se presenta un análisis por separado de los ítems que señalaron más de 4 respuestas con una calificación razonable 2 puntos, debido a que estas

respuestas fueron consideradas como una posibilidad para optimizar ciertas áreas de la estrategia.

Pregunta: Presentación estética atrayente y utilización del recurso de forma eficaz para la transmisión del contenido.

Ítems	Frecuencia	Porcentaje
<i>Insatisfactorio</i>	0	0,00%
<i>Razonable</i>	4	8,51%
<i>Satisfactorio</i>	13	27,66%
<i>Excelente</i>	30	63,83%
Total	47	100,00%

Tabla 1 – Estética y utilización del recurso.

En la segunda fuente de verificación, se conformaron 10 grupos focales. Las preguntas que orientaron la discusión exploraron la experiencia del grupo en relación a las lecturas relacionadas con los marcos normativos, la utilización del contenido para resolver las tareas, las implicaciones de esta estrategia en la obtención del conocimiento y las recomendaciones para mejorar la estética de la página web o la estrategia de enseñanza-aprendizaje.

Las respuestas obtenidas en la discusión de los grupos mostraron tres categorías de análisis. En primer lugar, experiencia del grupo, la cual describe la manera como fue percibido el conocimiento de las normativas vigentes en el Ecuador para la educación y el ejercicio de la enfermería y su aplicación a través de la simulación de un rol que asumirán al convertirse en profesionales. A continuación, se presentan los extractos de las narraciones:

“La actividad fue constructiva porque a pesar de no tener ninguna experiencia nos permitió conocer la responsabilidad que debemos asumir en el ámbito profesional, es importante conocer las leyes que nos rigen en educación y la práctica debido a que en nuestras manos estará la vida de las personas pero la interacción del docente y el estudiante para entender las lecturas es de suma importancia” (GF-11: 1).

“Fue positiva ya que nos permitió conocer la responsabilidad que debemos asumir en el ámbito profesional debido a que en nuestras manos está la vida de las personas” (GF-11: 4)

“La experiencia que adquirimos al trabajar en grupo con el material de lectura fue interesante porque adquirimos nuevos conocimientos los cuales idealizamos en nuestra mente tratando de buscar como actuaríamos en esa situación” (GF-11:5)

“A pesar de que el estudiante sea nuevo en el ámbito de la salud y no tener ninguna experiencia con la carrera, es bueno familiarizarlo con la forma de trabajo ya sean con casos y ejemplos para dar solución” (GF-12: 3).

“La experiencia de haber trabajado con este material fue el de poder conocer más de cerca el ámbito práctico y su relación con las normas a nivel del país, es una forma de conocer los derechos y deberes que tenemos primeramente como estudiantes y próximamente como enfermeras o enfermeros” (GF-12: 5).

La siguiente tendencia del discurso remarca la necesidad de un mayor acompañamiento por parte del docente para apoyar la comprensión de la temática a lo largo del proceso. Esta categoría de análisis fue denominada: Actuación del docente. A continuación, los extractos de las narraciones:

“Colaboración del docente para ayudar en la organización de la tarea grupal y la buena comunicación en el grupo” (GF-11: 2).

“Más colaboración entre el estudiante y el docente para entender más rápido” (GF-11: 5).

“Pienso que faltó el tiempo para orientar más al grupo, eso no permitió que aprovecháramos más esta herramienta, al principio no fue tan clara y tuvimos confusiones” (GF-12: 2).

“Fue difícil realizar los deberes imaginando estar en un rol que todavía que no se conoce se puede mejorar explicando con más ejemplos que se quiere lograr con la WebQuest” (GF-12: 5).

Finalmente, la tercera categoría de análisis, denominada: mejoras, agrupa las recomendaciones proporcionadas por los estudiantes para aprovechar la utilización de la estrategia,

“Utilizar más ejemplos hechos a partir de la materia porque la experiencia ayuda a entender mejor las definiciones o el tema” (GF-11: 3).

“Que los textos no sean tan extensos y que las instrucciones sean dadas a través de ejemplos para que los estudiantes tengan mejor comprensión” (GF-12: 4).

“Investigar otras fuentes y hacer una introducción más profunda del tema antes aplicar la estrategia” (GF-11: 1).

3.1. Discusión

El presente estudio evaluó la estrategia de enseñanza-aprendizaje WebQuest en el abordaje de la temática relacionada con el marco normativo para la educación y el ejercicio de la enfermería en el Ecuador. De acuerdo a los métodos de investigación utilizados se pudo comprobar que no existen grandes diferencias en relación a las respuestas de satisfacción obtenidas de los cuestionarios auto-administrados y las respuestas proporcionadas en los grupos focales. Dentro de los aspectos resaltantes el 74% de las respuestas calificaron la como excelente y el 26% como satisfactoria, en los resultados cualitativos se observó una valoración positiva en lo que corresponde a la resolución de situaciones hipotéticas, proyectándose con el cumplimiento del rol como profesionales y el reconocimiento del valor que posee el trabajo en equipo.

Estos resultados se corresponden con los obtenidos en otros estudios donde se demostró el impacto de la WebQuest en el desarrollo de la capacidad de resolución de problemas

(Karimi & Armat, 2013). Específicamente, en carreras relacionadas con la enfermería y con las ciencias de la salud, en donde se encontró relación entre el aprendizaje activo del estudiante y el contenido estudiado (Jahromi & Mosalanejad, 2015).

En general los estudiantes describieron la herramienta como una estrategia constructiva, interesante y útil para visualizar, imaginar y proponer soluciones ante problemas de la práctica profesional. Se considera que la WebQuest tuvo aceptación y sirvió para el conocimiento anticipado de los estudiantes sobre sus futuras responsabilidades laborales, desde una visión casi real, invitándoles a buscar alternativas de atención y solución, de manera colaborativa en el marco de la ética y la deontología profesional. Esto coincide con resultados de investigaciones previas, donde la estrategia interactiva facilitó el desarrollo de sus habilidades de colaboración y creatividad (Salic-Hairulla et al., 2019).

Otro resultado de la fase cualitativa es que la estrategia les permitió familiarizarse con casos que exigieron dar solución a los problemas, a pesar de no tener ningún tipo de experiencia previa dentro del campo de la Enfermería y la salud. Esto guarda relación con investigaciones previas donde se discute que la WebQuest se presenta como un medio que brinda a los estudiantes la oportunidad de explorar, analizar, y sintetizar conceptos y temáticas, utilizando el pensamiento crítico, individual y colaborativamente para resolver problemas (Leibold, y Schwarz, 2014). De igual forma, en otro estudio previo los estudiantes opinaron que la WebQuest les había ayudado a desarrollar habilidades para resolver problemas de la vida real, resaltando la exploración e integración de habilidades para expandir y refinar sus conocimientos (Karimi & Armat, 2013).

Sería útil para futuras implementaciones que la mediación docente sea ajustada, dado las sugerencias de los estudiantes demandaron mayor claridad en las orientaciones, el uso de ejemplos y el acompañamiento más cercano durante la realización de las tareas. Se entiende que las situaciones utilizadas, aunque sirvieron para ayudar a los estudiantes a visualizarse como actores reales, posiblemente implicaron un abordaje complejo para ellos, que aún no han tenido prácticas clínicas en los establecimientos de salud. Esto implica pensar en la optimización de la didáctica para movilizar al alumno desde una propuesta significativa que lo comprometa con las distintas tareas en favor de su aprendizaje (Bohl et al., 2019). Asimismo, ajustar las nuevas propuestas de experiencias de innovación educativa, identificando los aspectos a considerar en relación con la gestión de la información, la transferencia de conocimiento y la curación de contenidos (Bennasar et al., 2018) que se requieren para garantizar la efectividad de la instrucción.

Dentro de las ventajas del estudio realizado, está el poder obtener una valoración sobre efectividad de la estrategia, pero igualmente ha sido ventajoso conocer las sugerencias de los estudiantes para realizar las mejoras en futuras implementaciones. En este particular destacan: la revisión de los aspectos estéticos de la WebQuest, evaluar las fuentes documentales y desarrollar la suficiente sensibilidad para acompañar a los estudiantes como grupo. En ese sentido, el docente deberá tener en cuenta el funcionamiento del grupo, la forma de afrontar las responsabilidades a su interior y ser apoyo en el proceso de reconocer cómo la convivencia y el trabajo grupal se convierten en un entrenamiento para lograr equipos que manejen las relaciones interpersonales de forma saludable.

Las lecturas disponibles en la WebQuest estuvieron relacionadas con la revisión del marco normativo vigente en el Ecuador para la educación y el ejercicio profesional de la

enfermería: Ley Orgánica de Salud (LOS); Ley Orgánica de Educación Superior (LOES); Ley de ejercicio profesional de las enfermeras y enfermeros del Ecuador; y la Política nacional de educación de enfermería 2012 – 2021 – ASEDEFE.

Son lecturas con contenido denso, lo cual supone que es pertinente aceptar el requerimiento de los estudiantes en relación a que exista un mayor acompañamiento por parte del docente. Además, mejorar la utilización de estrategias supletorias para facilitar el proceso relacionado con la comprensión tanto de las instrucciones como de los textos literarios. La búsqueda en las bases de datos seleccionadas para documentar y contrastar los hallazgos, no arrojaron resultados de investigaciones análogas en el Ecuador siendo una limitante para los procesos de contextualización.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la encuesta y los grupos focales mostraron una evaluación positiva del aprendizaje, la experiencia y la estrategia empleada. Es indudable que los estudiantes en el campo de las ciencias de la salud deben tener la preparación necesaria para enfrentar los desafíos profesionales que demanda el autoaprendizaje en la era digital, esto implica una actuación independiente en la que destacan habilidades de organización, autodisciplina, autoevaluación y autorreflexión.

Dado lo antes planteado, se considera que la evaluación de esta estrategia de enseñanza-aprendizaje estimuló en el grupo estudiado las habilidades mencionadas. La estrategia WebQuest facilitó la organización de los propios estudiantes para la demostración del entendimiento, el aporte individual y la subsecuente construcción del aprendizaje en colaboración. El ejercicio de la autoevaluación y autorreflexión surge con la invitación realizada por el grupo de docentes para conocer la percepción de los estudiantes luego de la experiencia de aprendizaje.

En tal sentido, los aportes subjetivos derivados de la discusión en los grupos focales, aportaron una riqueza significativa que suscitó la participación de los estudiantes frente a la propia comprensión de los contenidos teóricos. La incorporación de la WebQuest como estrategia de enseñanza-aprendizaje en el grupo de estudiantes, fue favorable para incentivar el desarrollo de habilidades superiores del pensamiento, con el abordaje y resolución de problemas desde un enfoque constructivista, colaborativo y social.

El uso de métodos didácticos que incluyan el trabajo en red, la simulación de situaciones del contexto laboral y la resolución de tareas creativas, mostraron su utilidad en el grupo analizado para fortalecer las habilidades cognitivas individuales y las competencias colaborativas. Por lo tanto, es relevante para la enfermería la realización de futuras investigaciones en las que se sometan a prueba propuestas didácticas innovadoras con utilización colaborativa de contenidos y el desarrollo progresivo de competencias para el uso de las herramientas de la Web.

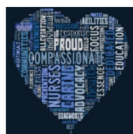
5. Anexo

UNIDAD III REFERENCIAS NORMATIVAS

Resultado de aprendizaje: Especifica los principales marcos normativos que regulan la educación y el ejercicio profesional en el país.

Contenido: Marco legal y Normativo de la profesión de enfermería en la educación y práctica profesional.

Estrategia: WebQuest diseñada y disponible en: <http://zunal.com/webquest.php?w=379968>



Referencias Normativas En El ámbito Nacional (ecuador)

Esta WebQuest está diseñada para ayudarlos a familiarizarse con el Marco legal y Normativo de la profesión de enfermería en la educación y práctica a nivel nacional. El objetivo es trabajar en cooperación con

Subject: Health / PE | **Grade:** College / Adult

Author(s): Venus Medina Maldonado

Views: 3,371 | **Favorited:** 0 | **Reviews:** ☆☆☆☆☆ (0)

Público objetivo: Estudiantes del primer nivel de la carrera de enfermería.

Modulo	Actividad específica	Alcance
Bienvenida	Describe el objetivo de la actividad en la página inicial, el nivel del público que utilizará la estrategia, materia, palabras claves y el autor de la página.	Clarifica el enfoque de la participación, describe los conocimientos y habilidades que los estudiantes adquieren al finalizar.
Escenario	Cada grupo debe imaginarse en una situación donde ya son profesionales de la enfermería, ocupando un cargo administrativo dentro de una institución de salud y dentro de las funciones se encuentra la selección del personal de enfermería.	Demostración sobre el dominio de las disposiciones legales sobre educación y práctica profesional del Ecuador para ejercer la enfermería dentro de las instituciones de salud.
Tareas	Realizar una presentación en PowerPoint sobre la importancia que tiene la regulación de la educación y el ejercicio de la profesión de enfermería. En base a las normativas vigentes en el Ecuador escribir una lista de max. 07 tips que debes tener en cuenta sobre la formación de la persona que opta por un trabajo en tu Institución. En base a las normativas vigentes en el Ecuador escribir una lista de max. 07 tips que debes tener en cuenta para permitir el ejercicio de la enfermería a una persona que opta por un trabajo en tu Institución. Realizar un cuadro sinóptico en el que se planteen 1) las ventajas que conlleva la aplicación de las normativas vigentes en el Ecuador relacionadas con la formación y el ejercicio de la Enfermería. 2) las desventajas al no tomarlas en cuenta. Elaborar un collage utilizando fotos o imágenes de los múltiples recursos normativos y las Instituciones que se relacionan con ellas.	Fase 1: Navegar por las distintas secciones de la página web para descubrir la información que necesitarán al realizar el deber. Lectura grupal de los materiales recomendados, asignación de roles para aportaciones individuales y construcción final, en grupo, del análisis. Fase 2: Demostración del trabajo intelectual y creativo. Luego de revisar la información necesitarán transformarla en productos. Aquí es donde se juega con la memoria, las nuevas ideas, las experiencias que ya conocen y se toman decisiones para presentar los deberes. En la Fase 3: Preparación para la presentación de los resultados.

Productos	Exposición de resultados por parte de cada grupo de estudiantes. Clase dialogada para el reforzamiento de los contenidos.	Análisis sobre la aplicabilidad del marco normativo vigente en el Ecuador para la educación y la práctica profesional de la enfermería.
Evaluación	Cada grupo presentará sus productos y se discutirá en clase los resultados obtenidos utilización de rubrica de evaluación parámetros considerados para evaluar la calidad del producto final.	Demostración de habilidades mediante redacción coherente, presentación de los elementos claves de la lectura, aportes adicionales.
Recursos: Corresponde a los materiales de lectura disponibles en la web. • Regulaciones para la enfermería en América Latina. • Políticas de Educación en Enfermería en el Ecuador. • Ley Orgánica de Educación Superior (Ecuador). • Ley Orgánica de Salud (Ecuador). • Ley de ejercicio profesional de las enfermeras y enfermeros del Ecuador.		

Referencias

- Barquilla, M. P. C. (s. f.). Aplicación de la WebQuest en la enseñanza universitaria del Área de Ciencias de la Salud. 11.
- Bennasar, F. N., Juarros, V. M., & Garcías, A. P. (2018). Content curation as a requirement for 21st century's teacher training: Analysis of didactic strategies for its acquisition. *Profesorado*, 22(1), 277-300. Scopus.
- Bohl, V., Sánchez, R., & Díaz, F. R. (2019). El paradigma hipermedial en el desarrollo de proyectos educativos basados en entornos de colaboración. *DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia*, 37. <https://raco.cat/index.php/DIM/article/view/357061>
- Czerwinski, G. P. V., & Cogo, A. L. P. (2018). Webquest e blog como estratégias educativas em saúde escolar. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, 39(0). <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2018.2017-0054>
- Ghada Awada, Jack Burston, R. G. (2019). Efecto de la división de logros del equipo de estudiantes a través de WebQuest en las habilidades de escritura argumentativa de los estudiantes de EFL y las percepciones de sus instructores, aprendizaje de idiomas asistido por computadora. *Aprendizaje de lenguaje asistido por computadora*. <https://doi.org/10.1080/09588221.2018.1558254>
- Jahromi, Z. B., & Mosalanejad, L. (2015). Integrated Method of Teaching in Web Quest Activity and Its Impact on Undergraduate Students' Cognition and Learning Behaviors: A Future Trend in Medical Education. *Global Journal of Health Science*, 7(4), 249-259. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v7n4p249>
- Karimi, H., & Armat, M. R. (2013). Using WebQuest in Medical Education. *Iranian Journal of Medical Education*, 13(5), 353-363. <http://ijme.mui.ac.ir/article-1-2517-en.html>
- Leibold, N., y Schwarz, L. (2014). WebQuests in Family Nursing Education: The Learner's Perspective. *Revista Internacional de Enfermería*, 1(1), 39-50. https://www.researchgate.net/publication/281277108_WebQuests_in_Family_Nursing_Education_the_Learner's_Perspective

- Mayring, P. (2014). Qualitative content analysis: Theoretical foundation, basic procedures and software solution.
- Miranda Realpe, J., Patiño Hernández, L., & Arcos Ponce, D. (2018). Herramientas didácticas Web 2.0 utilizando WebQuest aplicativo en aulas virtuales. *SATHIRI*, 3, 166. <https://doi.org/10.32645/13906925.227>
- Montero Delgado, J. A., Merino Alonso, F. J., Monte Boquet, E., Ávila de Tomás, J. F., & Cepeda Díez, J. M. (2019). Competencias digitales clave de los profesionales sanitarios. *Educación Médica*. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2019.02.010>
- Omitto, R., Pinheiro, N., Azevedo, T., Araújo, W., Dos Santos, L., Parro, M., & De Haro, A. (2015). Ambiente Virtual de Aprendizagem: Uma proposta de educação continuada para enfermeiros de serviços de saúde ocupacional hospitalar. 9(1), 44-50. <http://fundacaopadrealbino.org.br/facfi/ner/pdf/Revistacuidarteenfermagem%20v.%209%20n.1%20%20jan.%20jun%202015.pdf>
- Pereira, M. C. A., Melo, M. da C., Silva, B. e, & Évora, Y. D. M. (2010). Evaluation of a Webquest on the Theme «Management of Material Resources in Nursing» by Undergraduate Students. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 18(6), 1107-1114. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692010000600010>
- PUCE. (2017). Modelo educativo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://www.puce.edu.ec/intranet/documentos/Reglamentos/PUCE-Modelo-Educativo-06-03-2017.pdf>
- Rocu Gómez, P., Blández Ángel, J., & Sierra Zamorano, M. Á. (2019). Construyendo aprendizajes en Expresión Corporal a través de WebQuest: Un estudio de caso múltiple. *Revista Complutense de Educación*, 30(4), 1013-1029. <https://doi.org/10.5209/rced.59905>
- Salic-Hairulla, M. A., Agad, L. M. L., Pitonang, D. J. A., Terrado, T. F., & Yuenyong, C. (2019). Implementation of Webquest in teaching Circulatory System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1340, 012061. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1340/1/012061>
- Serrano-Aroca, Á., Frígols, B., Martí, M., Ingresa-Capaccioni, S., & Moreno-Manzano, V. (2019, agosto 1). Prácticas de laboratorio interdisciplinares de alto nivel científico con alumnos de diferentes grados universitarios guiados por WebQuest AICLE. *Libro de Actas IN-RED 2019: V Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. IN-RED 2019: V Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red. <https://doi.org/10.4995/INRED2019.2019.10365>

Diseño y desarrollo de un videojuego Educativo mediante una metodología ágil, como herramienta orientada a niños de 7 a 11 años para la prevención de la enfermedad de Chagas

Diana Mantilla¹, Francisco Rodríguez¹, Anita G. Villacís^{2*}

dianacmantilla96@gmail.com; frodriguez@puce.edu.ec; agvillacis@puce.edu.ec

¹ Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

² Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISeAL), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Pages: 338–350

Resumen: La Enfermedad de Chagas (ECh) es causada por *Trypanosoma cruzi* y transmitida por insectos Triatomíneos. La ausencia de tratamientos y de vacunas eficaces hace de esta enfermedad no solo un problema médico, sino también educativo, social y psicológico. La educación aparece como un eje importante de investigación para la prevención de esta enfermedad. Por este motivo, se plantea diseñar y desarrollar un videojuego principalmente para niños como herramienta educativa para concientizar sobre la ECh en las zonas vulnerables del Ecuador. Para diseñar el videojuego, nos enfocamos en los factores de riesgo de la ECh, y se plasmó en los lineamientos de *Game Document Design*, y para su desarrollo se basó en la metodología ágil Scrum, estructurada en sprints; y el motor de videojuegos Unity. Se aplicó la Heurística de Nielsen para realizar las pruebas de usabilidad en niños de 7 a 11 años. Finalmente, el videojuego está listo para ser utilizado y emitir el mensaje de prevención contra la ECh en las comunidades rurales de Manabí, Ecuador.

Palabras clave: videojuego; prevención; enfermedad de Chagas; Scrum; Unity.

Design and development of an Educational videogame through an Agile Methodology, as a tool for children from 7 to 11 years for the prevention of Chagas disease

Abstract: Chagas disease (CD) is caused by *Trypanosoma cruzi* and transmitted by the feces of Triatomine insects. The absence of treatments and effective vaccines makes this disease not only a medical problem, but also an educational, social and psychological problem. Education appears as an important axis of research for the prevention of this disease. For this reason, we proposed the design and development of a videogame for children, as an educational tool to raise awareness about CD in vulnerable areas of Ecuador. The videogame design was focused on the risk factors of the CD, and under the guidelines of a *Game Document Design*, and its development was based on the agile Scrum methodology, that was structured in

sprints; and the Unity videogame engine. Nielsen heuristics was applied to perform usability tests on children from 7 to 11 years old. Finally, the video game is ready to be used and broadcast the message for CD prevention in the rural communities of Manabí, Ecuador.

Keywords: videogame; prevention; Chagas disease; Scrum; Unity.

1. Introducción

1.1. La enfermedad de Chagas y sus generalidades

La Enfermedad de Chagas (ECh) fue descrita en 1909 (Moncayo & Silveira, 2009) y es conocida también como Tripanosomiasis Americana, ya que su transmisión vectorial es exclusiva del continente Americano. Es una enfermedad parasitaria, causada por el protozooario hemoflagelado, *Trypanosoma cruzi* (WHO, 2015). Se transmite a humanos y otros mamíferos (hospederos-reservorios), principalmente, a través de la deyección de insectos hematófagos (vectores). Estos insectos pertenecen a la familia Reduviidae, subfamilia Triatominae (Coura & Borges-Pereira, 2012) conocidos en Ecuador como “chinchorros” o “chinchas”. Se ha reportado alrededor de 152 especies de estos vectores (Justi & Galvao, 2017) y se distribuyen desde el sur de Estados Unidos hasta el sur de Argentina (Moncayo & Silveira, 2009). Según Villacís, Ocaña-Mayorga, Lascano, Yumiseva, Baus & Grijalva (2015) y Villacís, Marcet, Yumiseva, Dorson, Tibayrenc, Breniere & Grijalva (2017) en el Ecuador, se han reportado 16 especies de triatomos que se distribuyen en 18 de las 24 provincias.

Se estima al menos 8 millones de personas infectadas y 28 millones en riesgo en el continente americano (WHO, 2018). En el Ecuador, no hay datos certeros del número de pacientes infectados. Según Dumonteil, Herrera, Martini, Grijalva, Guevara, Costales, Aguilar, Breniere & Waleckx (2016) se estima una seroprevalencia de 1,38%; siendo la Costa y la Amazonía las que presentan tasas más altas (1,99% y 1,75%, respectivamente). Manabí se considera como una provincia de alto riesgo en base a evaluaciones de seroprevalencias y de presencia de triatomos en domicilios (Grijalva, Villacís, Moncayo, Ocaña-Mayorga, Yumiseva & Baus, 2017). Además de, la ausencia de tratamientos satisfactorios con medicamentos eficientes, mayormente en casos crónicos de la enfermedad, permite la ocurrencia frecuente de efectos adversos (Grijalva, Villacís, Ocaña-Mayorga, Yumiseva & Baus, 2011).

A pesar de los esfuerzos de control y detección por parte del MSP, ésta enfermedad sigue siendo un problema de salud, debido a varios factores: i) la falta de diagnóstico, ii) la ausencia de tratamiento y/o vacuna, iii) la presencia de vectores, con alta tasa de infección con *T. cruzi*, iv) la baja eficiencia de las campañas de rociamiento con insecticida en las viviendas rurales, porque no permiten eliminar especies que visitan las viviendas desde el ambiente silvestre, v) la falta de control de la transmisión vertical de la madre a su recién nacido, vi) la falta de conocimiento de la enfermedad por las poblaciones en riesgo y también el personal de salud. El Centro de Investigación para la Salud en América Latina (CISeAL) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) ha desarrollado proyectos con comunidades rurales en las diferentes provincias del país, enfocados en aspectos entomológicos (Grijalva, Villacís, Ocaña-Mayorga, Yumiseva & Baus, 2011; Grijalva, Villacís, Ocaña-Mayorga, Yumiseva, Moncayo, Baus, 2015; Villacís,

Grijalva & Catalá, 2010; Villacís, Marcet, Yumiseva, Dorson, Tibayrenc, Breniere & Grijalva, 2017), epidemiológicos (Grijalva, Chiriboga, Vanhassel & Arcos-Terán, 2005) y de mejoramiento de vivienda (Nieto-Sánchez, Baus, Guerrero & Grijalva, 2015). Estos estudios han permitido conocer varios aspectos sobre la biología de la enfermedad. Sin embargo, datos sobre la transmisión (incidencia y prevalencia de la enfermedad) son escasos. La frecuencia de incursión de vectores en los domicilios, y el impacto de acciones educativas en adultos y escolares son desconocidos. Por esta razón, la prevención de la enfermedad de Chagas debe ser enfocada desde una perspectiva educativa.

En el campo de la prevención, la información sobre la biología de una enfermedad es un pilar importante para el desarrollo de una campaña efectiva de educación. El objetivo de dicha campaña es impulsar la implementación de acciones de control y prevención de la ECh en la provincia de Manabí. Esto se logrará a través de la participación de investigadores de varias disciplinas (biólogos, educadores, ingeniero de sistemas), así como, la participación de los miembros de las comunidades, principalmente en la concientización sobre esta enfermedad buscando un profundo interés por mejorar la calidad de vida.

1.2. Videojuegos

Educar para la prevención a niños y adultos es muy importante. Sin embargo, los niños están abiertos a todo tipo de cambio, y absorben la información de manera rápida. Por esto, ellos pueden ser los portavoces de diferentes temas, y qué mejor involucrarles en el área de salud. Lo fundamental, es saber cómo captar su atención dado que suelen distraerse con facilidad cuando se tratan de temas que no captan su interés por falta de dinámica en el proceso. Una manera de atraer su atención, es transmitirles información de forma entretenida mientras juegan. En la actualidad, los videojuegos son una de las mejores herramientas educativas puesto que ayudan a desarrollar diferentes habilidades, fomentan el aprendizaje autónomo y eficaz, y refuerzan conocimientos, mientras los niños se divierten en el transcurso del proceso de aprendizaje.

Los juegos han formado parte de todas las culturas alrededor del mundo a través de los años, y han pertenecido a la vida de las personas desde sus inicios. Igualmente, hoy en día los videojuegos en todas sus formas, son una expresión nueva de la interacción social y se han vuelto parte fundamental de la vida de ciertas personas (Fullerton, Swain & Hoffman, 2004).

Los videojuegos pueden definirse como un juego que existe y funciona a través de elementos audiovisuales que se basan en una historia (Esposito, 2005). O como lo describe Lacasa (2011), son juegos que introducen al usuario en un mundo irreal y virtual de manera, que disfrutamos de dicho mundo. A partir de este contraste entre ambas definiciones, podemos asignar las características de un juego a través de distintas herramientas digitales a un videojuego; y, por tanto, se vuelven sinónimos.

Los videojuegos son un sistema de software en tiempo real; es decir, son aplicaciones con naturaleza crítica y dependientes en cuanto al tiempo. También se los define como aplicaciones cuya obtención y respuesta de datos debe realizarse en un tiempo limitado. Las aplicaciones en tiempo real manejan 3 tareas que se ejecutan simultáneamente. En primer lugar, el mundo y su estado actual que debe estar en constante actualización.

En segundo lugar, el usuario debe poder interactuar con el juego. Y tercero, se genera el estado resultante de dicha interacción (Sanchez-Crespo & Dalmau, 2004).

1.3. Metodologías ágiles y tecnologías

La característica realmente nueva que aportan las metodologías ágiles es reconocer a las personas como el principal valor para que un proyecto consiga terminarse en forma correcta (Trigás & Domingo, 2012), y se diferencia con las metodologías tradicionales o clásicas ya que el entorno presenta una cierta incertidumbre o es cambiante. Entonces, las metodologías ágiles surgen en el mundo de desarrollo de software, debido a la demanda de un desarrollo que se adapte a los cambios durante su proceso. Es decir, un proyecto que entregue resultados de forma rápida, que responda a cambios de manera oportuna y con frecuencia (Paulk, 2002). El desarrollo de una metodología ágil se centra en la interacción, comunicación y reducción de elementos intermedios (Trigás & Domingo, 2012). Scrum es una metodología ágil utilizada constantemente en el desarrollo de proyectos de todo tipo por su gran flexibilidad ante cambios o modificaciones. Schwaber y Sutherland (2017) definen Scrum como un marco de referencia dentro del cual, las personas pueden abordar problemas complejos al tiempo que generan productos de manera productiva y creativa con el mayor valor posible.

La metodología Scrum presenta algunas ventajas: i) gran capacidad de respuesta, lo que provoca que el producto sea mejor y satisfaga al cliente, ii) Las entregas no se las realiza al finalizar, sino que se realizan de manera paulatina, para ir mejorando durante el desarrollo, de esta manera es más sencillo realizar cualquier modificación, iii) los ciclos cortos de entrega ayudarán a disminuir los riesgos, iv) fomenta el trabajo colaborativo (entre el cliente y los desarrolladores), mediante la comunicación y documentación, esto promueve que todo el equipo participe en todas las fases, v) busca la mejor herramienta y el mejor diseño para conseguir productos de calidad; finalmente, vi) mejora los procesos y enriquece profesionalmente al equipo que realiza el desarrollo, impulsando a una evaluación y/o retrospectiva durante todo el proyecto (Trigás & Domingo, 2012).

Unity es un motor de videojuegos desarrollado por la empresa danesa Unity Technologies cuya primera versión fue lanzada en el año 2005 (Shekar & Karim, 2017). Este motor permite la creación no solo de videojuegos, sino de todo tipo de aplicaciones y animaciones en 2D y 3D, cada uno con sus propias funcionalidades y características (Unity Technologies, 2019). Este motor cuenta con: i) una interfaz gráfica que permite la gestión eficiente de los proyectos, la cual puede adaptarse según la preferencia del desarrollador, ii) herramientas dedicadas para proyectos 2D, 3D, y otras compartidas, lo que facilita su aprendizaje; y iii) componentes, que permite ser manejados, arrastrándolos y soltándolos según la necesidad. Para la programación, Unity soporta dos lenguajes de programación; C# y una variación de JavaScript llamada BOO (Shekar & Karim, 2017).

Incluye un sistema que crea automáticamente mallas de navegación a partir de la escena o los obstáculos; esto altera el movimiento de los personajes en tiempo de ejecución (Unity Technologies, 2019). Unity cuenta con una tienda llamada Asset Store, de la cual se puede descargar innumerables componentes para utilizar en las escenas de los videojuegos. O también permite cargar elementos externos, en cuanto sean modelos en 2D y 3D, sonidos, herramientas para manejar inteligencia artificial, la cámara,

el diseño del videojuego, entre otros tipos de contenido. Todo esto ayuda a complementar el desarrollo de los proyectos en Unity (Unity Technologies, 2019).

1.4. Prevención de enfermedades usando videojuegos

En el siguiente cuadro se describe algunos antecedentes en torno al uso de videojuegos para la prevención de enfermedades.

Proyecto	Características	Referencia
Tick Identification Memory Game. The University of Rhode Island, 2010	Desarrolla un listado de juegos casuales destinados a educación y prevención dirigido a niños y jóvenes sobre los problemas ocasionados por las garrapatas.	Yago, Mullen, Mather, & Hervé, 2010
Videojuego Pueblo Pitanga en la lucha contra el dengue en Costa Rica. Ministerio de salud de Costa Rica, 2013	Este videojuego se realizó en Costa Rica, ya que sufría una fuerte epidemia de dengue. Con este juego buscó fomentar la higiene, control y salud dentro de la sociedad y, a pesar que el videojuego se adapta a la realidad del país de Costa Rica, se diseñó para América Latina y se dio a conocer en Argentina, México, Colombia, Perú y Chile. Este juego digital se enfocó a niños entre 9 y 16 años.	Zamora, Galán-Rodas, Ramírez, Rodríguez-Morales, & Mayta-Tristán, 2015
Playing against dengue design and development of a serious game to help tackling dengue. Brasil, 2016	Es un juego digital diseñado para apoyar a las acciones y estrategias basadas en la prevención y la vigilancia epidemiológica del dengue. Esto tuvo como objetivo crear conciencia en jóvenes sobre la ecología del vector (<i>Aedes aegypti</i>) y la dinámica de transmisión de esta enfermedad.	Lima, Barbosa, Niquini, & Araújo, 2017
Zap-a-quito Agencia de Salud Pública del Caribe, 2016	Es un juego móvil diseñado para ayudar a educar a las personas, especialmente a los niños, en zonas vulnerables, donde existen lugares de reproducción del mosquito <i>Aedes aegypti</i> (insecto transmisor del dengue, chikungunya, zika y fiebre amarilla).	CARPHA, 2020
The Age of Dengue, Departamento de Tecnología de la Información y la Comunicación Gobierno de la República Popular de Bangladesh	Este juego, se basa en un entorno de este país y tiene como objetivo educar a niños sobre el efecto dañino de la enfermedad transmitida por el mosquito, cómo detener la cría del mosquito, cuáles son los remedios del dengue y otras enfermedades.	ICT, 2020

Tabla 1 – Proyectos que han usado videojuegos para la prevención de enfermedades.

Los ejemplos antes mencionados mantienen estrategias en común. Utilizan juegos casuales de fácil descarga, cuyo objetivo principal está enfocado a la prevención, dada la falta de conocimiento de los efectos y riesgos provocados por vectores- artrópodos.

Los videojuegos antes mencionados, al igual que el propuesto en este artículo, cumplen con ciertos requisitos que permite que sea atractivo para el usuario, cómo, por ejemplo: i) *Contexto*, es decir, que la historia del juego se desarrolla en un ambiente específico para el área de estudio y características propias del ecosistema y los elementos de su

propagación en de la zona. Sin embargo, pueden adaptarse ambientes equivalentes donde las condiciones de vida y estado de la enfermedad sean similares. ii) *Antecedentes*, el juego se desarrolla a partir de una situación de propagación de la enfermedad preocupante que se viva en las comunidades en ese momento. iii) *Usuarios/as*, el juego se orientó a niños y jóvenes de las comunidades o ciudades afectadas por la enfermedad, pues con esto, se busca que ellos sean los usuarios principalmente para lograr enseñarles sobre la enfermedad de estudio y distintas formas de prevención para mejorar el estado de salud de las comunidades. iv) *Elementos*, de la vida real y cotidiana que permite a los niños relacionarse con lo que pasa en el juego y sus personajes, además cuenta con elementos de ficción, que aportan a la diversión en el juego. Esto incrementa su nivel de aprendizaje y motivación. v) *Historia*, esto es importante para la motivación del juego y superación de los diferentes retos que se presentan, se inicia la historia con alguien cercano al protagonista, quien es afectado por la enfermedad, y vi) *Personaje principal*, al ser orientado a niños y jóvenes, ellos son los protagonistas en el juego y su desarrollo. El personaje principal en este caso es un niño que vive y se desarrolla en la comunidad protagonista.

2. Metodología del diseño

2.1. Diseño del videojuego

Este proyecto fue realizado gracias al financiamiento de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QINVO056). Para realizar el diseño del videojuego, primeramente, se obtuvo información de las comunidades rurales de la provincia de Manabí, Ecuador. Se observó los diferentes elementos (factores de riesgo) que favorecen la presencia de los insectos que transmiten la enfermedad de Chagas (chinchorros). Los lugares dentro de la vivienda (intradomicilio), por ejemplo: debajo de colchones, detrás de cuadros o calendarios (Grijalva, Villacís, Moncayo, Ocaña-Mayorga, Yumiseva & Baus, 2017). Fuera de la vivienda y sus alrededores (peridomicilio), como en acumulación de ladrillos, piedras, maderas y nidos de gallina (Villacís, Ocaña-Mayorga, Lascano, Yumiseva, Baus & Grijalva, 2015); Grijalva, Villacís, Moncayo, Ocaña-Mayorga, Yumiseva & Baus, 2017). Y un ambiente más alejado de las viviendas (más de 200 metros, área silvestre), en presencia de nidos de ratas y ardillas (Suárez-Davalos, Dangles, Villacís & Grijalva, 2010). Además, dado que los niños de este sector no cuentan con tecnología individual, se entregará el videojuego como complemento de la explicación que se impartirá en las escuelas de las comunidades, de esa manera, ellos podrán jugar en la computadora que comparten en la su unidad educativa.

Durante el diseño del videojuego, se decidió componerlo de cuatro niveles, los cuales representan diferentes medios de desarrollo de los niños, y los diferentes peligros que enfrentan día a día.

Para estructurar el diseño se utilizó un *Game Document Design* que nos permitió colocar las reglas, objetivos, elementos de sonido, visuales y elementos de la mecánica para poder completar el videojuego. Este es un documento fundamental, ya que nos permite minimizar los errores en el desarrollo del videojuego, y que no existan correcciones que retrasen su proceso.

2.2. Desarrollo del videojuego

Para el desarrollo del videojuego se utilizó la metodología ágil Scrum, la cual nos permite dividir el desarrollo de los proyectos en diferentes iteraciones cada una llamada Sprint. El videojuego se estructuró en cuatro sprints para obtener un producto en cada fase. Estos sprints fueron divididos, de tal forma para desarrollar un nivel del videojuego en cada uno de ellos. Para verificar el correcto avance del proyecto, se utilizó la herramienta de Burndown Chart que nos permitió comparar las horas estimadas, contra las horas trabajadas. De esta forma, mantenemos el control sobre el progreso de cada sprint.

2.2.1. Sprint 1

En el primer sprint se desarrolló el menú principal (Figura 1), la historia introductoria (Figura 2). Las instrucciones del primer nivel y el escenario del primer nivel (*Nivel I*). En este escenario se creó una tienda donde el objetivo es adquirir los elementos para combatir la propagación de la enfermedad (Figuras 3A y B).



Figura 1 – Imagen de presentación, menú principal y logos de las instituciones.



Figura 2 – Historia de alguien cercano al protagonista (Angélica) afectada por la enfermedad de Chagas.

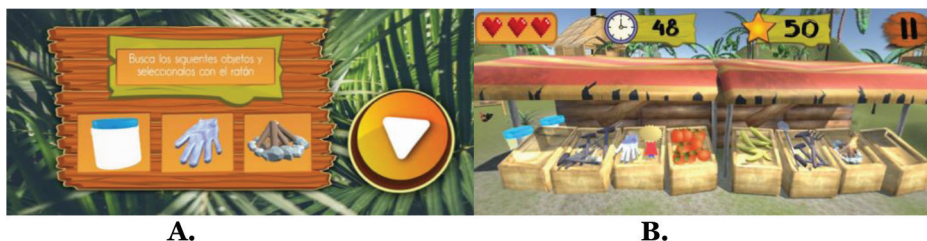


Figura 3 – A. Imagen de los objetos que puede seleccionar el personaje principal y B. escenario simulando la realidad de la zona, con los diferentes objetos que necesita para combatir la enfermedad.

2.2.2. Sprint 2

En un segundo Sprint se desarrolló el segundo nivel (*Nivel II*) y sus instrucciones. Aquí, se presenta una vivienda típica de la provincia de Manabí y sus factores de riesgo, que pueden contribuir a que las familias contraigan la enfermedad (Figura 4A y B). El objetivo en este nivel es identificar todos los lugares donde se esconde el chinchorro (insecto transmisor).

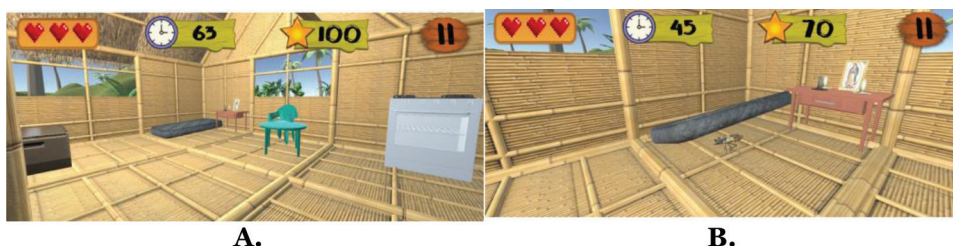


Figura 4A y B – Intradomicilio de una vivienda típica en la provincia de Manabí y los posibles elementos (factores de riesgos) que pueden contribuir a la presencia de los chinchorros (insectos que transmiten la enfermedad).

2.2.3. Sprint 3

Para completar el videojuego se debe pasar por cada uno de los niveles, en los cuales hay ciertas recomendaciones para ir reforzando el conocimiento de los niños en cuanto a la enfermedad

En un tercer sprint, se desarrolló las instrucciones y escenario del tercer nivel (*Nivel III*). Este nivel muestra el peridomicilio de las casas en Manabí donde hay varias acumulaciones de elementos (madera, ladrillos, piedras) que pueden brindar refugio al chinchorro (Figura 5A y B). Aquí el objetivo es buscar e identificar las acumulaciones para descubrir al chinchorro que se esconde ahí, y atraparlo.



Figura 5A y B – Peridomicilio de una vivienda típica en la provincia de Manabí y los posibles sitios en los que se pueden esconder los chinchorros (insectos que transmiten la enfermedad).

2.2.4. Sprint 4

Finalmente, como último sprint, se desarrolló el cuarto nivel (*Nivel IV*). Aquí se creó un laberinto en el cuál se encuentran los gallineros y vegetación, dado que estos lugares son

sitios en los que pueden vivir el chinchorro (Figura 6A y B). El objetivo es encontrar los gallineros, realizar las acciones pertinentes y salir del laberinto.

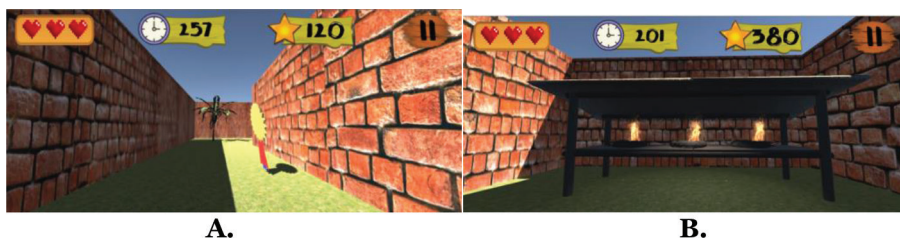


Figura 6A y B – Laberinto para encontrar los gallineros, lugar donde pueden albergar a los chinchorros (insectos que transmiten la enfermedad).

3. Resultados de usabilidad del videojuego para su futura utilización

Las pruebas de usabilidad se realizaron una vez que el diseño y desarrollo del videojuego se concluyó. Para dichas pruebas se utilizó la Heurística de Nielsen que se desarrolla a partir de 10 principios fundamentales para analizar el sistema y mejorar la usabilidad del producto. Estos principios enfatizan la interacción humano-computadora y son necesarios para que un usuario utilice el producto de software sin mayor problema. Entre estos principios tenemos: i) visibilidad del estado del sistema, ii) utilización del lenguaje de los usuarios, iii) control y libertad para el usuario, iv) consistencia y estándares, v) prevención de errores, vi) minimizar la carga de memoria del usuario, vii) flexibilidad y eficiencia del uso, viii) diálogos estéticos y diseño minimalista, ix) ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores y x) ayuda y documentación (Florián, et al. 2010).

Para determinar el número de evaluados, se utilizó la siguiente fórmula de Nielsen 2000:

$$N(1 - (1 - L))^n \text{ Donde:}$$

- N es el número total de problemas encontrados
- L es la proporción de problemas encontrados con un solo usuario
- n es el número de usuarios evaluados.

La fórmula de Nielsen se representa mediante una curva, la misma que destaca la relevancia de información contra el número de usuarios, determina que la información es altamente significativa hasta los cinco usuarios. A partir del sexto, la información empieza a repetirse. Dichos usuarios deben contar con características similares a los usuarios finales en cuanto a edad, y relación con la tecnología. Es decir, formaron parte de este estudio de usabilidad 5 niños entre 7 y 11 años que no habían tenido práctica con videojuegos, ni mucha relación con una computadora para probar la herramienta y determinar si es acorde a su edad y características.

A partir de estas pruebas de usabilidad, se obtuvo los siguientes resultados: i) se mejoró la forma de plantear las instrucciones, se pudo colocar más elementos visuales para que quede más claras las instrucciones. ii) se agregó información referente a la enfermedad

de Chagas y sobre el chinchorro (insecto que transmite la enfermedad), para la que herramienta pueda tener un mayor alcance y ser un elemento de enseñanza. iii) se aumentó una sección en la que se realice preguntas al jugador sobre la enfermedad de Chagas, y su modo de transmisión. iv) se adicionó recomendaciones durante el juego, buscando elementos como sonidos o colores para que se refuerce la información, claro está, sin ser redundantes; por ejemplo, se colocó títulos o algún distintivo para diferenciar cada tipo de pantalla como el juego, la historia, las instrucciones, entre otras. Finalmente, el videojuego está listo para ser utilizado en las comunidades rurales de la provincia de Manabí, posterior a esto, podremos contrastar los resultados obtenidos en las pruebas de usabilidad con las que se registre en las comunidades.

4. Conclusiones

Para que un videojuego educativo cumpla la función de prevención (concientización de la enfermedad de Chagas). El diseño y desarrollo del videojuego debe simular el ambiente para el que está dirigido, los personajes, la música y efectos de sonido tuvieron que ser los adecuados para fomentar la diversión y proporcionar vida al videojuego.

Antes del diseño del videojuego (basado en lineamientos del *Game Document Design*) y los personajes, fue fundamental analizar todos los elementos relacionados con los usuarios finales (historia, antecedentes, como los factores de riesgo, contexto, entre otros). El personaje, es muy importante, ya que el personaje principal (Roberto) fue el elemento intermediario entre el juego, y el usuario.

El proceso de desarrollo del videojuego fue realizado mediante la metodología Scrum. Se decidió aplicar esta metodología dado a la naturaleza del proyecto, ya que permitía ser susceptible a cambios. Posterior a la seleccionada metodología, fue necesario realizar un estudio que nos permitió determinar el motor de videojuego, demostrando ser el más conveniente el motor Unity, ya que ofreció varias características y componentes que facilitaron el desarrollo de este tipo de proyectos.

La Heurística de Nielsen (pruebas de usabilidad) observada en el análisis de resultados nos permitió modificar y mejorar el juego para finalizar el diseño y alistarlo para su utilización con niños de 7 a 11 años en las zonas más vulnerables de esta enfermedad (comunidades de la provincia de Manabí). Esperamos muy pronto utilizar el videojuego en la fase de campo, y de esta manera, comparar los resultados obtenidos mediante la prueba de usabilidad con la de las comunidades rurales.

5. Recomendaciones

Se recomienda analizar cuál es la mejor metodología y motor de videojuego para ajustar a las características del proyecto. Una vez conocido los programas a utilizar para los videojuegos, se deben tener siempre elementos fuertes de diversión, a pesar de ser educativos, el aprender jugando ayuda a difundir el mensaje de mejor manera.

Se recomienda que cuando el usuario final es una persona ajena a la tecnología, se debería mantener las interfaces y menús sencillos para que sean de gran ayuda, más no una distracción.

Finalmente, cuando se trabaja con niños, es recomendable tener cuidado con el lenguaje que se utiliza para dar instrucciones, ya que ellos podrían tomar las cosas literalmente, o dar lugar a malas interpretaciones, y no asociarlos a cierta simbología que se desea plantear. Más aún cuando el mensaje sobre la prevención de una enfermedad está en juego.

Referencias

- CARPHA. (15 de 04 de 2020). *CARPHA*. Recuperado el 15 de 04 de 2020, de <https://carpha.org/What-We-Do/Public-Health/Zika>
- Coura, J. R., Borges-Pereira, J. (2012) Chagas disease: What is known and what should be improved: a systemic review. *Revista Sociedad Brasileira de Medicina Tropical*, 45(3), 286-296.
- Dumonteil, E., Herrera, C., Martini, L., Grijalva, M. J., Guevara, A. G., Costales, J. A., Aguilar, H. M., Brenière, S. F., Waleckx, E. (2016). Chagas Disease Has Not Been Controlled in Ecuador. *PLoS ONE*, 11(6), e0158145.
- Esposito, N. (2005). A Short and Simple Definition of What a Videogame Is.
- Florián, B. E., Solarte, O., & Reyes, J. M. (2010). Propuesta para incorporar evaluación y pruebas de usabilidad dentro de un proceso de desarrollo de software. *Revista EIA*, (13), 123-141.
- Fullerton, T., Swain, C., & Hoffman, S. (2004). *Game design workshop: Designing, prototyping, & playtesting games*. CRC Press.
- Grijalva, M. J., Chiriboga, R. F., Vanhassel, H., & Arcos-Teran, L. (2005). Improving the safety of the blood supply in Ecuador through external performance evaluation of serological screening of blood donors. *Journal of clinical virology*, 34, S47-S52.
- Grijalva, M. J., Villacís, A.G., Ocaña-Mayorga, S., Yumiseva, C. A., Baus, E. G. (2011). Limitations of selective deltamethrin application for triatomine control in Central Coastal Ecuador. *Parasites & Vectors*, 4:20.
- Grijalva, M. J., Villacis, A. G., Ocana-Mayorga, S., Yumiseva, C. A., Moncayo, A. L., & Baus, E. G. (2015). Comprehensive survey of domiciliary triatomine species capable of transmitting Chagas disease in southern Ecuador. *PLoS neglected tropical diseases*, 9(10).
- Grijalva, M. J., Villacís, A. G., Moncayo, A. L., Ocaña-Mayorga, S., Yumiseva, C. A., & Baus, E. G. (2017). Distribution of triatomine species in domestic and peridomestic environments in central coastal Ecuador. *PLoS neglected tropical diseases*, 11(10), e0005970.
- ICT. (2020). *Ministry of Science and Information & Communication Technology del Gobierno de Bangladesh*. Recuperado el 15 de 04 de 2020, de <https://ictd.gov.bd/>
- Justi, S. A., & Galvão, C. (2017). The evolutionary origin of diversity in Chagas disease vectors. *Trends in parasitology*, 33(1), 42-52.

- Lacasa, P. (2011). *Los videojuegos*. Ediciones Morata.
- Lima, T., Barbosa, B., Niquini, C., Araújo, C., & Lana, R. (2017, April). Playing against dengue design and development of a serious game to help tackling dengue. In *2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)* (pp. 1-8). IEEE.
- Moncayo, Á., & Silveira, A. C. (2017). Current epidemiological trends of Chagas disease in Latin America and future challenges: Epidemiology, surveillance, and health policies. In *American Trypanosomiasis Chagas Disease* (pp. 59-88). Elsevier.
- Nielsen, J. (19 de marzo de 2000). *Nielsen Norman Group*. Obtenido de Why You Only Need to Test with 5 Users: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>
- Nieto-Sanchez, C., Baus, E. G., Guerrero, D., Grijalva, M. J. (2015). Positive deviance study to inform a Chagas disease control program in southern Ecuador. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(3), 299-309. Available from doi: 10.1590/0074-02760140472
- Paulk, M. C. (2002, octubre). *Agil Methodologies and Process Discipline*.
- Sanchez-Crespo, D., & Dalmau, D. S. C. (2004). *Core techniques and algorithms in game programming*. New Riders.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017, Noviembre). *Scrum Guides*. Retrieved from The Scrum Guide: <https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>
- Shekar, S., & Karim, W. (2017). Mastering Android Game Development with Unity: Build high-end Android games with Unity's advanced features.
- Suarez-Davalos, V., Dangles, O., Villacis, A. G., & Grijalva, M. J. (2010). Microdistribution of sylvatic triatomine populations in central-coastal Ecuador. *Journal of medical entomology*, 47(1), 80-88.
- Trigas Gallego, M., & Domingo Troncho, A. C. (2012). Gestión de Proyectos Informáticos. Metodología Scrum. *Openaccess. Uoc. Edu*, 56.
- Unity Technologies. (2019). *Unity*. Retrieved from Features: <https://unity3d.com/unity>
- Villacís, A. G., Grijalva, M. J., Catalá, S. S. (2010). Phenotypic variability of *Rhodnius ecuadoriensis* populations at the Ecuadorian Central and Southern Andean Region. *Journal Medical Entomology*, 47(6), 1034–1043. PMID: 21175051.
- Villacís, A. G., Ocaña-Mayorga, S., Lascano, M. S., Yumiseva, C. A., Baus, E. G., & Grijalva, M. J. (2015). Abundance, natural infection with trypanosomes, and food source of an endemic species of triatomine, *Panstrongylus howardi* (Neiva 1911), on the Ecuadorian Central Coast. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 92(1), 187-192.
- Villacís, A. G., Marcet, P. L., Yumiseva, C. A., Dotson, E. M., Tibayrenc, M., Brenière, S. F., & Grijalva, M. J. (2017). Pioneer study of population genetics of *Rhodnius ecuadoriensis* (Hemiptera: Reduviidae) from the central coast and southern Andean regions of Ecuador. *Infection, Genetics and Evolution*, 53, 116-127.

- World Health Organization. (2015). Chagas disease in Latin America: an epidemiological update based on 2010 estimates. *Weekly Epidemiological Record= Relevé épidémiologique hebdomadaire*, 90(06), 33-44.
- World Health Organization. (2018). Chagas disease (American trypanosomiasis). 2018. *World Health Organization website*, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/en>.
- Yago, T., Mullen, B., Mather, T., & Hervé, J.-Y. (2010). Casual gaming as a means to raise awareness of vector borne disease risks. *Annual International Conferences on Computer Games, Multimedia and Allied Technology*.
- Zamora, A., Galán-Rodas, E., Ramírez, E., Rodríguez-Morales, A. J., & Mayta-Tristán, P. (2015). Videojuego pueblo pitanga en la lucha contra el dengue en Costa Rica. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32, 397-398.

Promoting organ donation on the Twitter platform: an exploratory analysis in Ecuador

Sueny Paloma Lima dos Santos^{1,2}, Gabriel Francisco Cevallos Martínez³

slima957@puce.edu.ec; gabriel.cevallos@iaen.edu.ec

¹Nursing Faculty, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170143, Quito, Ecuador.

²Statistics Department, Universidad de Salamanca, 37007, Salamanca, Spain.

³School of Government and Public Administration, Instituto de Altos Estudios Nacionales, 170135, Quito, Ecuador.

Pages: 351–360

Abstract: There is a growing discrepancy between the number of organ donors and potential recipients in Ecuador. It is estimated that more than 800 patients are on the waiting list for organs. Likewise, the population does not recognize the importance and benefits of donating, although, since 2011, each Ecuadorian is a donor. This exploratory study is intended to address organ donation as a topic for debate within social networks. For this purpose, Twitter was selected as the platform, primarily because it is actively and internationally related to the political. In Ecuador, there is a direct relationship in politics between visibility on Twitter and acceptance in the polls. Data referring to organ donation were not obtained in this study. It demonstrates that the debate around the subject does not have higher dynamics on Twitter.

Keywords: organ donation; Twitter; Ecuador.

1. Introduction

Over the past decades, organ transplantation has become life-saving therapy for many common end-stage organ diseases (GODT, 2016; OPTN, 2020; UNOS, 2017). As a result, more than 800 Ecuadorians await organ transplantation (INDOT, 2020). There is a significant divergence between the organ donation and transplant system in Ecuador. However, there are no significant studies on whether the Ecuadorian population recognizes the importance and benefits of organ donation. Despite this, since 2011, all Ecuadorians and legal residents are donors by default. The only exceptions are those who deselect themselves (*Ley Orgánica de Donación y Trasplante de Órganos, Tejidos y Células*, 2011), and there is no statistical evidence regarding the number of patients who die while remaining on the waiting list. It is also evident that the overall mortality of patients on the waiting list is significantly higher than that of transplanted patients (Ojo et al., 2001).

In addition, experts say that internationally there is a large discrepancy between the number of people who claim that they support organ donation theoretically and the number of people who register as donors. In the United Kingdom, for example,

more than 90 percent of people say they support donation. However, less than a third are registered donors (Wen, 2014). The most common hypotheses in the literature include mistrust in the medical field, lack of understanding about brain death, education, and religion as significant barriers to donation (dos Santos et al., 2019; Falomir-Pichastor et al., 2013; Haustein & Sellers, 2004; Irving et al., 2012; Jacoby & Jaccard, 2010; Kaur & Ajinkya, 2012; Morgan & Miller, 2002; Wakefield et al., 2010). Many people might donate if they knew the benefit of organ donation (Hyde & White, 2010). However, some still reject the concept of organ donation because they do not want their bodies dissected after death (Alam, 2007).

That is the reason some countries use social media communication to promote the importance of organ donation. Social media strategies have been used in hospitals that do transplants and in communities for several decades. Transplant programs increasingly use social networks to promote and advertise their programs and provide resources to the public about donations from living and deceased donors (*America UaDL. Living Donor Transplant*, 2016; Henderson et al., 2017; Kumar et al., 2016). That is the reason this study aims at exploring how organ donation is addressed on the Twitter platform in Ecuador.

2. Methodology

This exploratory study was intended to address the presence of organ donation as a topic for debate within social networks. For this purpose, Twitter was selected as a platform, in the first place, because this platform has been strongly related to the political world-wide, for example, in the Ecuadorian case, a direct relationship between visibility on Twitter and the acceptance at the polls of political characters (Marín-Gutiérrez et al., 2016). Secondly, Twitter was chosen for its representativeness in the country, being the second most used network in Ecuador (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2015); and third, because its Application Program Interface (API) allows connectivity with applications for data capture and analysis of social networks, specifically the Gephi program. Additionally, the nature of Twitter's microblog allows ideas placed there - textual ones - to be more easily understood when referring entirely to the main idea.

The analysis has initially been planned in three phases: the first aimed at identifying words and hashtags that were linked to organ donation, the second referring to the configuration of the application for capturing tweets related to the keyword, and the third, directly linked to the network analysis of the captured data, including the morphology and metrics of the network to be generated, tweets, users and hashtags with greater visibility, identification of organized movements (clusters). Due to the lack of data, the third phase was changed in an emerging way and consisted of capturing tweets in an area that contained the continental and island parts of Ecuador, details of this change are described below.

Regarding the first phase, an exploratory search was carried out within the social networks on the topic of "Donación de órganos." So that the expressions or hashtags that individually link to the topic are identified. Also, circumscribe the capture of data

as close as possible to the Ecuadorian territory. It is because a previous experience, using as a keyword “Donación” showed too much ambiguity. It is being referred in a vast majority to the donation of blood, medicines, clothes and food, religious issues, activism for animal protection and rarely about organ donation, of which an example is shown below:

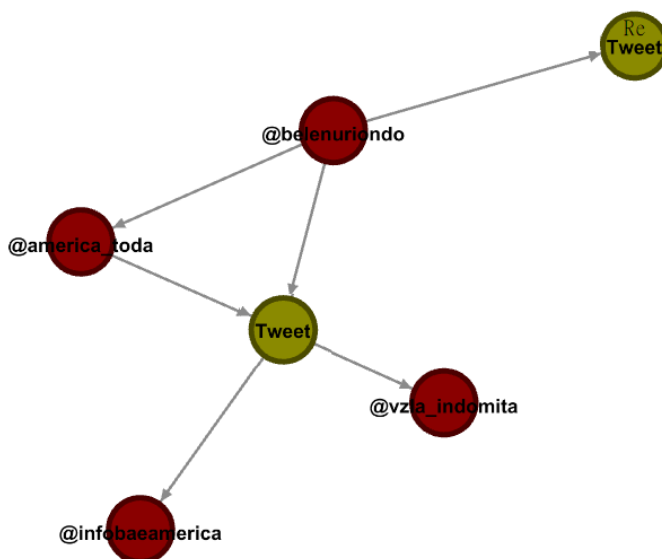


Figure 1 – Tweet and retweet about organ donation.

In the previous figure, the mustard nodes correspond to tweets, while the red nodes correspond to users. Thus, the user @americatoda sent a tweet with the text, “Indomita in many countries the culture of the organ donation does not exist. Allowing living people who need it is like giving light, the time God will say, but there is an opportunity to live. God helps create opportunities to other people through the donation,” which also mentioned the accounts @vzla_indomita and @infobaeamerica. The @belenuriendo account retweets this text without the mention of the previous reports.

Furthermore, the preliminary capture revealing that there are few references to the donation of organs as such also announced the need to establish keywords that are effectively related to the country. Thus the official account of the Instituto Nacional de Donación y Trasplantes de Órganos, Tejidos y Células-INDOT (@indotecuador) and several hashtags was selected from their latest publications, with priority to those expressing issues related to organ donation as well as Ecuador, including #Ecuadorpaisdonante, #indotacredita, #ecuadordonante, #indotecuador, #donateorganosesdarvida, #yodonovida, #yosoydonante, and #soydonanteymifamilialosabe. The last three are expressions whose use was also identified in other countries of the region (such as Chile and Colombia). However, they were added when observing in the previous exploration the possibility of having few results.

The program used, Gephi, is an open-source application, which allows - together with a plugin called “Twitter streaming import” - both the capture of data from the platform and the understanding of what was obtained through instruments for Network Analysis. The general idea is to present a network scheme for people’s activities. For example - as seen in Figure 1- a user who emits a tweet is represented as a node, with an arrow that goes to his tweet, in the case of having more elements such as a hashtag or a link. These are established as new nodes with their edges from the tweet. A network thus formed allows us to schematically observe the behaviour of the people and the information they generate, the most used hashtag being the one that receives the most lines or edges, or the size of the network directly linked to the number of people and data involved. Moreover, either through references to users, retweeting or collective use of hashtags, links or images.¹

In the particular case of this investigation, the program was configured so that not only the messages but also the users, mentions, retweets, links and linked hashtags are captured, in order to have a more considerable amount of data for analysis. In this way, the capture began from 10:00 a.m. on February 21 until 1:30 p.m. on February 27, 2020, considering the hashtags already mentioned. The capture was made in February since it corresponds to the Carnival holiday, one of the longest in the Ecuadorian calendar, opting for it since historically on festive dates, there is an increase in deaths from road accidents. With that observation, it would indirectly increase the probability that organ donation and treatment will be treated in networks. Statistics showed that in February 2020, there was an increase of 15% in fatalities due to traffic accidents, concerning 2019, reaching 178 deaths (Agencia Nacional de Transito, 2020) even so, the desired data was not accessed as see below.

3. Results and discussion

From the period mentioned in the methodology, data referring to organ donation were not obtained, demonstrating that the debate around the subject does not have higher dynamics. Some factors that could have contributed to the lack of data include the carnival holiday. On the other hand, the greater visibility of different types of donation forms was already envisioned when conducting the research.

The absence of data around the subject cannot conclude absolutely that organ donation is not of concern to the Ecuadorian community. Most debates may take place in physical spaces, for example — if visibility can be observed as low concerning other issues. The emerging third phase focused on the analysis of organ donation from a different approach. In this case, instead of pointing to tweets that had words or hashtags linked directly to organ donation, a total sample of tweets posted in Ecuador would be captured. To then see if any of them referred to organ donation, and what percentage of these expressions had with the total sample.

¹ Within the network analysis there are standard metrics such as the “Support” or the “influence” of a node that respond to the number of links it receives and sends respectively, linked these measurements directly with visibility; the network diameter that corresponds to the distance between the nodes furthest from a network, or the density that is the percentage of existing edges with respect to all the edges that a given network could have; the higher the density, the greater the connection/ references between the nodes of the network.

With this intention, Gephi was configured to capture tweets according to their geographical location by using an instrument that determines, through longitude and latitude, a rectangular data capture area that includes the continental and insular parts of Ecuador. This methodological procedure has at least two limitations, the first referring to the definition of the capture area, which, by its form, could not refer precisely to Ecuador. However, it includes parts of Colombia and Peru, as seen in Figure 2. The second limitation takes in the scope of the Twitter API that can process only a maximum number of requests for information every 15 minutes. It meant when it reached the ceiling of requests for information (i.e. through the text of a tweet or hashtag) within that time, the capture was interrupted until the next quarter of an hour. A thorough sampling was not possible.

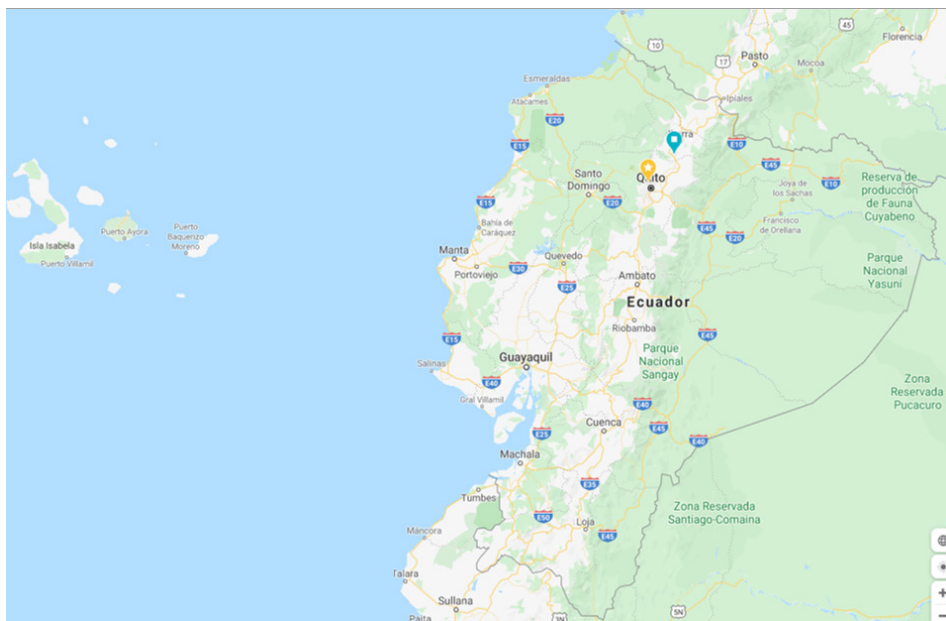


Figure 2 – Capture squared-area used (Google Maps)².

The other phase began in parallel with the final days of the previous data capture when it was observed that there would be no results. Thus, data were collected from 2:45 p.m. to 10:25 p.m. on February 26, 2020. The collected data had a network with 1,229 nodes, of which 389 were tweets or retweets captured, none regarding organ donation. The trends within the captured tweets were political issues in general, an anti-drug campaign “Day Without H,” and the arrival of the coronavirus in Latin America.

The campaign in Ecuador, “Yo Soy Donante Y Mi Familia Lo Sabe,” has low visibility, and most of the tweets regarding it are provided by INDOT (Instituto Nacional de Donacion y Trasplante de Organos, Tejidos y Celulas) and not by citizens. Some countries, such as the United States of America, Italy, and Spain, promote organ donation in social

² 1.523360, -75.032186 Northeast, -5.142836, -92.307070 Southwest.

networking sites and have generated some hopeful results, such as increasing organ donor consent rates (Cucchetti et al., 2012; Smith et al., 2016; Stefanone et al., 2012). Nevertheless, in 2018 in Ecuador, donor identification increased in relation to 2017; 553 cases were reported among alerts (328), effective donors (206), and real donors (18), both of organs and tissues. These numbers concerning the previous year exceeded it by 29 cases (see Figure 3) (INDOT, 2020). Until 2018, Ecuador had 7.7 donors per million inhabitants, thus overcoming myths about organ donation, which helped Ecuadorians lost their fear of negatives thoughts said about it. Apart from reluctance based on religion, people believe that there may be an illegal organ or tissue trafficking.

In this manner, an absence of consciousness and a more remarkable measure of unwillingness is similarly a noticeable factor that is related to limited social media use (Pacheco et al., 2017). In Ecuador, organ donation has not been of great interest to the population, even though few investigations attempt to determine positive and negative aspects that may affect the decision to donate organs (Alvarez & Valencia, 2011). Although on March 4, 2011, the Organic Law of Donation and Transplantation of Organs, Tissues, and Cells in Ecuador established that each Ecuadorian and foreign resident are donors (INDOT, 2020). People sign in to online platforms to communicate with each other to boost their self-esteem and to find information relating to different medical problems (Pacheco et al., 2017). Even though some areas deserve additional study in opinion leadership on the topic of organ donation on social media, education

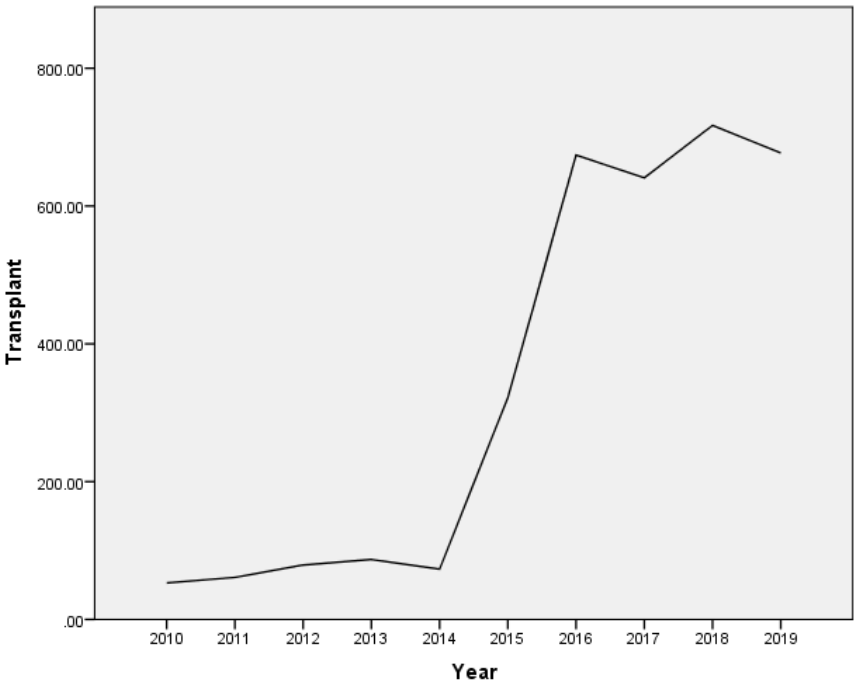


Figure 3 – Number of transplants throughout the years in Ecuador.

campaigns may likely include social statements and family discussions about organ donation and increase consent rates. Further research is required to find the best way to use Twitter as a platform for discussing organ donation since it is currently not being used effectively in this way.

The global number of commercial transplants is estimated to be around 10,000 annually, approximately 10 percent of all transplants. In most cases, the kidney is sold by a living person, illegally. Many countries have laws that prohibit the sale and purchase of organs. However, countries like Pakistan, the Philippines, Egypt and China still do organ trafficking. This practice is also prohibited by the World Health Organization, which requires that organ donation be altruistic (Efrat, 2016). Fortunately, Ecuador does not show any confirmed figures on organ and tissue trafficking at present. Furthermore, it surpasses other Latin American countries in organ donation. In Paraguay, the donation rate is 3 per million inhabitants, also until 2017, Mexico registered 4.5 donors per million inhabitants. In Mexico, there are more than 21,000 people on the waiting list.

4. Conclusion

Data referring to organ donation were not obtained in this study. It demonstrates that the debate around the subject does not have higher dynamics on Twitter. Some factors that could have contributed to the lack of data include the carnival holiday. On the other hand, the greater visibility of different types of donation forms was already envisioned when conducting the research. Moreover, the little public debate around organ donation is a dangerous symptom if it is considered that public policy can be terminated if no society criticizes, uses and improves. The results obtained here show an alarming absence of organ donation either as a practice or as a policy within Ecuador, this within a platform characterized today as having as its primary objective the political debate. We understand that donation as a public policy is relevant and necessary as part of the guarantee of civil rights. However, its existence in the regulations does not yet show the desired reflections in action; if the culture does not change by decree, then it is necessary to establish ways of repositioning this issue in the collective imaginary, which would lead to social action. The new research focused on the visibility of the subject, both face-to-face campaigns and digital campaigns that take advantage of the pedagogical potential of the network, the multimedia, the asynchronous and the ubiquitous are necessary to revitalize the donation and promote a new life for several citizens.

References

- Agencia Nacional de Transito. (2020). *Estadísticas de siniestros de tránsito*. <https://www.ant.gob.ec/index.php/estadisticas>
- Alam, A. A. (2007). Public Opinion on Organ Donation in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Kidney Diseases and Transplantation*, 18(1), 54–59.

- Alvarez, N. A. R., & Valencia, R. D. A. (2011). *Conocimiento y actitudes frente a la donación y trasplante de órganos en pacientes que acuden a consulta externa del Hospital Quito N°1 Policía Nacional durante el periodo de junio a julio del 2011 en la ciudad de Quito* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4429/TESIS%20DISERTACION.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- America UaDL. *Living Donor Transplant*. (2016). https://www.facebook.com/livingdonortransplant/?hc_ref=SEARCH.
- Cucchetti, A., Zanello, M., Bigonzi, E., Pellegrini, S., Cescon, M., Ercolani, G., Mazzotti, F., & Pinna, D. (2012). The use of social networking to explore knowledge and attitudes toward organ donation in Italy. *Minerva Anestesiologica*, 78(10), 1109–1116.
- Dos Santos, S., Fernández, M. J., & Vallejo, J. (2019). *Knowledge, attitudes and beliefs towards organ donation and transplantation in social media networks*. 51.
- Efrat, A. (2016). Organ traffickers lock up people to harvest their kidneys. Here are the politics behind the organ trade. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/news/monkey-cage/wp/2016/12/07/organ-traffickers-lock-up-people-to-harvest-their-kidneys-here-are-the-politics-behind-the-organ-trade/>
- Falomir-Pichastor, J. M., Berent, J. A., & Pereira, A. (2013). Social psychological factors of post-mortem organ donation: A theoretical review of determinants and promotion strategies. *Health Psychology Review*, 7(2), 202–247. <https://doi.org/10.1080/17437199.2011.570516>
- GODT. (2016). *Global Observatory on Donation and Transplantation*. <http://www.transplant-observatory.org/>
- Haustein, S. V., & Sellers, M. T. (2004). Factors associated with (un)willingness to be an organ donor: Importance of public exposure and knowledge. *Clinical Transplantation*, 18(2), 193–200. <https://doi.org/10.1046/j.1399-0012.2003.00155.x>
- Henderson, M. L., Clayville, K. A., Fisher, J. S., Kuntz, K. K., Mysel, H., Purnell, T. S., Schaffer, R. L., Sherman, L. A., Willock, E. P., & Gordon, E. J. (2017). Social media and organ donation: Ethically navigating the next frontier. *American Journal of Transplantation*, 17(11), 2803–2809. <https://doi.org/10.1111/ajt.14444>
- Hyde, M. K., & White, K. M. (2010). Exploring Donation Decisions: Beliefs and Preferences for Organ Donation in Australia. *Death Studies*, 34(2), 172–185. <https://doi.org/10.1080/07481180903492604>
- INDOT. (2020). *Instituto Nacional de Donación y Trasplantes de Órganos, Tejidos y Células*. <http://www.donaciontrasplante.gob.ec/indot/>
- Irving, M., Zoete, V., Hebeisen, M., Schmid, D., Baumgartner, P., Guillaume, P., Romero, P., Speiser, D., Luescher, I., Rufer, N., & Michielin, O. (2012). Interplay between T Cell Receptor Binding Kinetics and the Level of Cognate Peptide Presented by Major Histocompatibility Complexes Governs CD8⁺ T Cell Responsiveness. *Journal of Biological Chemistry*, 287(27), 23068–23078. <https://doi.org/10.1074/jbc.M112.357673>

- Jacoby, L., & Jaccard, J. (2010). Perceived Support Among Families Deciding About Organ Donation for Their Loved Ones: Donor Vs Nondonor Next Of Kin. *American Journal of Critical Care*, 19(5), e52–e61. <https://doi.org/10.4037/ajcc2010396>
- Kaur, D., & Ajinkya, S. (2012). Factors associated with organ donation. *North American Journal of Medical Sciences*, 4(10), 514. <https://doi.org/10.4103/1947-2714.102011>
- Kumar, K., King, E. A., Muzaale, A. D., Konel, J. M., Bramstedt, K. A., Massie, A. B., Segev, D. L., & Cameron, A. M. (2016). A Smartphone App for Increasing Live Organ Donation. *American Journal of Transplantation*, 16(12), 3548–3553. <https://doi.org/10.1111/ajt.13961>
- Ley Orgánica de Donación y Trasplante de Órganos, Tejidos y Células. (2011). Ministerio de Salud Pública. http://www.donaciontrasplante.gob.ec/indot/wp-content/uploads/downloads/2013/11/ley_y_reglamento_a_la_ley_organica_de_donacion_y_trasplantes.pdf
- Marín-Gutiérrez, I., Punin-Larrea, M. I., Hinojosa-Becerra, M., & Ruiz-San-Miguel, J. (2016). Twitter como herramienta estratégica en la política ecuatoriana. *Razon y Palabra*, 93, 120–134.
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2015). 91% de ecuatorianos utiliza las redes sociales en su teléfono inteligente. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/91-de-ecuatorianos-utiliza-las-redes-sociales-en-su-telefono-inteligente/>
- Morgan, S. E., & Miller, J. K. (2002). Beyond the Organ Donor Card: The Effect of Knowledge, Attitudes, and Values on Willingness to Communicate About Organ Donation to Family Members. *Health Communication*, 14(1), 121–134. https://doi.org/10.1207/S15327027HC1401_6
- Ojo, A. O., Hanson, J., Meier-Kriesche, H.-U., Okechukwu, C. N., Wolfe, R. A., Leichtman, A. B., Agodoa, L. Y., Kaplan, B., & Port, F. K. (2001). Survival in Recipients of Marginal Cadaveric Donor Kidneys Compared with Other Recipients and Wait-Listed Transplant Candidates. *Journal of the American Society of Nephrology*, 12(3), 589–597.
- OPTN. (2020). *Organ Procurement and Transplantation Network*. <http://optn.transplant.hrsa.gov>
- Pacheco, D. F., Pinheiro, D., Cadeiras, M., & Menezes, R. (2017). Characterizing Organ Donation Awareness from Social Media. *2017 IEEE 33rd International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 1541–1548. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2017.225>
- Smith, S. W., Hitt, R., Park, H. S., Walther, J., Liang, Y. (Jake), & Hsieh, G. (2016). An Effort to Increase Organ Donor Registration Through Intergroup Competition and Electronic Word of Mouth. *Journal of Health Communication*, 21(3), 376–386. <https://doi.org/10.1080/10810730.2015.1095815>
- Stefanone, M., Anker, A. E., Evans, M., & Feeley, T. H. (2012). Click to “Like” Organ Donation: The Use of Online Media to Promote Organ Donor Registration. *Progress in Transplantation*, 22(2), 168–174. <https://doi.org/10.7182/pit2012931>

- UNOS. (2017). *The United Network for Organ Sharing*. <https://unos.org/data/>
- Wakefield, C., Watts, K., Homewood, J., Meiser, B., & Siminoff, L. (2010). Attitudes toward organ donation and donor behavior: A review of the international literature. *Progress in Transplantation*, 20(4), 380–391. <https://doi.org/10.7182/prtr.20.4.p54651601pg80183>
- Wen, T. (2014). Why Don't More People Want to Donate Their Organs? *The Atlantic*. <https://www.theatlantic.com/health/archive/2014/11/why-dont-people-want-to-donate-their-organs/382297/>

Clasificación de hogares pobres en la Región Andina de Venezuela usando redes neuronales

Gustavo Mora Ramírez¹, Anna Gabriela Pérez¹, Francklin Rivas-Echeverría^{1,2,3}

gustavorm2612@gmail.com; gabipm@ula.ve; firivas@inf.utfsm.cl

¹ Universidad de Los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

² Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

³ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100111, Ibarra, Ecuador.

Pages: 361–373

Resumen: La presente investigación está orientada a la construcción de un clasificador de hogares pobres en la región andina de Venezuela utilizando redes neuronales artificiales. Para ello, fue necesario la elaboración de un indicador de pobreza multidimensional basado en la metodología de Alkire y Foster, la cual fue modificada y se desarrolló en función de las carencias y no de los logros. Este indicador considera que la pobreza depende de varios aspectos, y se proponen seis dimensiones para medirla: condición de la vivienda, materiales de construcción de la vivienda, adecuación de servicios, economía del hogar, educación y salud. Al examinar la clasificación obtenida con modelos de redes neuronales basados en el algoritmo de retropropagación, se evidencia que los errores de clasificación son muy pequeños, casi perfectos, mientras que los modelos basados en funciones de base radial presentaron errores de clasificación más elevados.

Palabras-clave: pobreza; indicador multidimensional; metodología de Alkire y Foster; redes neuronales; funciones de base radial.

Poor Homes classification in the Andean Region of Venezuela Using Neural Networks

Abstract: This research is aimed to build a classifier for poor houses in the Andean region of Venezuela using artificial neural networks. For this, it was necessary to develop a multidimensional poverty indicator based on the Alkire and Foster methodology, which was modified and developed based on the shortcomings and not on the achievements. This indicator considers that poverty depends on several aspects, and six dimensions are proposed to measure it: housing conditions, housing construction materials, adaptation of services, home economics, education and health. When examining the classification obtained with backpropagation algorithm-based neural network models, it was found that the classification errors are very small, almost perfect, while the models based on radial-based functions presented higher classification errors.

Keywords: poverty; multidimensional indicator; Alkire and Foster methodology; neural networks; radial basis functions.

1. Introducción

La pobreza es entendida como una situación de privaciones o carencias que puede afectar con distintas intensidades o magnitudes a una población determinada, dicha situación ha sido ampliamente investigada a fin de conseguir soluciones o políticas que logren reducir paulatinamente este fenómeno. En la evaluación de dicha problemática convergen una gama de factores, que van desde lo económico, la formación o educación que reciben los miembros de un hogar, hasta las condiciones de calidad de una vivienda. En este sentido, la medición de la pobreza no resulta ser una tarea sencilla. Sin embargo, la literatura de la pobreza ha logrado evolucionar para conseguir alternativas de medición adaptables a situaciones y/o regiones en particular, siendo un ejemplo de esto la metodología propuesta por Alkire y Foster (2007, 2011), donde establecen un esquema de trabajo preciso que permite evaluar la pobreza en una cantidad definida de dimensiones.

En esta investigación se propone una adaptación de la metodología de Alkire y Foster para medir la pobreza en la región andina de Venezuela, la cual está conformada por los estados Mérida, Táchira, Trujillo y Barinas durante el período (2008 - 2009) e identificar los hogares pobres desde enfoque multidimensional. Para ello se consideran seis dimensiones: condición de la vivienda, materiales de construcción, adecuación de servicios, economía del hogar, educación y salud. Adicionalmente, una vez identificados los hogares pobres se propone el uso de redes neuronales artificiales para clasificarlos, utilizando dos tipos de redes neuronales: el perceptrón multicapa y las redes de base radial.

2. Definición de pobreza

La pobreza puede ser entendida como la situación en que las personas no logran un determinado nivel de bienestar material, considerando un mínimo razonable para el estándar de la sociedad (Ravallion, 1992). Se considera entonces, que la pobreza puede interpretarse como toda situación de privación absoluta o relativa en la satisfacción de un conjunto de necesidades humanas, que impiden obtener un nivel mínimo de capacidades que son básicas para la vida de una persona, y cuya privación limita a su vez el logro de otras capacidades (Sen, 1992).

Deleeck, Van Den Bosch y De Lathouwer (1992), afirman que la pobreza no se limita a una dimensión, como por ejemplo el ingreso; se manifiesta en todas las dimensiones de la vida como la vivienda, la educación y la salud. Es por ello, que es viable llegar al consenso de que la medición de la pobreza es posible a través de variables socioeconómicas, como, por ejemplo, el ingreso, los gastos o consumos de un hogar, la disposición o acceso a servicios básicos, o condiciones de salubridad mínima. Todo este conjunto de variables dictamina el nivel, bienestar o calidad de vida de un hogar y, por tanto, son fuente necesaria para la medición de la pobreza.

En el contexto de la orientación de las políticas públicas los autores Colacce y Tenenbaum (2016), proponen las mediciones multidimensionales en detrimento de

las mediciones convencionales que toman en cuenta sólo aspectos monetarios. En el ámbito académico han evolucionado los desarrollos conceptuales sobre el bienestar de los individuos y sus dimensiones, y por otro lado, se han obtenido avances en las mediciones multidimensionales como medidas oficiales de pobreza, y se está avanzando en consensos para orientar las políticas públicas en base a estas mediciones.

Dada las repercusiones de la pobreza en cualquier sociedad, existe la necesidad de medir la intensidad de este fenómeno, y a partir de esta medición proponer políticas públicas para tratar de erradicarla. Venezuela no escapa de la presencia de este fenómeno, y por ello se han realizado estudios para caracterizar los hogares, en los cuales se utiliza como insumo de datos la Encuesta de Hogares por Muestreo, también conocida como Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, o bien, información del censo de población y vivienda.

A través del Instituto Nacional de Estadística (INE), se reporta el porcentaje de hogares pobres utilizando el método de la línea de pobreza y el método de necesidades básicas insatisfechas (NBI). Adicionalmente, se reporta el coeficiente de Gini y desde hace poco más de una década un índice compuesto denominado “Índice Estatal del Nivel de Vida”, es un índice compuesto y sintético, que proporciona información sobre magnitudes asociadas a determinados aspectos de condiciones de vida de las personas en un momento determinado y en una entidad geográfica específica “Estado” (INE, 2011).

En lo que respecta a la caracterización de los hogares venezolanos, destaca la investigación de Márquez (2004), en la que se logró construir un bosquejo del patrón de gastos de un hogar, conociendo algunas características cualitativas como tipo de vivienda, nivel educativo del jefe del hogar, apariencia de la vivienda y zona geográfica. Se encontró la asociación de hogares que poseen jefe de familia con un nivel educativo bajo, con viviendas de baja calidad, y a su vez este tipo de viviendas estaban ubicadas mayormente en el interior del país.

En la investigación realizada por Torres y Guirao (2013), se identifican perfiles de pobreza para período 1997-2009. Entre los resultados destacan la edad promedio del jefe de hogar, es de aproximadamente 46 años, en cuanto al género, existe predominio del sexo masculino, no obstante, al analizar el riesgo relativo por género se observa que tiene mayor riesgo el hogar cuyo jefe es mujer. El nivel educativo del jefe del hogar disminuye el riesgo de pobreza, los resultados indican que el riesgo disminuye a medida que se incrementa el nivel educativo. Los hogares pobres se caracterizan por ser más numerosos (5 miembros), con alta tasa de dependencia económica.

Con respecto a estudios de indicadores multidimensionales de pobreza en Venezuela, existen dos trabajos principales: Gallo y Roche (2012), Peña y Nava (2015). Gallo y Roche (2012), plantean desarrollar una alternativa para el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), y proponen la creación de un Indicador Multidimensional de Pobreza basado en la metodología de Alkire y Foster. Los autores justifican el uso de esta metodología argumentando que reúne un compendio de características deseables para un indicador de pobreza, como por ejemplo: la descomposición tanto por grupos como por dimensiones. Conjuntamente, mencionan que una de las ventajas del método Alkire y Foster, es aplicable a datos ordinales.

En el trabajo de Peña y Nava (2015), se propone la construcción de un indicador multidimensional de pobreza usando la metodología de Alkire y Foster (2007)

considerando algunas modificaciones propuestas por Alkire y Santos (2010). Los autores proponen un índice de pobreza multidimensional creado a partir de la técnica de análisis de correspondencia múltiple (IPMACM), ya que absolutamente todos los parámetros (variables y coeficientes) involucrados en su construcción resultan de la aplicación de dicho análisis. En el cálculo de dicho indicador consideraron tres dimensiones (educación, bienestar de servicios y bienestar de infraestructura) que a su vez están compuestas por 14 indicadores.

A los fines de esta investigación, un insumo relevante es el trabajo de Flores (2015) en Bolivia, en el cual se clasifican los hogares bolivianos por estratos sociales utilizando para ello redes neuronales artificiales con el algoritmo retropropagación; y un análisis de conglomerados no jerárquicos. El autor usa como variables de control un modelo de necesidades básicas insatisfechas, y posteriormente compara y analiza los resultados obtenidos, y obtuvo que el modelo de redes neuronales logra una clasificación un 6% más efectiva que el análisis de conglomerados de K-medias. No obstante, concluye que se debe considerar el uso complementario de ambas técnicas para obtener un análisis más enriquecido y amplio.

3. Metodología de Alkire y Foster

En el trabajo original desarrollado por Alkire y Foster (2007) se presentan todos los aspectos metodológicos para la construcción de un indicador multidimensional de pobreza. Posteriormente, los mismos autores (Alkire y Foster, 2011) presentan algunas ideas y sugerencias para la selección de indicadores, ponderación, agregación, entre otros. Proponen el uso de 10 indicadores contenidos en 3 dimensiones: educación, salud y nivel de vida.

La metodología requiere principalmente, definir la naturaleza de los indicadores parciales considerados en cada una de las dimensiones del indicador multidimensional, ya que a partir de esta información surgen diferentes estructuras para la medición de la pobreza. En esta investigación la naturaleza predominante de los indicadores considerados es ordinal, por tanto, se utiliza el índice de recuento ajustado M_0 , el cual según la metodología tiene una estructura predefinida en cuanto a las dimensiones, indicadores y ponderaciones que será explicada a continuación.

Alkire y Foster (2007), señalan que existen tres enfoques para identificar a los pobres en un contexto multidimensional:

- En el enfoque unidimensional, es necesario combinar los distintos indicadores de bienestar considerados en una sola variable agregada, y un hogar es identificado como pobre cuando la variable cae por debajo de una determinada línea de corte.
- El enfoque de unión establece que un hogar es considerado pobre cuando sufre privación en sólo una dimensión, sin embargo, este enfoque tendrá como resultados estimaciones exageradas de la pobreza puesto que resulta excesivamente inclusivo.
- El enfoque de intersección exige que un hogar sufra privaciones en todas las dimensiones consideradas para ser clasificado como pobre, es por ello que frecuentemente se considera que este enfoque es demasiado restrictivo y por tanto producirá fuertes subestimaciones de la pobreza.

Suponga que n representa la cantidad de hogares y sea d el número de dimensiones, las cuales parten del supuesto de ser un número fijo, tal que $d \geq 2$. Suponga que $y = [y_{ij}]$ describe la matriz de desempeños $n \times d$, donde la observación típica $y_{ij} \geq 0$ es el desempeño del hogar $i = 1, 2, \dots, n$ en la dimensión $j = 1, 2, \dots, d$. Cada fila de vectores y_{i*} enumera el desempeño del hogar i , mientras que cada columna de vectores y_{*j} da la distribución del desempeño de la dimensión j para un grupo de hogares.

Para establecer una línea de corte en cada dimensión, se define una medida no negativa $z_j > 0$, describe la línea de corte debajo de la cual se considera que un hogar sufre privaciones en la dimensión j , y z es el vector fila de las líneas de corte de las dimensiones específicas.

Para cualquier y dada, suponga que $g^0 = [g_{ij}^0]$ denota la matriz de privaciones asociada a y , cuyo elemento típico g_{ij}^0 está definido por $g_{ij}^0 = 1$ cuando $y_{ij} < z_j$, mientras que $g_{ij}^0 = 0$ en caso contrario. Claramente g^0 es una matriz $n \times d$, cuyas entradas serán 1 cuando el hogar i sufre privaciones y 0 cuando el hogar no sufre privaciones. Al mismo tiempo, es posible construir un vector columna c denominado *recuento de privaciones*, el cual es deducido a partir de la matriz g^0 . Nótese que la i -ésima observación $c_i = \sum_{j=1}^d g_{ij}^0$ representa el número de privaciones sufridas por el hogar i .

A continuación se examinarán algunas funciones de identificación, las cuales se denotarán por $\rho(y_i; z)$. En el caso del método *unidimensional* se sabe que este enfoque agrega todos los desempeños o privaciones de un hogar en una variable única de "bienestar" o "ingreso" y utiliza una línea de corte agregada para determinar quién es pobre. Entonces, se podría construir una función de agregación u tal que $\rho_u(y_i; z) = 1$ siempre que $u(y_i) < u(z)$, y $\rho_u(y_i; z) = 0$ en caso contrario, es decir, cuando $u(y_i) > u(z)$ lo que implica que el hogar no es considerado pobre unidimensional. Sin embargo, Alkire y Foster (2007) señalan que la forma de identificación unidimensional implica una cantidad de presunciones que restringen su aplicabilidad en la práctica, y que la vuelven poco deseable en principio.

El criterio de identificación de *unión* indica que un hogar i es pobre en términos multidimensionales si existe al menos una dimensión en la que el hogar sufre privaciones es decir, $\rho(y_i; z) = 1$ si y sólo si $c_i \geq 1$. Este enfoque puede incluir a hogares que otros no considerarían como pobres, y por tanto no sería útil para distinguir y enfocarse en los más pobres entre un grupo de hogares pobres, especialmente cuando se consideran una gran cantidad de dimensiones.

El otro método de identificación es el enfoque de la *intersección*, que identifica al hogar i como pobre sólo si el hogar evidencia privaciones en todas las dimensiones, es decir, $\rho(y_i; z) = 1$ si y sólo si $c_i = d$. Este método identifica exitosamente como pobre a un grupo particularmente desposeído de hogares. Sin embargo, este método deja afuera a muchos hogares que están sufriendo de un número importante aunque no universal de privaciones.

Una alternativa es la de utilizar una línea de corte intermedia para c_i que esté dispuesta entre los dos extremos de 1 y d para $k = 1, \dots, d$. Suponga que ρ_k es el método de identificación definido por $\rho_k(y_i; z) = 1$. Cuando un hogar es considerado pobre y esto sucede siempre que $c_i \geq k$ es decir, cuando el número de privaciones es mayor o igual a un valor k y $\rho_k(y_i; z) = 0$ siempre que $c_i < k$. En otras palabras, ρ_k identifica al hogar

i como pobre cuando la cantidad de dimensiones en las que i sufre privaciones es por lo menos k ; de lo contrario, si la cantidad de dimensiones donde se sufren privaciones cae por debajo de la línea de corte k , entonces i no es pobre según el método de identificación ρ_k .

Como ρ_k depende tanto de las líneas de corte z_j dentro de las dimensiones como de la línea de corte k entre las dimensiones, ρ_k representa el método de identificación de *línea de corte dual*. Nótese que ρ_k incluye los métodos de *unión* e *intersección* como casos especiales donde $k = 1$ y $k = d$.

Ahora que se ha definido el enfoque de identificación de línea de corte dual, será necesario hallar una medición de pobreza multidimensional $M(y; z)$ para ser utilizada con dicho enfoque. Una idea intuitiva es considerar el porcentaje de la población que es pobre. La cual se denomina tasa de recuento, se denota $H = H(y; z)$, y está definida por $H = q/n$, donde $q = q(y; z)$ es la cantidad de hogares en el conjunto $Z_k = \{i : \rho_k(y_i; z) = 1\}$ y, por lo tanto, la cantidad de pobres identificados utilizando el enfoque de línea de corte dual.

También es necesario definir el *vector censurado de recuento de privaciones* $c(k)$ de la siguiente manera: si $c_i \geq k$, entonces $c_i(k) = c_i$. O el recuento de privaciones del hogar i si $c_i < k$, entonces $c_i(k) = 0$.

$$\frac{c_i(k)}{d}$$

Nótese que la ecuación anterior representa el porcentaje de posibles privaciones sufridas por un hogar pobre i , por lo tanto, el *promedio de la proporción de las privaciones* entre los pobres está dado por

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n c_i(k)}{qd}$$

Este índice parcial transmite información relevante sobre la pobreza multidimensional, a saber, la fracción de dimensiones posibles d en las cuales el hogar pobre promedio sufre privaciones, y también representa la intensidad de la pobreza multidimensional.

Se considera la siguiente medición de la pobreza multidimensional $M_0(y; z)$, que combina información sobre la prevalencia de la pobreza y el alcance promedio de las privaciones de una persona pobre. La *tasa de recuento ajustada* M_0 , se define como el producto simple de los dos índices parciales H y A , la medición M_0 es sensible a la frecuencia y a la amplitud de la pobreza multidimensional, y está dada por

$$M_0 = HA$$

Nótese que M_0 puede ser definida como $M_0 = \mu(g^0(k))$, o como la media de la matriz de privaciones censurada $g^0(k)$. Es decir, la tasa de recuento ajustada es la cantidad total de privaciones sufridas por los pobres. Por tanto, una interpretación de M_0 indica la proporción de carencias que experimenta la población pobre respecto al máximo posible de privaciones que podría experimentar toda la población (Gallo, Roche, 2012).

Alkire y Foster (2011), señalan en su metodología M_0 es un esquema de trabajo generalizado y flexible para la medición de la pobreza multidimensional, y por tanto dicha metodología puede ser vista o utilizada de diferentes formas, es decir, las dimensiones y las líneas de corte pueden variar, así como pueden variar los pesos ponderados y los niveles de medición (personas, hogares, regiones, países).

4. Clasificación de hogares pobres en la Región Andina

La población objeto de estudio para esta investigación, corresponde a los hogares de la Región Andina de Venezuela que fueron incluidos en la Encuesta de Hogares por Muestreo en el primer semestre del año 2009. La Región Andina está conformada por los estados Mérida, Táchira, Trujillo y Barinas. En relación a la cantidad de viviendas consultadas se tienen 5823 viviendas, y 5861 hogares (en una vivienda puede existir uno o más hogares). En función de los hogares estudiados, la información es desagrega de la siguiente manera (ver tabla 1):

Número de hogares	Mérida	Táchira	Trujillo	Barinas	Total
Un hogar	2031	1839	935	1018	5823
Dos hogares	24	11	0	2	37
Tres hogares	0	1	0	0	1
Total de hogares	2055	1851	935	1020	5861
Total de viviendas	2031	1839	935	1018	5823
Porcentaje de muestra (viviendas)	34,87%	31,58%	16,05%	17,48%	100%
Porcentaje de muestra (hogares)	35,06%	31,58%	15,95%	17,40%	100%

Tabla 1 – Número de hogares y viviendas según estado. Fuente: Elaboración Propia.

4.1. Indicador Multidimensional de Pobreza (IMP)

Antes de aplicar la metodología de Alkire y Foster para obtener el indicador multidimensional de pobreza, se deben definir las dimensiones y los indicadores de cada una de ellas. Se propone utilizar seis dimensiones, las cuales aportan información inherente al consumo final de los hogares, información relacionada a la vivienda, servicios básicos (agua potable, disposición correcta de aguas servidas, electricidad, recolección de residuos sólidos y telecomunicaciones) y miembros del hogar. Del análisis de cada una de ellas, se determina cuál o cuáles modalidades representan privación o carencia.

Dimensión Condición de la Vivienda: Esta dimensión está referida a aspectos de la vivienda donde hace vida un hogar. Está compuesta por tres indicadores: tipo de vivienda, tenencia o propiedad de la vivienda, y las condiciones físicas estructurales y de habitabilidad aparentes de la vivienda.

Dimensión Materiales de Construcción: Esta dimensión se refiere a los materiales que conforman paredes, techo y piso de la vivienda. En términos de condiciones óptimas de una vivienda, se requiere que la composición de las paredes, techo y piso sea de materiales resistentes y duraderos. Está compuesta por tres indicadores.

Dimensión: Adecuación de los Servicios: Esta dimensión se refiere al acceso a servicios básicos, los cuales están relacionados directamente a la calidad de vida y condiciones de salubridad. Estos servicios son: abastecimiento de agua potable, servicio eléctrico, eliminación o recolección de residuos sólidos, disposición correcta de aguas servidas y acceso a los servicios de telecomunicación. Está compuesta por cinco indicadores.

Dimensión Economía del Hogar: Esta dimensión se refiere a aspectos económicos y de ingreso de los hogares venezolanos. En esta dimensión se van a construir dos variables o indicadores: gastos per cápita e ingreso del hogar.

Dimensión Educación: Hace referencia al nivel educativo del jefe del hogar. Es una variable ordinal compuesta por 7 modalidades categorías: sin nivel, preescolar, básica, media diversificada, técnico superior, universitario, postgrado.

Dimensión Salud: En esta dimensión se consideran dos indicadores: proporción de miembros del hogar que están cubiertos por sistemas de previsión social, y el segundo indicador es un indicador sintético basado en componentes principales, construido a partir de un conjunto de 6 variables obtenidas de fuentes oficiales, pero son variables externas de la fuente de datos original¹.

Antes de aplicar la metodología de Alkire y Foster, se creó un perfil de privaciones, a través de un análisis de correspondencia múltiple realizado a cada dimensión, lo que permitirá identificar los hogares multidimensionalmente pobres. Ahora bien, en el proceso de agregación se desarrolla la metodología en función de carencias, así a mayor valor de una variable para un determinado hogar, mayor carencia presentará en dicha característica. Este enfoque basado en las carencias, implica un cambio en la desigualdad planteada por Alkire y Foster, es decir, en el trabajo original proponen que el hogar Y_i presenta una carencia o privación en la dimensión j cuando el valor presentado en determinada variable es menor que la establecida como línea de corte, es decir, cuando se cumple que $Y_{ij} < Z_j$, siendo ($Z_j > 0$) la línea de pobreza (o corte de privación) en la dimensión j . En este sentido, para el caso particular de esta investigación se plantea la siguiente desigualdad: un hogar presentará privación cuando $Y_{ij} > Z_j$.

Dentro de la metodología de Alkire y Foster (2007) existen tres índices en particular que deben ser calculados, en primer lugar la tasa de recuento denotada por H y definida matemáticamente por el cociente $H = q/n$ donde q es la cantidad de hogares pobres identificados al utilizar la línea de corte dual. Luego se requiere calcular el índice conocido como intensidad de la pobreza multidimensional, el cual está denotado por A y definido por:

¹ Para construir este indicador se utilizó la información de seis variables relevantes: porcentaje de muertes por desnutrición infantil, tasa de mortalidad infantil, supervivencia infantil, esperanza de vida al nacer, camas hospitalarias y porcentaje de niños cubiertos de enfermedades infecciosas. Por la naturaleza de este tipo de variables, están referidas a una zona geográfica determinada, que en este caso corresponden a los Estados. A través de un análisis de componentes principales se construye el indicador sintético de salud, y posteriormente con la aplicación del barómetro de la sostenibilidad se propone una escala de clasificación para cada Estado, de manera similar a lo propuesto por Pérez y Hernández (2015) para convertir dicho indicador sintético en una variable ordinal.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n c_i(k)}{(qd)}$$

Finalmente, se debe calcular el tercer índice, en el cual yace la mayor importancia, este índice es conocido como la tasa de recuento ajustada M_0 . El cual se calcula mediante el producto simple entre los índices parciales H y A .

Ahora bien, para establecer los pesos se utiliza el criterio señalado por Alkire y Santos (2010), donde se introduce la misma ponderación para cada una de las dimensiones, y dentro de cada dimensión la misma ponderación entre los diferentes indicadores que la conforman. Como paso de validación, se requiere que la suma de todos los pesos ponderados (W_j) en todas las dimensiones debe ser igual al número total de dimensiones, es decir:

$$\sum_{j=1}^d w_j = d$$

La metodología de Alkire y Foster (2007), requiere establecer una segunda línea de corte k para lograr formar el corte dual, esto con el objetivo de identificar aquellos hogares que pueden ser considerados multidimensionalmente pobres. Se debe escoger un valor de $k > 0$, el cual se puede establecer mediante el enfoque propuesto por Alkire y Santos (2010), donde se determina que un hogar es multidimensionalmente pobre si los indicadores ponderados en los que sufre privaciones suman un valor como mínimo del 30% del total de los indicadores considerados.

El valor k mediante el cual se identifican a los hogares multidimensionalmente pobres está dado por: $K = 16 * 0,30 = 4,8$. Lo que significa que un hogar es considerado pobre multidimensional cuando el número de privaciones ponderado sea mayor o igual a 4,8.

Se presentan a continuación en la tabla 2, los cálculos de los índices propuestos por la metodología Alkire y Foster (2007, 2011) para la medición multidimensional de la pobreza.

Estado	n	d	q	$H = q/n$	$\sum c_i(k)$	$A = \sum c_i(k)/qd$	$M_0 = H * A$
Barinas	1020	16	502	0,49215	3322,57187	0,41366	0,20358
Mérida	2055	16	275	0,13381	1692,26436	0,38460	0,05146
Táchira	1851	16	618	0,33387	3996,52705	0,40417	0,13494
Trujillo	935	16	518	0,55401	3669,94884	0,44280	0,24531
Región	5861	16	1914	0,32656	12681,3121	0,41409	0,13522

Tabla 2 – Cálculo de H , A y M_0 para la Región Andina. Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se puede apreciar que en la Región Andina el Estado Trujillo es en el que se identifican más hogares multidimensionalmente pobres, de hecho el 55% de los hogares han sido clasificados como pobres, y en segundo lugar el Estado Barinas

presenta un 49% de hogares multidimensionalmente pobres². En el Estado Táchira se identifican 33% y en el Estado Mérida 13%. El estado Trujillo es el máximo para todos los índices H , A y M_0 , donde la tasa de hogares pobres multidimensionales supera el 50%, la intensidad de la pobreza es de 44% y la tasa de recuento ajustada acumula un 24%.

Al examinar la intensidad de la pobreza “A” en la Región Andina, se aprecia que en los cuatro Estados se encuentra alrededor del 40%, lo que implica que el hogar pobre promedio se encuentra en una situación de carencia o privación de las dimensiones consideradas alrededor del 40%. La tasa de recuento ajustada resultante para la Región Andina es de 0,1352 ó de 13,52%, lo que representa el total de privaciones que tienen los pobres, representa el 13,52% del máximo posible de la población en estudio.

4.2. Clasificación de hogares pobres usando redes neuronales

Una vez obtenido el IMP, es posible generar los patrones de entrada, que son insumo para el entrenamiento de las redes. En primer lugar, se establece que la variable dependiente es *IMP* (pobre o no pobre), ahora para el caso de las variables de entrada se realizan dos ensayos:

- 16 variables de entrada que corresponden a los indicadores utilizados en el IMP
- 6 variables de entrada que corresponden a los indicadores parciales de las 6 dimensiones consideradas

Seguidamente, se inicia la etapa de partición de los patrones en dos conjuntos: conjunto de entrenamiento y conjunto de validación. El primero de estos conjuntos corresponde al conjunto de datos que será parte del entrenamiento de las redes, y se ha seleccionado el 80% de los hogares para cada uno de los Estados. Con esta muestra se ajustan los modelos de redes neuronales perceptrón multicapa (MLP) y redes de funciones de base radial (RBF), y el conjunto del 20% de los datos se utilizarán para medir la bondad de ajuste o poder de clasificación.

A través del software SPSS versión 20 (IBM, 2017), se configura todo lo relacionado a la arquitectura o topología de la red (número de capas ocultas, función de activación, número de unidades y función de activación de la capa de salida). A continuación se presentan los resultados y posteriormente la comparación de la clasificación obtenida con ambos tipos de redes.

Al examinar los errores de clasificación obtenidos con los modelos de redes neuronales basados en el algoritmo de retropropagación (tabla 3), se aprecia que éstos son muy pequeños, logrando en algunos casos una clasificación casi perfecta con un error en la etapa de entrenamiento de 0,10% y 0,20% en la etapa de validación. Con estas características se encuentran dos modelos, uno de los cuales tiene en su topología 16 entradas (los indicadores simples) y el otro 6 entradas (los indicadores parciales). Si se selecciona el modelo más sencillo o parsimonioso se selecciona el modelo que tiene 6 entradas, 1 capa oculta con 9 neuronas y una neurona en la capa de salida.

² Al consultar sobre las cifras oficiales de pobreza para este mismo periodo, el Instituto Nacional de Estadística reporta para los Estados de la Región Andina las siguientes cifras en términos del porcentaje de hogares pobres (incluyendo pobres y pobres extremos) con los métodos de la línea de pobreza (LP) y necesidades básicas insatisfechas (NBI): Barinas 45,38% (LP) 45,07% (NBI), Mérida 28,16% (LP) 28,54% (NBI), Táchira 22,38% (LP) 22,64 (NBI) y Trujillo 33,18% (LP) 34,16% (NBI).

Topología de la Red				Función de Activación		Error de Clasificación	
En-sayo	En-tradas	Capas Ocultas	Neuronas Capa Oculta	Entrada y Capa Oculta	Salida	Entrena-miento	Vali-dación
1	16	1	10	Tangente Hiperbólica	Identidad	0,20%	0,30%
2	16	1	10	Sigmoide	Identidad	0,10%	0,20%
3	16	1	1	Tangente Hiperbólica	Identidad	1,20%	0,50%
4	16	1	1	Sigmoide	Identidad	0,40%	0,10%
5	6	1	9	Tangente Hiperbólica	Identidad	0,10%	0,20%
6	6	1	9	Sigmoide	Identidad	0,20%	0,60%

Tabla 3 – Resumen Mejores Modelos de Redes Neuronales Perceptrón Multicapa.
Fuente: Elaboración propia.

Al examinar los errores de clasificación obtenidos con los modelos de redes de base radial (tabla 4), se aprecia que éstos son superiores a los errores obtenidos con las redes MLP. En estos modelos se registra un error máximo de 27,5% en la etapa de entrenamiento y un error mínimo de 4,8%. Sin embargo, al proponer un modelo de clasificación para los hogares multidimensionalmente pobres, será un modelo basado en el algoritmo de retropropagación descrito anteriormente.

Topología de la Red				Función de Activación		Error de Clasificación	
En-sayo	En-tradas	Capas Ocultas	Neuronas Capa Oculta	Entrada y Capa Oculta	Salida	Entrena-miento	Vali-dación
1	16	1	10	Gaussiana (Softmax)	Identidad	7,50%	7,60%
2	16	1	5	Gaussiana (Softmax)	Identidad	7,40%	7,40%
3	16	1	1	Gaussiana (Softmax)	Identidad	27,00%	27,50%
4	6	1	8	Gaussiana (Softmax)	Identidad	6,90%	5,50%
5	6	1	5	Gaussiana (Softmax)	Identidad	4,80%	5,40%
6	6	1	1	Gaussiana (Softmax)	Identidad	27,50%	25,80%

Tabla 4 – Resumen Mejores Modelos de Redes de Base Radial. Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta la obtención de un indicador de pobreza multidimensional para la Región Andina de Venezuela, basado en la metodología de Alkire y Foster para

datos ordinales. Para el diseño de este indicador se consideraron 6 dimensiones y 16 indicadores simples.

En el proceso de obtención de los indicadores parciales asociados a cada dimensión, específicamente en la dimensión salud, se construyó un indicador sintético basado en componentes principales, con el que fue posible generar una escala la clasificación y asignar a cada hogar la clasificación correspondiente. Adicionalmente, a través del análisis de correspondencia múltiple se pudo obtener o generar el perfil de privaciones en las distintas dimensiones analizadas, lo que permitió clasificar a los hogares como multidimensionalmente pobres o no.

La metodología propuesta por Alkire y Foster constituye una importante herramienta para la medición de la pobreza multidimensional, y en el caso de la Región Andina de Venezuela los resultados obtenidos reflejan que los hogares de Mérida y Táchira presentan en general mejores condiciones de vida, en cambio los hogares de los Estados Barinas y Trujillo resultan mayor perjudicados, siendo Trujillo el de mayor incidencia en la pobreza, puesto que obtuvo un 55% de hogares pobres para el primer semestre del año 2009. Al comparar estos resultados con las cifras oficiales reportadas por el Instituto Nacional de Estadística, el Estado Barinas es el que presenta mayor incidencia de hogares pobres y oscila alrededor del 45%.

Al ajustar modelos de redes neuronales usando el algoritmo de retropropagación y funciones de base radial, se diseñaron distintas topologías de redes neuronales, en las cuales se consideraron como variables de entrada los 16 indicadores simples o los 6 indicadores parciales de las dimensiones analizadas. Al analizar los errores de clasificación, se pudo evidenciar que los modelos basados en el algoritmo de retropropagación o perceptrón multicapa tuvieron errores de clasificación bastante reducidos. Algunos modelos mostraron una clasificación casi perfecta tanto en la etapa de entrenamiento como de la etapa de generalización (conjunto de validación). En los modelos de funciones de base radial se obtuvo resultados un poco menos prometedores, hallazgo que se puede atribuir a la naturaleza de los datos. No obstante, ambos modelos de redes presentan una capacidad de clasificación bastante elevada.

Es de vital importancia ampliar la cobertura de este análisis para todo el país, con la intención de conocer los Estados más afectados por la pobreza multidimensional, para así poder elaborar un ranking que permita identificar correctamente las necesidades de dichas regiones, y diseñar las políticas apropiadas a cada caso. Es necesario actualizar la investigación con datos más recientes, a fin de obtener estimaciones de la incidencia de la pobreza multidimensional más actualizadas.

Referencias

- Alkire, S. Foster, J. (2007). Recuento y medición multidimensional de la pobreza. Oxford Poverty & Human Development Initiative (OPHI), WP-No. 38.
- Alkire, S. Foster, J. (2011). Understandings and Misunderstandings of Multidimensional Poverty Measurement. Oxford Poverty & Human Development Initiative (OPHI), WP-No. 43.

- Alkire, S. Santos, M. (2010). Acute Multidimensional Poverty: A New Index for Developing Countries. Oxford Poverty & Human Development Initiative (OPHI), WP-No. 38.
- Colacce, M. Tenenbaum, V. (2016). Pobreza y Privaciones múltiples en la infancia en Uruguay. Comisión Económica para América Latina (CEPAL).
- Deleeck, H., Van Den Bosch, K. y De Lathouwer, L. (1992) Poverty and the adequacy of social security in the EC, Aldershot: Avebury.
- Flores, J. (2015). Clasificación mediante Redes Neuronales y Conglomerados No Jerárquicos de las condiciones de vida de los Hogares de Bolivia. Instituto de Estadística Teórica y Aplicada, Bolivia.
- Gallo C., Roche J. (2012). Análisis Multidimensional de la pobreza en Venezuela por entidades federales entre 2001 y 2010. Banco Central de Venezuela. Serie de Documentos de Trabajo [No. 131].
- IBM Statistics SPSS. (2017). IBM Statistics SPSS versión 20. Versión 20 de prueba. Disponible en: <https://www.ibm.com/analytics/es/es/technology/spss/spss-trials.html>
- Instituto Nacional de Estadísticas (2011). Ficha técnica de Índice Estatal de Nivel de Vida (IENV). Caracas, VE.: Recuperado de <http://www.ine.gov.ve>
- Márquez, V. (2004). Análisis estadístico de Presupuestos Familiares en Venezuela. Universidad de Los Andes (ULA). Mérida – Venezuela.
- Peña E., Nava L. (2015). Un indicador de pobreza multidimensional alternativo para Venezuela. Innovaciencia facultad ciencias exactas fis. Naturales. 2015; 3(1): 29 – 40.
- Pérez, A. Hernández, M. (2015). Propuesta de indicador de Desarrollo sostenible para la República Bolivariana de Venezuela. Universidad de La Laguna. Facultad de Economía, Empresa y Turismo. Tenerife – España.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe 2015.
- Ravallion, M. (1992). Poverty Comparisons A guide to Concepts and Methods. Banco Mundial. LSMS -88.
- Sen, A. (1992). Sobre conceptos y medidas de pobreza. Comercio exterior, vol 42. Núm 4.
- Torres, E. Guirao, G. (2013). Evolución de la pobreza en Venezuela. Un estudio de los enfoques estático y dinámico. Universidad de La Laguna. Facultad de Economía, Empresa y Turismo. Tenerife – España.

Salud y nuevas tecnologías de la información y la comunicación: caracterización del objeto del derecho a la salud en la era digital

Marilena Asprino Salas¹, Carmelo Márquez-Domínguez², Luz Marina Pereira González³, Gabriela Aguirre Hernández¹, Carmen Marieta Bayas Zambrano⁴, Juan Carlos Suárez Villegas⁵

mcasprino@pucesi.edu.ec; carmelomarquez@gmail.com; @luzarayma@gmail.com; gpaguirre@pucesi.edu.ec; c_bayas@hotmail.com; jcsuarez@us.es

¹ Pontificia Universidad Católica de Ecuador Sede Ibarra. 100150, San Miguel de Ibarra, Ecuador.

² Independiente, 11100, San Fernando, España.

³ Nodo Venezolano de Pensamiento Complejo, Universidad de Los Andes, Venezuela; Educación en Línea, Universidad Técnica del Norte. 100150, San Miguel de Ibarra, Ecuador.

⁴ Independiente, 130203, Manta, Ecuador.

⁵ Universidad de Sevilla, 41004, Sevilla, España.

Pages: 374–387

Resumen: La percepción social de la salud y la definición construida en torno a esta ha venido cambiando a lo largo del tiempo como reflejo de los valores imperantes en las diferentes etapas de la evolución humana y del desarrollo de la ciencia, demandando respuestas igualmente dinámicas por parte del derecho para su garantía y protección. A partir del siglo XX –dada su importancia para la calidad de vida y la dignidad de las personas– la salud es protegida a través del sistema internacional de los derechos humanos, estando ambos afectados por el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación alcanzado por la sociedad contemporánea. La investigación consiste en una reflexión académica sobre el tema desde una perspectiva multidisciplinar, a la luz de la definición de salud elaborada en la postmodernidad y de los riesgos que la amenazan en la era digital.

Palabras-clave: salud mental; derechos humanos; redes sociales; TIC.

Health and new information and communication technologies: characterization of the object of the right to health in the digital age

Abstract: The social perception of health and the definition built around it has been changing over time as a reflection of the prevailing values in the different stages of human evolution and the development of science, demanding equally dynamic responses from the right for its guarantee and protection. Since the twentieth century –on account of its importance for the quality of life and dignity of people– health is protected through the international human rights system, both

being affected by the development of information and communication technologies reached by contemporary society. The research consists in an academic reflection on the subject from a multidisciplinary perspective, in the light of the definition of health developed in postmodernity and of the risks that threaten it in the digital age.

Keywords: mental health; human rights; social networks; TIC.

1. Introducción

El derecho es una creación cultural que pretende ordenar la conducta de los individuos en sociedad; protege un conjunto de bienes e intereses considerados como “buenos” o “valiosos” y los convierte en objeto de tutela. Dentro de la dogmática jurídica, esto se relaciona con la tesis del bien jurídico protegido (cuyo origen se ubica en el derecho penal), que ha servido para legitimar el ejercicio del *ius puniendi* por parte del Estado en aras de la salvaguarda de tales bienes (Varela Ventura, 2011). Esta teoría ha brindado, además, el soporte teórico necesario para explicar la selección de intereses socialmente relevantes realizada por el legislador con la consecuente creación de los tipos penales adecuados para protegerlos.

Si bien es cierto que esta tesis no es unánimemente aceptada en la doctrina internacional, es un aporte de gran relevancia para la ciencia jurídica que, a simple vista, pareciera no tener pertinencia en un estudio de esta naturaleza. Sin embargo, más allá de esa primera valoración, es conveniente recordarla porque sirve para evidenciar la indisoluble relación existente entre derecho y sociedad, entre la norma jurídica (como fuente de derechos) y los bienes socialmente relevantes, aspecto abordado de manera fundamental en la investigación realizada.

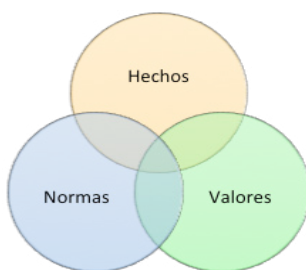


Figura 1 – Tridimensionalidad del Derecho (Reale & Mateos, 1997).

Esa función modeladora encuentra en la tesis de la tridimensionalidad del derecho, propuesta por Luis Recasens Siches, Miguel Reale y otros juristas, la vía positivista para exponer la convergencia que se da en el fenómeno jurídico de tres dimensiones diferentes: una fáctica, una axiológica y otra normativa, dando lugar a la conformación de un sistema dinámico (figura 1).

La tríada ontológica propuesta permite concebir a la norma jurídica como un producto histórico-cultural, tanto del impulso axiológico de la sociedad canalizado a través del legislador, como del imaginario social vigente para el momento de su creación. En este sentido, se ha querido disertar en este trabajo sobre los cambios producidos en la

percepción social de la salud y en la forma de ser valorada por parte del conglomerado social, a fin de justificar y respaldar las transformaciones que se están produciendo en su regulación como derecho social, categoría de derechos fuertemente impactada por el desarrollo de las aplicaciones tecnológicas comunicacionales y de la información experimentado en las últimas décadas.

El logro del objetivo señalado, demandó conocer la manera en que ha venido evolucionando el concepto de salud a lo largo de la historia como eco de la movilidad axiológica de la sociedad; identificar sus rasgos más destacados en el postmodernismo, para poder trabajar con una definición vigente, oportuna y pertinente; identificar y sintetizar las características más destacadas de la sociedad contemporánea, por cuanto constituye el marco de realidad en que está gestándose el nuevo concepto de salud; y reflexionar sobre los efectos del desarrollo de las comunicaciones y las nuevas tecnologías de la información en la protección de los derechos sociales, en el contexto más amplio de los derechos humanos.

2. Materiales y métodos

La investigación fue abordada desde un enfoque cualitativo, que permitió la aproximación al tema sin tener que agotar etapas exactamente definidas ni secuenciadas dentro de un proceso rígido y, así, observar el devenir natural de los hechos y situaciones tal y como son. En la medida en que fueron obteniéndose los datos, se procesaron y articularon hasta llegar a elaborar una propuesta teórica original que conjuga con libertad, pero con rigor científico y coherencia, la multiplicidad de elementos que se hicieron presentes en la investigación.

Su desarrollo se llevó a cabo desde una óptica multidisciplinaria, gracias a la diversidad de campos del saber científico representados por los investigadores: derecho público, derechos humanos, comunicación social, relaciones internacionales, filosofía e ingeniería de sistemas. Por coincidir todos por vez primera en el abordaje del tema desde esta perspectiva integradora y holística, el estudio corresponde a la tipología de los modelos investigativos exploratorios, dirigidos a la obtención de una mayor comprensión del fenómeno, sin pretensiones de alcanzar de manera imperativa resultados concluyentes.

La naturaleza del tema a investigar, así como el enfoque y el nivel de la investigación respaldan la elección del método hermenéutico para su desarrollo, en el sentido expuesto por Hans Georg Gadamer, considerado por Aguilar (2002), el padre de la hermenéutica filosófica contemporánea.

Como puede observarse, la comprensión es el elemento clave dentro de la propuesta teórica de Gadamer, quien afirma que captar su verdadero sentido requiere el apoyo de la historia y la tradición, siendo el diálogo, el medio de expresión del dinamismo a través del cual se puede transitar de la una a la otra, en base al juego de la pregunta y la respuesta (Gobierno Vasco, 2020, s.p).

El diálogo, convertido así en técnica, fue utilizado por los investigadores a lo largo del desarrollo de la investigación, como medio para encontrar soluciones y generar conocimientos, sobre la consideración de que “lo que permite esta comunicación con

el otro, es que participamos de la misma historia humana y que compartimos lo que representa, sus problemas y desafíos” (Hermanus Demon, 2013, p. 62).

Siguiendo la propuesta de Gadamer, el elemento histórico y la tradición se incorporaron en el estudio en los apartados correspondientes a la evolución de la percepción social de la salud y a la valoración de los efectos del desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la regulación del derecho a la salud como derecho social, con el fin de dar a la comprensión del fenómeno un acabado lo más cercano posible a la realidad.

Además del diálogo, se utilizaron otras técnicas, como la observación no estructurada de la dinámica de la sociedad contemporánea, de sus valores más destacados y del papel desempeñado por las TIC en las relaciones sociales y esquemas comunicacionales; y la revisión documental de la obra de diversos autores relevantes para el estudio, tanto en su versión física como digital, aprovechando las ventajas ofrecidas por las bases de datos de reconocida calidad científica y por la sistematización de los resultados de las investigaciones académicas contenida en repositorios digitales.

En la revisión del estado del arte de los posibles impactos de las nuevas tecnologías en la salud, se ha recurrido en primera instancia a información y datos oficiales suministrados por organismos encargados de gestionar políticas sanitarias a nivel internacional, así como a los resultados de investigaciones realizadas tanto por Microsoft, compañía tecnológica multinacional, como por Symantec, compañía estadounidense que proporciona servicios de ciberseguridad a nivel mundial.

3. Estado del arte

Para conocer el estado del conocimiento sobre el tema, se estimó conveniente dividirlo en dos áreas: la primera corresponde a la evolución de la percepción social de la salud y su concepción actual; la segunda sintetiza las notas fundamentales de la protección de la salud como derecho social en el contexto de los derechos humanos y la repercusión que, en éstos, ha tenido el desarrollo de las TIC.

3.1. Salud y sociedad: evolución del concepto

Mucho antes de ser reconocida y tutelada a través de derechos específicos, la idea de salud ya existía y era percibida individual y colectivamente, sin que fuesen necesarios mecanismos formales que la objetivaran; y es que estar saludable es una condición perceptible por la persona en sí misma, pues se opone al estado de enfermedad. Desde esta perspectiva, la salud es, antes que concepto, experiencia. Bien-estar y mal-estar son los polos dentro de los cuales oscila el estado físico, mental y emocional de los seres humanos, quienes, aún en ausencia de conceptos elaborados por la ciencia, pueden percibirlos.

Pero, aparte de experiencia vital, la salud es un constructo social y cultural, por tanto, no ha sido percibida por la sociedad de una manera única, ni ha permanecido inmune a los cambios del devenir social, por el contrario, el concepto evidencia una marcada evolución, directamente relacionada con las transformaciones epistemológicas de la ciencia. Para el desarrollo de este apartado, se aprovechó el aporte de María del Carmen

Vergara Quintero, intitulado *Tres concepciones históricas del proceso salud-enfermedad* (2007), del cual se han obtenido los rasgos más significativos de este proceso, los cuales se exponen seguidamente de manera resumida.

Dentro de la concepción tradicional de la salud, el aspecto más destacado en sus inicios es la presencia del componente mágico-religioso y la consecuente intervención de personas dotadas de “capacidades especiales” para restablecerla que fungían de mediadores entre los dioses y los mortales (curanderos), paradigma confrontado por Galeno (nacido en el año 131 A.C), quien cuestionó la intervención divina como origen del estado de salud o enfermedad. Sin embargo, la percepción sobrenatural de la enfermedad se mantuvo hasta la Edad Media. Con el advenimiento de la Edad Moderna y el florecimiento de la ciencia, merma tal percepción y se amplía la esfera de causalidades, más allá del individuo.

La consideración del medio ambiente como fuente de enfermedades dio lugar al nacimiento del modelo epidemiológico clásico, formado por la tríada huésped, hospedero y ambiente. En esta primera etapa epistemológica, el año 1.946 tiene especial relevancia por haber visto la luz la definición de salud creada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual fue aceptada y reconocida de manera general y enunciada en los siguientes términos: “estado de completo bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de enfermedad”.

A criterio de muchos, esta definición toca el plano de la irre realidad, al romper la estructura bipolar salud-enfermedad y adoptar la idea de un equilibrio permanente, resultante de diversos factores naturales y sociales en continua interacción (Vergara Quintero, 2007).

En lo que respecta a la concepción moderna de la salud, se distingue por albergar la crisis del modelo biomédico tradicional, pues aun manteniendo éste su preponderancia, comenzó a enfrentar severas críticas por su deshumanización y su racionalidad, exclusivamente técnico-instrumental (Vergara Quintero, 2007), para dar paso –a partir de la década de los 70– a un proceso de cambio aún en desarrollo, donde el concepto de salud está siendo influido por nuevas posiciones surgidas desde el lenguaje de las sociedades.

Esta concepción posmoderna se caracteriza por la búsqueda de la comprensión de las realidades socialmente constituidas, más allá de las relaciones causales y del historicismo. Destaca el aporte de Foucault, “para quien la enfermedad inicia en una organización, jerarquización dada por las familias, el género y las especies” (Vergara Quintero, 2007, p.48). El llamado post-estructuralismo rechaza las definiciones empiricistas de lo que construye la estructura social y pone el punto focal de interés en el lenguaje como estructura semiótica.

Precisamente, una de las áreas de la vida humana más impactadas por el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información es el lenguaje, circunstancia que se retomará en párrafos posteriores. Además de la autora citada, han aportado sobre este particular Marta Valentín Gavidia (2012) con su obra *La Construcción del Concepto de Salud*; Aníbal León y Luis Guerrero (2008) a través de su *Aproximación al concepto de salud*; y Judith Martínez Abreu et al (2014) con el título *Salud ambiental, evolución histórica conceptual y principales áreas básicas*.

3.2. El derecho a la salud y la evolución de los derechos humanos en la era digital

Es ampliamente conocida la tipología de los derechos humanos surgida de las denominadas “generaciones de derechos” propuestas por el jurista Karel Vasak en 1999 (Uribe Vargas, 1999). Su planteamiento, hecho en base a los valores de las sociedades europeas, ha adquirido un carácter cuasi-universal por la importancia que éstos tienen para materializar una vida digna. Algunos tratadistas han propuesto extenderla hasta una cuarta generación de derechos, sin estar del todo de acuerdo sobre el valor en torno al cual deben orbitar. Por ejemplo, Bustamante (2001) los relaciona con el imperativo ético de sujetar el uso de las nuevas tecnologías al respeto de los derechos humanos.

Por su parte, Riofrío Martínez-Villalba (2014) los identifica con los derechos digitales, considerando que su fundamentación reside en la necesidad de proteger a las personas ante actividades potencialmente lesivas y que aún no están perfectamente reguladas por el derecho.

En este panorama de incertidumbre, los derechos sociales, económicos y culturales (correspondientes a la segunda generación de derechos humanos) pueden resultar lesionados por el uso de las aplicaciones tecnológicas de la información y comunicación. Su defensa demanda, por parte de los Estados, el diseño e implementación de políticas públicas acordes con los objetivos de tutela del bien protegido, no sólo para cumplir con los estándares esenciales establecidos por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la ONU a través de su Observación General 14, también para regular las interacciones en las redes para salvaguardar la salud de los cibernautas, lo que conduce a la controversia planteada por el posible abuso por parte del Estado en el ejercicio de sus facultades de limitación y control de estas actividades, en perjuicio de la libertades individuales.

Ahora bien, la propia OMS (2001) en su *Informe sobre la Salud en el Mundo 2001. Salud Mental: Nuevos conocimientos, nuevas esperanzas*, relaciona “los trastornos mentales y del comportamiento con factores sociales como la urbanización, la pobreza y la evolución tecnológica” (p.29); y alude al carácter ambivalente del desarrollo de las TIC, al relacionar las bondades de algunas aplicaciones y los riesgos implícitos en el uso de las mismas.

Investigaciones como la desarrollada por Fernández Sánchez (2013) sobre los trastornos de conducta y las redes sociales en Internet,

describen y analizan los conceptos relacionados con las redes sociales en Internet, la adicción psicológica y los trastornos de conducta desde una perspectiva psicológica con el fin de comprender el fenómeno de la persistencia de uso de las RSI y sus posibles implicaciones (p.521),

llegando –el autor– a identificar y explicar aquellas conductas del usuario de las redes que se identifican con el síndrome tipo adictivo.

Sobre la adicción a las redes se encuentra abundante literatura especializada, pudiendo citar: *La adicción a Internet y al móvil: ¿moda o trastorno?* de Sánchez-Carbonell et al (2008); *Adicción a internet: revisión crítica de la literatura* de Navarro-Mancilla

y Rueda Jaimes (2007); y *La adicción a los videojuegos en el DSM-5* de Xavier Carbonell (2014).

4. Resultados y discusión

El uso de las nuevas tecnologías de información, sin lugar a dudas, ha abierto una gama de posibilidades inimaginables para la ciencia, mas no todo ha sido positivo. Podría afirmarse que el desarrollo tecnológico ha traído consecuencias que pueden ser ubicadas en polos opuestos. El progreso de la tecnología ha significado, por un lado, la posibilidad de salvar una vida o de curar enfermedades; de formar equipos inter, multi- y transdisciplinarios para colaborar en investigaciones; de realizar estudios a distancia; de crear nuevas e inusitadas formas de entretenimiento; de acercar a las personas que se encuentran geográficamente distantes; y, por otro, puede ser una herramienta capaz de arrebatarse la salud, la seguridad, la justicia, la equidad e, incluso, la vida a las personas.

En esta investigación, se procesaron y analizaron los datos obtenidos sobre los efectos negativos del uso de las TIC en la salud de las personas, los cuales se presentan a continuación. Desde hace años ha existido preocupación en padres de familia y docentes en relación a las consecuencias que puede traer para los niños y adolescentes el uso excesivo del celular y los videojuegos (Quintero Corzo, Munévar-Molina, Munévar-Quintero, 2015).

La luz azul, presente en computadores y teléfonos celulares, afecta el ritmo circadiano que es el responsable de regular los ciclos naturales de sueño y vigilia en el ser humano. Durante el día, la luz azul proveniente del Sol mejora los procesos cognitivos, la concentración y el estado de alerta (Sánchez Barceló, 2017); pero su exposición en las horas previas al descanso nocturno puede hacer que resulte más difícil conciliar el sueño y ello puede suceder aun cuando se activen los modos protectores nocturnos incorporados en tales dispositivos para que la luz parezca más cálida. La privación crónica del sueño puede derivar en problemas importantes de salud, entre ellos diabetes de tipo II, incrementar el riesgo de ansiedad, depresión y deficiencias cognitivas, por lo que es recomendable, durante la noche, reducir el brillo de la pantalla o simplemente apagar el dispositivo.

No obstante, debe señalarse que, según el Doctor en Medicina (MD) Rahul Khurana, cirujano vitreoretiniano, vocero de la Academia Americana de Oftalmología, no existe ninguna evidencia científica que permita sostener que la luz azul emitida por las pantallas de computadoras, tabletas, televisores y celulares, sea más nociva para los ojos que la luz azul natural (Vimont, 2017). Según Khurana, el efecto que sí puede ser producido por mirar la pantalla de dispositivos electrónicos durante períodos prolongados es el cansancio ocular digital, debido a que, al parpadear menos veces, los ojos se resecan y se sienten cansados, pero asegura que estas molestias no producen daños oculares permanentes.

Por su parte, mayor alerta genera cuando una persona invierte gran parte de su tiempo en videojuegos. La OMS (2019a), luego de un proceso de consulta de cuatro años para analizar las repercusiones que podrían tener el uso indebido de los videojuegos en la salud pública, en su última Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11) que permite identificar tendencias y estadísticas de salud a nivel internacional, incluyó el

trastorno del juego en la sección de trastornos adictivos. En el nuevo registro (6C51), señala que cuando el uso de videojuegos se vuelve persistente intentando obtener algún tipo de recompensa e impide que los individuos puedan realizar de manera normal el resto de sus actividades, se está en presencia de un trastorno debido a un comportamiento adictivo que se puede producir tanto en línea (por internet) como fuera de línea.

Las manifestaciones que presenta el individuo que padece este trastorno, según lo establecido por la OMS, son:

1. Pérdida de control sobre el juego: relacionada con el inicio, la frecuencia, la intensidad, la duración, la terminación y el contexto de su desarrollo.
2. Priorización del juego por encima de otros intereses y actividades cotidianas.
3. Continuación o incluso aumento en la intensidad del juego, aun cuando ello traiga consecuencias negativas.

En la búsqueda de delimitar mejor este trastorno, en su Boletín 97, la OMS (2019b) presentó los resultados de la investigación del Dr. Susumu Higuchi, director del Centro de Medicina y Tratamiento de Adicciones de Kurihama, Japón, quien inició en su país el primer programa para tratar la adicción a internet y a los videojuegos en 269 pacientes, de los cuales el 75% se encuentra en edad escolar y 215 son hombres. La OMS informa que el Dr. Higuchi ha encontrado en sus pacientes síntomas que se identifican claramente con los establecidos en la clasificación del trastorno, señalados anteriormente.

Según se informa en el mencionado Boletín, la prevalencia de este trastorno presenta resultados similares en distintas zonas geográficas, habiéndose encontrado valores que oscilan entre 0,7% y 27,5% en Japón y entre un 1% y un 10% en Europa y Norteamérica. Mientras que estudios realizados en Suiza revelan que cerca del 1% de la población hace un uso de internet que catalogan como “problemático”, encontrándose una mayor prevalencia en el sexo masculino que en el femenino. El tratamiento del trastorno se plantea obtener que el paciente reconozca que posee un problema de adicción y logre reconectar con la realidad.

Adicionalmente, los videojuegos, la televisión y los computadores, debido a sus luces intermitentes, presentan un riesgo importante para personas que padecen de epilepsias fotosensibles. Si en el mundo, unos 50 millones de personas tienen epilepsia (OMS, 2019c) y el 2% de las epilepsias son fotosensibles (González et al, 2016), habría un millón de personas en riesgo a nivel mundial. Basados en estudios clínicos, algunos neurólogos consideran que eliminar los estímulos que causan las crisis de este tipo de epilepsia es más importante que el tratamiento a través de fármacos (Pozo Lauzán, Pozo Alonso, Vega Trujillo y Martín Ledón, 2011).

La incursión de sofisticados avances en el campo de la Tecnología Sanitaria también ha tenido sus dificultades. La Organización Panamericana de la Salud (2000) sostiene que, debido a la presión externa producida por las industrias y los potenciales usuarios, se implementan nuevas tecnologías para el diagnóstico y terapéutica, sin que se haya evaluado de una forma rigurosa el impacto real, desde el punto de vista clínico, las consecuencias éticas, así como la incidencia en los ámbitos económico y social. Esto ha traído como consecuencia desde resultados sanitarios que vulneran la equidad, la justicia y los derechos humanos, debido, por ejemplo, a que comunidades de escasos recursos no tienen acceso a intervenciones médicas de alta tecnología (Fong y Harris, 2015),

hasta muertes producidas por el *bullying* (acoso) y el *trolling* (ofensas) que prolifera en las redes sociales.

Con la aparición progresiva de Facebook en 2004, Twitter en 2006 e Instagram en 2010, el mundo de las relaciones sociales cambió para siempre. A diferencia de Facebook –en donde se tiene absoluto control de las personas cuya “amistad” es aceptada por el usuario– en Twitter, más allá del bloqueo discrecional que se haga a cuentas que al usuario le resultan incómodas por alguna razón, no hay ningún tipo de control en relación a los “seguidores” que puede tener una persona. Adicionalmente, Twitter permite que, a pesar de que no se siga la cuenta de una determinada persona, si los usuarios de las cuentas seguidas hacen retuit a los mensajes de una tercera persona y lo permite la confluencia del tiempo en línea, alguien en particular pueda presenciar, en tiempo real, el desarrollo de una disputa entre aquella y otros usuarios, aunque no los siga. A continuación, se ilustra este fenómeno con un caso real:

- El 13 de julio en horas de la noche, un usuario (IT) intentando realizar un experimento social (tal y como confesaría él mismo antes de borrar su cuenta y desaparecer de la Red), calificó a una reconocida escritora venezolana, de “fea”.
- El 14 de julio a las 6:05 horas, un seguidor de la escritora (RH) respondió en lenguaje soez al del experimento social diciéndole que según su foto de perfil parecía gay, a lo que la escritora respondió a las 6:09 horas con una estruendosa “carcajada”. A las 6:12 horas, entra en escena BA, quien reclama a RH por tildar a IT de homosexual. No hay forma de verificar si BA era una seguidora de la escritora o llegó a este intercambio de mensajes de manera casual.
- A las 6:16 horas, la escritora le pregunta a BA de dónde salió ella a defender a un “misógino idiota” (IT). A las 6:23 horas, BA le responde “¿Si el te dijo fea, es malo (porque eres mujer), pero si tú le dices idiota, es bueno porque él es hombre?”. Esta respuesta de BA desató la consiguiente polémica. La escritora respondió en un tono bastante ofensivo y el intercambio posterior de mensajes entre ambas cuentas fue subiendo de tono. La cuantía de seguidores se inclinaba a favor de la escritora: éstos no tardaron en sumarse a la diatriba.
- A las 7:37 horas, BA anunció que daba por cerrado el intercambio de mensajes. A las 8:32 horas, cambió su foto de perfil y escribió “#NuevaFotoDePerfil sin maquillaje, para que las feas sufran. Y no hablo de las feas por fuera, que eso se arregla con maquillaje. Hablo de las feas por dentro, las resentidas, las que muerden sin razón, las soberbias. Me despido señores. Feliz vida”.
- A las 8:45 horas, BA le escribió a una amiga: “Aunque trato de ser fuerte todas estas cosas sólo me ponen peor... Es que la gente es muy cruel... Si ves que no tuiteo en varios días, no te preocupes, estaré en un lugar mejor que este. Cualquier lugar es mejor que Twitter”.
- Vanos fueron los intentos por impedir lo inevitable. Unas horas después, BA se suicidó. Al día siguiente, sus dos pequeños hijos la encontraron colgada de una sábana. Una usuaria (LPN), quien declaró conocerla desde una década atrás, sabía que BA estaba atravesando por una situación que calificó como “muy, muy, muy difícil” y agregó que no disponía de unos medicamentos que requería para su tratamiento, “se suicidó a poco tiempo de haber tuiteado. Tal vez faltaba el empujoncito que le dieron algunos usuarios. ... Sufría de depresión severa. Los tuits de bullying fueron el detonante. No la causa”.

Twitter no tiene ninguna restricción para que un usuario, en cualquier tiempo, pueda eliminar sus mensajes y con ello cualquier evidencia. Al día de hoy, sólo permanecen en línea los tuits descontextualizados de BA, que no permiten establecer claramente en qué dirección se dio el acoso ya que los mensajes de la escritora y los de muchos de sus seguidores desaparecieron por completo.

El incremento del ciberacoso a los niños y adolescentes en los últimos años resulta alarmante. Las cifras publicadas por la ONU (2019) revelan que las medidas de protección tomadas por padres, maestros y entes gubernamentales están lejos de resultar suficientes. Una encuesta de carácter anónimo realizada conjuntamente con la UNICEF a través de SMS (*Short Message Service*, en su voz inglesa) y mensajería instantánea, en una muestra de 170.000 estudiantes de 30 países, con edades entre 13 y 24 años, mostró que 1 de cada 3 ha sido víctima de acoso cibernético y que, con frecuencia, éste se produce a través de las redes sociales. Esta situación resulta preocupante si se toma en cuenta que en 104 países más del 80% de la población, entre 15 y 24 años, están en línea (Sanou, 2017) y, a nivel mundial, un tercio de los usuarios de Internet tienen menos de 18 años (Livingstone, Carr y Byrne, 2015). En estos casos, los acosos sufridos por los menores muchas veces permanecen desconocidos, ya que, dado el carácter privado que en general revisten las comunicaciones por chats, el evento en estos casos subsiste sin testigos.

Entre los tipos de ciberacoso que se presentan, está también el de índole sexual denominado globalmente como *cybergrooming*. En este tipo de acoso, Rovira del Canto (2010) identifica nueve fases de escalada sucesiva: 1) Amistad; 2) Confianza; 3) Relación; 4) Consolidación; 5) Componente sexual; 6) Participación en actos de naturaleza sexual; 7) Extorsión; 8) Escalada de peticiones; y 9) ¿Agresión?

Las cifras halladas en un estudio realizado por Microsoft (2017) en 14 países, que corresponden a una muestra de los 5 continentes, resultan perturbadoras. La investigación se realizó en 2016 con jóvenes entre 13 y 17 años, adultos entre 18 y 74, distribuida entre un 50% de hombres y un 50% de mujeres. Los resultados revelaron que el 78% de la muestra había estado expuesto a riesgos en línea, un 25% de adultos y un 17% de jóvenes habían recibido mensajes de texto con contenido sexual explícito, correspondiendo un 19% y un 10%, respectivamente, a una solicitud sexual. Adicionalmente, 51% de los adultos y 58% de jóvenes señalaron que habían tenido contacto cara a cara con el perpetrador del riesgo en línea. El acoso reportado por los varones fue superior en todas las categorías.

Lo más preocupante de estas cifras fue que el descubrimiento de que 38% de esas experiencias habían sucedido como máximo un mes antes de la encuesta y que un 12% reportó que la situación se había repetido cada vez que estaba en línea. Las cifras más levadas de acoso sexual en el ciberespacio se presentaron en China y en México y las menores en Reino Unido y Australia. Particularmente, en el caso de América Latina, el porcentaje de individuos que manifestaron haber estado expuestos a cualquier tipo de contactos indeseados en línea superó el 50%. Además del ciberacoso, en todas sus formas, el uso de Internet expone constantemente a lo que se conoce como *phishing*: actividad vinculada a la denominada Ingeniería Social a través de la cual los atacantes suplantando la identidad de un usuario conocido por la persona con el fin de apropiarse de sus datos personales.

En conclusión y más allá de idealizar un pasado sin Internet o redes sociales –y es que el resentimiento, la indolencia y la rivalidad han acompañado siempre al ser humano–, la era digital y la cultura individualista han cambiado el contexto de análisis social. De algún modo, cuantas menos diferencias hay, más difícil se hace soportar y tolerar las pocas distinciones que siguen presentes entre los ciudadanos/usuarios. Lo importante debiera ser que las personas se sientan acompañadas (y no abandonadas) y que puedan tener las herramientas suficientes para reaccionar (y no para rendirse). Por el contrario, es complicado encontrar en las redes sociales respuestas o diálogos amablemente coloquiales; pareciera que los códigos deben ser obligatoriamente interactivos e impactantes: la búsqueda y el hallazgo de la reacción es lo más importante en la realidad analizada. El compromiso del ego por encima de la comunicación con la otredad y, por tanto, con la universalidad del Ser: “[...] una brecha de comunicación, una interacción no comunicativa, el fenómeno de *interdumbre* como un nuevo paradigma que aun debe ser abordado y definido por las ciencias sociales [...]”. (Márquez-Domínguez, Ulloa-Erazo, Ramos-Gil, 2018, p.1073).

Hay una parte de la ciudadanía con más argumentos informativos y comunicativos que puede tomar decisiones, educarse, demostrar actitudes proposicionales y hacer uso de los derechos y libertades de la humanidad. Todavía, sin embargo, existen gran cantidad de tendencias peligrosas de usuarios que –podría decirse– más que interactuar son interactuados por un vacío en la información y de la educación, hacia la construcción de juicios de valor en una atmósfera explosiva repleta de frustración. Si se entiende la democracia como un Estado de Derecho saludable, entiéndase la obligación de lograr una ciudadanía que disfrute de la vida, que sea esencialmente feliz y no sólo objeto de la libertad en el derecho a voto y al trabajo.

Referencias

- Aguilar Sahagún, L. (2002). Formar en el diálogo, la comprensión y la solidaridad para habitar un mundo tecnificado. Contribuciones de Hans-Georg Gadamer para una formación integral. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* (México), vol. XXXII, núm. 3, 3º trimestre, 2002, pp. 45-63. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/270/27032303.pdf>
- Bustamante, J. (2001). Hacia la cuarta generación de Derechos Humanos: repensando la condición humana en la sociedad tecnológica. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*. Número 1: La Sociedad de la Información. Septiembre-Diciembre 2001. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Recuperado de <https://www.oei.es/historico/revistactsi/numero1/index.html>
- Carbonell, X. (2014). La adicción a los videojuegos en el DSM-5. *Adicciones: Revista de sociodrogalcohol*, Vol. 26, Núm. 2, p.p. 91-95. DOI: 10.20882/adicciones.10
- Fernández Sánchez, Néstor. (2013). Trastornos de conducta y redes sociales en Internet. *Salud Mental*, 36(6), 521-527. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252013000600010&lng=es&tlng=es

- Fong, H. & Harris, E. (2015). *Tecnología, innovación y equidad sanitaria*. Boletín de la Organización Mundial de la Salud, 93, 438-438A. Recuperado de <https://www.who.int/bulletin/volumes/93/7/15-155952/es/>
- Gobierno Vasco (04.03.2020). La Hermeneútica. Gadamer. *Hiru.eus*, portal educativo. Disponible en <https://www.hiru.eus/es/filosofia/la-hermeneutica-gadamer>
- González, R.; Vallejo Hernández, R.; Panadero del Olmo, L. E.; Gómez González del Tánago, P.; López Llerena, A.; Gómez Gómez-Mascaraque, E.; Panadero Carlavilla, F. J. (2016). Crisis convulsivas. *Panorama actual del medicamento*, 40 (394), 541-546.
- Guerrero, Luis, & León, Aníbal (2008). Aproximación al concepto de salud. Revisión histórica. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 18(53), 610-633. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=705/70517572010>
- Hermanus Demon, J. (2013). La Hermeneútica según Hans-Georg Gadamer y su aporte a la educación. *Sophia*, Colección de Filosofía de la Educación, (15), 33-84. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4418/441846100002.pdf>
- Livingstone, S.; Carr, J.; Byrne, J. (2015). *One in three: internet governance and children's rights*. Paper Series nº 22. Canada: Global Commission on Internet Governance. Recuperado de https://www.cigionline.org/sites/default/files/no22_2.pdf
- Martínez Abreu, J., Iglesias, M., Pérez, A., Curbeira, E. & Sánchez, O. (2014). Salud ambiental, evolución histórica conceptual y principales áreas básicas. *Revista Cubana de Salud Pública*, Vol. 40, Núm. 4. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rcsp/v40n4/spu14414.pdf>
- Márquez-Domínguez C., Ulloa-Erazo N., Ramos-Gil Y.T. (2018). *The Interaction Gap: From the Bit to the Resurgence of a New Information and Communication System*. In: Rocha Á., Guarda T. (eds) Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018). ICITS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 721. Springer, Cham
- Microsoft. (2017). *Civility, Safety and Interaction online* [Diapositivas de PowerPoint]. Recuperado de <http://download.microsoft.com/download/C/9/2/C925B98B-2DF2-44CE-8E28-BAD64C958938/Civility%20Index%20Report%20Jan%202017.pptx>
- Navarro-Mancilla, A. & Rueda, G. (2007). Adicción a internet: Revisión crítica de la literatura. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 36(4), 691-700. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So034-74502007000400008&lng=es&tlng=es.
- Organización Mundial de la Salud (2001). *Informe sobre la Salud en el Mundo 2001. Salud Mental: Nuevos conocimientos, nuevas esperanzas*.
- Organización Mundial de la Salud. (2019a). *CIE-11 para estadísticas de mortalidad y morbilidad*.

- Organización Mundial de la Salud. (2019b). *Boletín de la Organización Mundial de la Salud*, 97, 382-383. Doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.19.020619>
- Organización Mundial de la Salud. (2019c). *Epilepsia. Datos y Cifras*. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Uno de cada tres jóvenes ha sido víctima de acoso cibernético*. Noticias ONU. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2019/09/1461612>
- Pozo Lauzán, D. R.; Pozo Alonso, A. J.; Vega Trujillo, A.; Martín Ledón, G. (2011). *Epilepsia Fotosensible*. *Revista Cubana de Pediatría*, 85(3), 308-315. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312011000300011
- Quintero Corzo, J.; Munévar-Molina, R. A. & Munévar-Quintero, F. I. (2015). Ambientes escolares saludables. *Revista de Salud Pública*, 17(2), 229-241. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v17n2/v17n2a07.pdf>
- Reale, M., & Mateos, A. (1997). *Teoría tridimensional del derecho: una visión integral del derecho*.
- Riofrío Martínez-Villalba, J. (2014). La Cuarta Ola de Derechos Humanos: Los Derechos Digitales. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos*, Volumen 25 (1), I Semestre 2014. Recuperado de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2515038
- Rovira del Canto, E. (2010). *Ciberdelincuencia intrusiva: Hacking y grooming*. Barcelona, España: Primera Jornada Tic sobre ciberdelincuencia. Recuperado de: http://www.iaitg.eu/mediapool/67/671026/data/Ciberdelincuencia_intrusiva_hacking_y_grooming_Enrique_Rovira.pdf
- Sánchez Barceló, E.J. (2017). *Hicimos la luz... y perdimos la noche. Efectos biológicos de la luz*.
- Santander, España: Universidad de Cantabria (Divulgación Científica, 9).
- Sánchez Carbonell, X., Beranuy, M., Castellana, M., Chamarro, A., & Oberst, U. (2008). La adicción a Internet y al móvil: ¿moda o trastorno? *Adicciones: Revista de sociodrogalcohol*, Vol. 20, Núm. 2, p.p. 149-160. DOI : doi.org/10.20882/adicciones.279
- Sanou, B. (2017). *ICT Facts and Figures 2017*. Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union. Recuperado de <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2017.pdf>
- Uribe Vargas, D. (1999). Karel Vasak y la tercera generación de derechos humanos. *Karel Vasak amicorum liber : les droits de l'homme à l'aube du XXIe siècle = los derechos humanos ante el siglo XXI = human rights at the dawn of the twenty-first century*. ISBN 2-8027-1298-5, págs. 408-416. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=590135>

- Valentín Gavidia, M. (2012). La construcción del concepto de salud. *Revista Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, Núm. 26. Recuperado de <https://ojs3.uv.es/index.php/dces/article/view/1935>
- Varela Ventura, L. (2011). BIRNBAUM, Johan Michael Franz, Sobre la necesidad de una lesión de derechos para el concepto de delito. *Política Criminal*. Vol. 6, N° 11 (Julio 2011), Rec. 1, pp. 209 – 213. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33992011000100008>
- Vergara Quintero, M. (2007). Tres concepciones históricas del proceso salud-enfermedad. *Revista Hacia la Promoción de la Salud*, 12, 41-50. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3091/309126689003>
- Vimont, C. (2017). *¿Debe preocuparnos el uso de la luz azul?* Clínica de Ojos Dr. Macías. Revisado por Rahul Khurana. Recuperado de <http://clinicadeojosdrmacias.com/?p=1645>

Una aproximación a la desigualdad en servicios comerciales a través de sistemas de información geográfica

Luis Manuel Cerdá Suárez¹, Susana Quirós y Alpera², Martín García Vaquero³

luis.cerda@unir.net; susana.quirós@unir.net; martin.garcia@unir.net

¹ Universidad Internacional de La Rioja, Avda. de La Paz, 137; 46006, Logroño, España.

² Universidad Internacional de La Rioja, Avda. de La Paz, 137; 46006, Logroño, España.

³ Universidad Internacional de La Rioja, Avda. de La Paz, 137; 46006, Logroño, España.

Pages: 388–405

Resumen: El enfoque local, en el estudio de la desigualdad geográfica en el acceso a servicios comerciales, ofrece una visión de interés para caracterizar su distribución espacial no homogénea, puesto que la distancia resulta esencial en las decisiones de compra de los individuos. En este trabajo se desarrolla un método para identificar áreas locales de mercado, que analiza el fenómeno de la desigualdad sobre la base de un sistema de información geográfica. Utilizando información de Concón (Chile), se ha construido un conjunto de datos espaciales que permite una representación gráfica de su distribución en el espacio, con la finalidad de minorar la incertidumbre en la planificación de áreas de desarrollo comercial. Las principales aportaciones de este estudio refuerzan la importancia de intervenir a distintos niveles de actuación, sirviendo como punto de partida para recomendaciones en políticas públicas; especialmente, en las decisiones de macro-segmentación en el ámbito de estudio.

Palabras-clave: Sistemas de información geográfica; geografía económica; economía urbana; comercio; áreas de mercado.

A Geographical Approach to Inequality in Commercial Services using Geographical Information Systems

Abstract: From a local perspective, the analysis of geographical inequality in the provision of commercial services provides a relevant vision to characterize this non-homogeneous spatial distribution due to distance is a very important decision for individuals. This manuscript describes a methodology for identifying different local market areas in order to study inequalities in the provision of services in a Chilean district. Using a geographic information system, we have collected disperse data from the Concón district (Chile) in order to reduce the uncertainty involved in decisions planning the development by private and public managers. A spatial database for public use is described, which shows a complete spatial representation of this economic phenomenon. This study reinforces the importance of interventions

at different levels of action and they are useful not only in public policy, but also for those agents deciding on the macro-segmentation in the scope of the study.

Keywords: Geographic information systems; economic geography; urban economics; retailing; market areas.

1. Introducción

Diversos autores sostienen que Chile es un país que presenta un elevado grado de desigualdad, comparado en general con otros de su entorno geográfico y del mundo; y en el que las diferencias de ingreso y renta entre sus regiones son mayores a las de otros estados integrantes de la OCDE (Hambleton, 2015; Lu y Qiu, 2015; Mac-Clure y Calvo, 2013; Tapia, 2018).

En la práctica, los análisis académicos y profesionales sobre desigualdades en este país, elaborados por instituciones públicas internacionales y nacionales, han considerado casi siempre una dimensión político-administrativa de carácter regional; sea en estudios de carácter estructural, o empleando encuestas de hogares que, en términos de representatividad, sólo ofrecen análisis estadísticos detallados a nivel regional (Mac-Clure y Calvo, 2013; Cimbalević et al., 2014).

Esta situación, por tanto, revela lo importante que es el estudio de la desigualdad geográfica tanto a escala nacional como, sobre todo, regional y local. En este sentido, si se comparan contextos regionales, Latinoamérica es la zona con mayor nivel de desigualdad en el mundo por razón de ingresos; desigualdad esta que varía, según las diversas dinámicas territoriales existentes (Berdegué et al., 2015).

El objetivo de este trabajo es proponer un método para identificar áreas locales de mercado, que facilite el análisis de la desigualdad geográfica para acceder a la provisión de servicios de comercio. La estructura del trabajo será la siguiente: tras las cuestiones introductorias, se ofrece una revisión de literatura sobre el diseño y los tópicos de estudio. En segundo lugar, se detallan los aspectos metodológicos y una propuesta para representar el nivel de concurrencia espacial en diversos mapas, a partir de las aportaciones de los sistemas de información geográfica (o SIG); que constituyen los resultados principales del análisis gráfico realizado con los datos de esta investigación. En tercer lugar, se dedicará un apartado a la discusión, las conclusiones, implicaciones prácticas, limitaciones y trabajos futuros.

2. Revisión de la literatura

2.1. Desigualdad geográfica de acceso a servicios comerciales

Desde una perspectiva geográfico-espacial, las regiones resultan ser una unidad de análisis demasiado amplia para apreciar la diversidad de situaciones que ocurren en las mismas. Así, el estudio de la desigualdad en términos económicos y sociales, en el acceso y la provisión de ciertos bienes y servicios, se ha desarrollado en ocasiones a través de análisis econométricos temporales y espaciales, que tienen en cuenta a las comunas como unidad de análisis; combinando datos procedentes de censos y encuestas sobre hogares para hacer estimaciones sobre desigualdad de renta e ingreso

(Hambleton, 2015; Jacoby et al., 2002). Sin embargo, estas comunas resultan ser ámbitos poco frecuentes para un análisis comprehensivo de la provisión de servicios comerciales, a un nivel inferior al urbano. Esta cuestión resulta muy relevante para evitar la desigualdad de acceso a la misma; ya que la economía, en la dimensión urbana, se articula a través de la configuración de economías de escala y costes de transporte (Alberti et al., 2019; Altuzarra et al., 2018; Galeano, 2013; Galster y Wessel, 2019; Lamichhane et al., 2013).

Desde los planteamientos iniciales de Nelson, al final de la década de los años cincuenta del pasado siglo (1958; cit. en Hambleton, 2015), una corriente importante de la literatura académica, sobre competencia espacial minorista, considera la dimensión intra-urbana como un enfoque adecuado y distintivo de los territorios (Apparicio et al., 2007; Wang et al., 2016). Las diversas metodologías que se han empleado atribuyen una gran relevancia al lugar en que se encuentran los individuos, con el fin de identificar el área de mercado y la provisión de servicios comerciales mediante la utilización de datos censales.

Resulta evidente que las ciudades existen para crear oportunidades individuales y sociales de desarrollo de comunidades, de modo que la confluencia de intereses entre los agentes económicos, políticos y sociales puede convertirse en un factor de éxito para dirigir las políticas públicas. Las tendencias de descentralización y privatización, en lo social y económico, son un reto para los gobernantes locales.

En la literatura académica sobre distribución comercial minorista, la concurrencia entre establecimientos destinados a vender productos y servicios constituye una conducta esencial de la ubicación espacial de los mismos y de actuación de las autoridades públicas, cuya larga tradición y atención empresarial atestiguan su relevancia. En este ámbito, los trabajos teóricos y empíricos se han centrado, fundamentalmente, tanto en analizar los criterios de selección de emplazamientos concretos, como la elección general de área comercial; aunque el análisis de lo primero mencionado ha constituido, por lo general, un punto de partida para estudiar lo segundo. A partir de las investigaciones existentes, se han logrado identificar los elementos que explican la atracción sobre los individuos ejercida por los negocios y establecimientos. En el caso chileno –aunque no siempre con evidencias empíricas–, diversos autores se han aproximado al concepto de desigualdad en la provisión de bienes y/o servicios comerciales, sosteniendo que esta suele estar vinculada al sistema económico predominante, relacionado con desigualdades geográficas y territoriales en gran medida específicas del proceso de configuración urbana propio de ciudades latinoamericanas (Abramo, 2012; Liao y Wei, 2012; McDougall et al., 2009); en el que, incluso en las áreas metropolitanas, aparecen transformaciones de sus modelos monocéntricos a policéntricos (McKenzie, 2014; Truffello e Hidalgo, 2015).

2.2. La aproximación geográfica a la provisión de servicios comerciales

La determinación de áreas comerciales ha despertado desde hace tiempo el interés de campos como la geografía, economía y el marketing. Los estudios sobre localización descansan en el supuesto de que el intercambio entre oferta y demanda ocurre en un espacio que condiciona la conducta de negocios y consumidores; y se ha analizado ampliamente y desde perspectivas muy variadas. Los modelos se han centrado en diversas aproximaciones, contruidos según distintas tipologías, fuentes de datos y nivel

de agregación: desde los simples de gravitación, hasta los más complejos de localización-asignación (Gautschi, 1981; Cerdá et al., 2016).

Aunque muchos estudios han revelado que la geo-demografía es un enfoque adecuado para entender la caracterización de áreas comerciales o de mercado, no abundan en general los métodos prácticos para su determinación ni, por supuesto, como apoyo para entender la localización de negocios o centros de compra, de acuerdo con las características geo-demográficas del área. Los resultados obtenidos y los modelos matemáticos que se desprenden de diversos estudios resultan poca útiles en la práctica para promotores inmobiliarios, de negocios, empresas y autoridades político-administrativas. Esta situación se debe, en parte, a que los datos empleados en muchos estudios se sustentan en muestras reducidas, carentes de información sobre hábitos de uso y consumo, o que no se prolongaban durante una serie larga de periodos. Un reto en las investigaciones en este ámbito se encuentra en desarrollar procedimientos sencillos para avanzar en el conocimiento del mercado, la localización de establecimientos y el emplazamiento de nuevos proyectos de negocio; cerrando, de este modo, la brecha de desigualdad en la provisión de bienes y servicios comerciales entre diferentes estratos y grupos poblacionales. Sobre esta línea de trabajo, en las últimas décadas ha aumentado el interés por el empleo de sistemas de información geográfica y su contribución para estudiar la desigualdad; considerada como una herramienta informativa respaldada por el impulso de legislaciones referidas a la información ofrecida por las administraciones públicas (Cerdá et al., 2016; Hípola, 2012). Los diferentes organismos de la Administración facultan la difusión en abierto de ciertos datos e información pública, con el fin de facilitar su procesamiento y distribución por terceros, sea o no con una finalidad comercial (Bader et al., 2010; Mendo et al., 2013; Nedovic'-Budic' et al., 2011; Ismagilova et al., 2019). Por tanto, los SIG pueden considerarse una de las formas más eficientes para analizar la decisión de localización, ya que permiten una integración de bases de datos entre organizaciones, que facilitan la administración y toma de decisión estratégica en el espacio geográfico (Nedovic'-Budic' et al., 2011). En este caso, el mercado potencial de clientes y/o usuarios de un servicio, a través del uso de SIG y sus productos como mapas digitales, permiten detectar posibles canibalizaciones entre emplazamientos, sirviendo de base para el desarrollo óptimo de campañas de comunicación de un bien y/o servicio. En este sentido, los SIG son la base para construir Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), cuyo objetivo principal es crear y distribuir, a través de medios digitales, información espacial para el beneficio de la sociedad (Cimbaljevic et al., 2014; Coveney y O'Dwyer, 2009; Lovely et al., 2019; Madariaga et al., 2012; Malykhin y Ushchev, 2018; McDougall et al., 2009).

Las IDE son una infraestructura esencial para el desarrollo de la sociedad moderna ya que, utilizando SIG como representaciones gráficas de datos, los beneficios resultan múltiples al visualizar mediciones, observación, modelización y gestión territorial de datos (Stankov et al., 2012; Cimbaljević et al., 2014; Jiménez y Perdiguero, 2011), cuyos análisis dependerán de los requerimientos y expectativas del usuario (Cimbaljević et al., 2014; Nygren, 2018; Widener y Shannon, 2014; Widener et al., 2015; Xie et al., 2018). Sin embargo, algunos de los motivos que explican su lenta adopción son: a) la miopía en la comprensión de los beneficios esperados y costes al aplicar esta herramienta; b) la consideración de los SIG como solamente de apoyo decisional para grandes empresas; y c) la subestimación de la ventaja competitiva al aplicar los SIG.

Como aspectos técnicos y organizativos que ponen en valor el estado del arte de las IDE, algunos de los más importantes son los siguientes: la conexión entre las IDE locales, las *smart cities*, los datos enlazados, las aplicaciones (app.) y la administración electrónica; el estado de implementación de la directiva europea INSPIRE en temas ambientales; el desarrollo de tecnologías como *machine learning*, las *vector tiles* y los *linked data*; la variedad de aplicaciones de las IDE, los servicios web y los datos abiertos, que ya producen resultados en variados campos; la aparición de los primeros borradores de estándares *Open Geospatial Consortium* basados en OpenAPI (en concreto, el WFS 3.0); algunos proyectos de mapa continuo de teselas vectoriales distribuidas en una red de servidores y complementado con OpenStreetMap; la necesidad de contemplar los metadatos desde otros puntos de vista (más centrados en su utilidad para usuarios y productores que en la obligación de generarlos y cumplir normas y recomendaciones); o multitud de novedades, nuevos desarrollos y aplicaciones.

Con la finalidad de caracterizar la desigualdad en la distribución geográfica y espacial en la provisión de servicios comerciales, en este trabajo se parte de la hipótesis de que la unidad territorial de análisis donde tienen lugar las diferencias principales entre consumidores es a nivel intra-urbano. La caracterización de los mercados locales de consumo en bienes y servicios minoristas puede constituir una estrategia oportuna para evitar la desigualdad de acceso a los mismos, por parte de determinados grupos desfavorecidos de la población. Por consiguiente, resulta esencial dónde ubicar las áreas de mercado desde una perspectiva intra-urbana, a escala inferior a la regional (Lamichane et al., 2013; Lu y Qiu, 2015).

En esta línea de análisis, resulta oportuna la integración de los datos geo-demográficos disponibles, con fuentes de información sobre hábitos de uso y consumo de los consumidores, y difundir protocolos de aplicación a las fuentes de datos existentes. En particular, en esta investigación se propuso la elaboración de un modelo de web mapping, a partir de la elaboración de una IDE; la creación de un servidor de mapas cartográficos para representar a la población; la configuración de una base de datos, representativa de la oferta sobre emplazamientos para nuevos negocios; y el desarrollo de una metodología de elaboración del modelo de web mapping.

3. Metodología

La metodología de este trabajo se ha implementado dentro de la región de Valparaíso (específicamente, la ciudad de Concón, en la V Región de Chile), y se estructura en dos etapas: 1) una primera, que comprende la elaboración y el análisis de la base de datos y las capas vectoriales, para visualizar la segmentación de la ciudad de Concón en unidades de mercado. Además, se establece la provisión de comercio detallista, la cuantificación de población y su caracterización socioeconómica en la ciudad; y 2) una segunda etapa, que consta de un servicio de mapas online. Ambas etapas se llevaron a cabo a través del software libre “QGIS”, inicialmente en su versión “2.8.3 Wien”; en concreto, en su versión “2.14.3 Essen”.

3.1. Primera etapa: elaboración y análisis de datos y capas vectoriales

En cuanto a la primera etapa, constó de una serie de pasos:

- a. elaboración de una base de datos; y
- b. análisis de la misma.

Para configurar la base, se geocodificó el comercio detallista almacenado en el registro de patentes comerciales del Servicio chileno de Impuestos Internos (SII). Se aplicó la herramienta Geocode CSV with Google/OpenStreetMap, disponible en el complemento MMQGIS del software, arrojando la localización de 283 opciones de comercio detallista (OCD).

La necesidad de definir hacia dónde se orienta la compra de locales que forman parte de las OCD, por parte de la bibliografía especializada (Alzubaidi et al., 1997; Bucklin, 1971; Gaustchi, 1981; Hansen, 2003; Oppewal y Timmermans, 1997; Pedregal et al., 2006; Xiang et al., 2018), ha llevado a clasificar las OCD en tres grupos, según el tipo de compra descrito en la tabla 1, tomando como referencia el planteamiento de Oppewal y Timmermans (1997) y contrastando con los establecimientos, en cuanto a la frecuencia de compra y el tipo de implicación de la misma: cotidiana (alta frecuencia de compra y baja implicación: comercio de almacenes, provisiones y verduras; carnicerías; panaderías y pastelerías; supermercados y venta de alcohol); ocasional (media frecuencia de compra y media implicación: bazar; peluquerías), y esporádica (baja frecuencia y alta implicación: restaurantes; hoteles y hostales: tabla 1).

Tipo de compra	Tipo de comercio (categorías)	Nº Comercio
Compra de tipo cotidiano	Almacenes, provisiones y verduras	55
	Carnicería	8
	Panadería / Pastelería	19
	Supermercados	18
	Venta de Alcohol	56
Compra de tipo ocasional	Bazar	42
	Peluquerías	23
Compra de tipo esporádico	Restaurantes	56
	Hotel / Hostal	6
	Total	283

Tabla 1 – Geocodificación del comercio detallista en Concón (diciembre, 2017)

Geocodificados y determinados los grupos, se construyeron las Unidades de Mercado (UM) en Concón dividiendo en una red de hexágonos dada su eficiencia, al abarcar un área de servicio sin solapamiento según la Teoría de los Lugares Centrales seguidos por Nelson (1958; citando a Christaller, 1933; y Lösch, 1940). El área adecuada de cobertura de cada UM representa un radio de 250-300 metros, según la literatura (Brown, 1989), y su elaboración se facilitó a través de la herramienta Create Grid Lines Layer, obteniendo 33 UM.

Para cuantificar la población de Concón, tras considerar datos de población y vivienda por crecimiento demográfico y en términos absolutos, se optó por realizar su caracterización socioeconómica utilizando la base de datos del Censo de 2017,

fuente que posee la información de cada manzana censal del país. A la espera de los resultados de 2022, se ha empleado el mencionado como parámetro de referencia ya que, según Valdebenito (2014), la tendencia de cambios en el ámbito de la ciudad posee una huella socioeconómica intercensal no muy significativa.

Los datos de persona, hogar y vivienda del censo fueron procesados en el software Redatam + SP de la CELADE, perteneciente a la CEPAL; y, posteriormente, tras pasados a manzanas censales en QGIS, para desarrollar los análisis. Teniendo las manzanas, se extrajeron los centroides de cada una con la herramienta “Centroides de Polígonos”, con el fin de interpolar los datos mediante el método IDW en la herramienta “Interpolación”, para analizar la configuración de la población y sus características geográficas y socioeconómicas; dado que se entiende que, en realidad, lo que mida un punto cercano a otro tendrá un valor similar; y lo inverso se considera para aquellos puntos lejanos. Así, su peso será la distancia inversa de los puntos al cuadrado (Ledoux y Vojnovic, 2013; Sadler et al., 2011). Siendo que, para la interpolación de IDW, según Cañada et al. (2010), se tiene:

$$z(s_o) = \sum_{i=1}^N \alpha_i * z(s_i)$$

siendo:

$z(s_o)$: Valor a predecir para la zona o el lugar s_o .

N: Número de puntos muestrales en torno a la zona o el lugar a predecir.

α_i : Peso atribuido a cada punto muestral (valor de la zona o el lugar s_i).

Interpolados los datos, estos fueron categorizados según la distribución de la frecuencia observada en cada histograma, obteniendo una división por quintiles para la densidad demográfica y la población.

3.2.Segunda etapa: creación de un servidor de mapas online

La segunda etapa se focalizó en la creación del servidor gratuito de mapas online, justificada por razones de utilidad pública y eficiencia en la gestión de los propios gobiernos locales.

4. Resultados

A partir de los análisis anteriores, como ejemplo se obtuvieron los siguientes resultados: a) tres grupos de puntos, que representan los tipos de compra y comercios descritos en la tabla 1, dispuestos en tres carpetas con sus subdivisiones; b) una carpeta denominada “Unidades de Mercado”, con tres sub-carpetas en capas que identifican el nivel de presencia de servicios, dentro de cada Unidad determinada; c) otra carpeta, denominada “Ciudad y Población”, con tres sub-carpetas tituladas: 1. “Cantidad de Población”; 2. “Zonas de Vulnerabilidad Socioeconómica de la Población”; y 3. “Plan Regulador Comunal” (entendiendo la vulnerabilidad como un indicador global multidimensional de desigualdad, relativo a la falta de acceso a determinados bienes

por circunstancias económicas, sociales, familiares, personales y/o ambientales o de vivienda –como se deduce de los estudios teóricos y aplicados, desarrollados durante 1999 y 2003 por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), tratando de lograr diversas aproximaciones al término (Cruz Roja Española, 2015: p. 9)–. En cuanto al plan municipal de la comuna en cuestión, se señalaron los permisos y prohibiciones que establece el instrumento Plan Regulador Comunal de Concón, para cada manzana censal; y d) la creación del servidor de mapas. La figura 1 muestra la página principal del servidor de mapas, dispuesto por OpenStreetMap con las opciones de comercio detallista (OCD) clasificadas según el tipo de compra (cotidiana, ocasional y esporádica), la población y las unidades de mercado para el análisis.

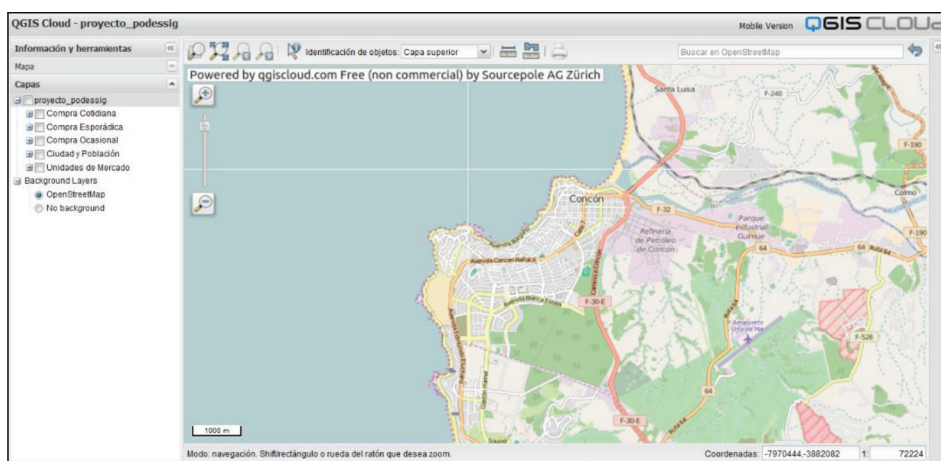


Figura 1 – Servidor de mapas

En el costado izquierdo se encuentran las carpetas con las capas (figura 2).

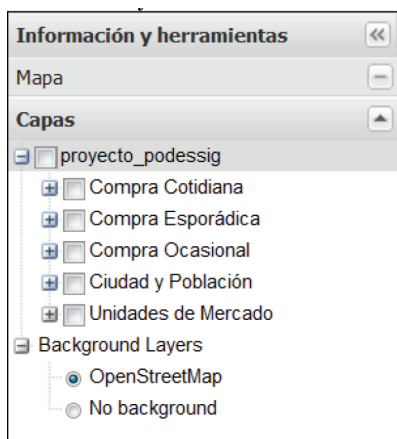


Figura 2 – Información y herramientas del servidor de mapas

Teniendo el servidor de mapas dispuesto, se procede aquí a observar algunos resultados representativos, que permiten concluir acerca del tipo de compra analizado de los tres caracterizados.

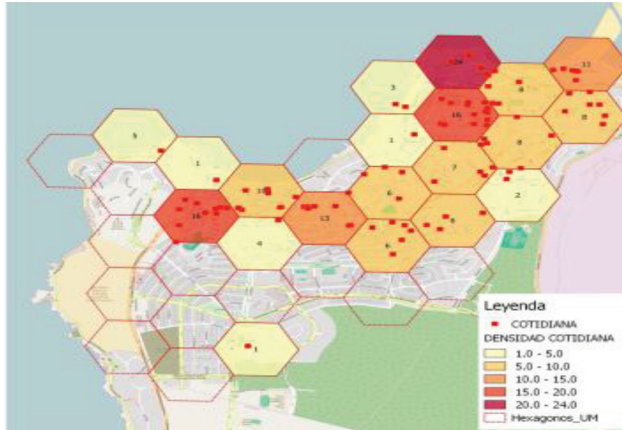


Figura 3 – Distribución espacial de compra cotidiana en las Unidades de Mercado

En cuanto a las UM “Alta” y “Media Alta”, de compra cotidiana, se visualiza en la figura 3 que, al disponer de las capas de “Alta Vulnerabilidad Socioeconómica” y “Cantidad de Población Alta” en “Ciudad y Población”; en las zonas en las que se encuentra una alta densidad de población –concentrada hacia el sur-este, más bien–, también se encuentra una de las zonas con mayor vulnerabilidad de la ciudad. La figura 3 revela la distribución espacial de establecimientos de compra cotidiana y su densidad para el área geográfica, a partir del tipo de compra identificado y según se desprende de la literatura analizada, con densidad comercial baja, media y alta (<10; de 10 a 20; >20 establecimientos).

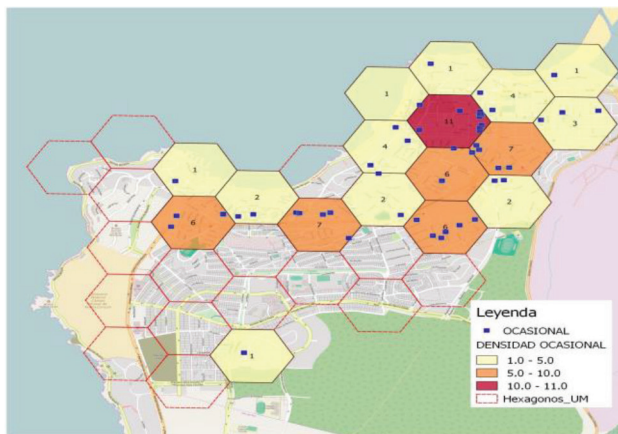


Figura 4 – Distribución espacial de la compra ocasional en las Unidades de Mercado

Con la misma leyenda que en esta, la figura 4 muestra la distribución espacial de establecimientos de compra ocasional y su densidad, a partir del tipo de compra y según la literatura investigada; con densidad comercial baja, media y alta (<5; de 5 a 10; >10 establecimientos).

No obstante, como puede apreciarse en las figuras 3 y 4, sólo se intersecta con una UM “Media Alta” en la figura 3, relativa a la compra ocasional (hexágono más oscuro); por lo que la disposición abundante de servicios comerciales, aquí, no respondería a satisfacer las necesidades de los residentes más vulnerables, sino la de aquellos que lo son menos, en términos socioeconómicos exclusivamente y que residen más cerca de la costa; según lo que se observa también en la figura 4 (hexágono oscuro en la costa; ahondando en las brechas de desigualdad presentes en la ciudad). Incluso para las UM de compras ocasionales como bazares y peluquerías, éstas sean “Alta”, “Media” o “Baja”, se encuentran colindantes a las zonas de “Alta Vulnerabilidad Socioeconómica” (figura 4), situándose, sólo para el sur-este y este de esta zona, dos UM de densidad baja y media para el tipo de compra esporádica (figura 5: colores amarillo y naranja, respectivamente).

La figura 5 permite apreciar la distribución espacial de los establecimientos de compra esporádica y su densidad comercial, una vez se han identificado las unidades de mercado para la ciudad de Concón, a partir del tipo de compra de los comercios y según la revisión de la literatura efectuada; y con densidad comercial baja, media y alta para este tipo de compra (<10; de 10 a 20; >20 establecimientos).

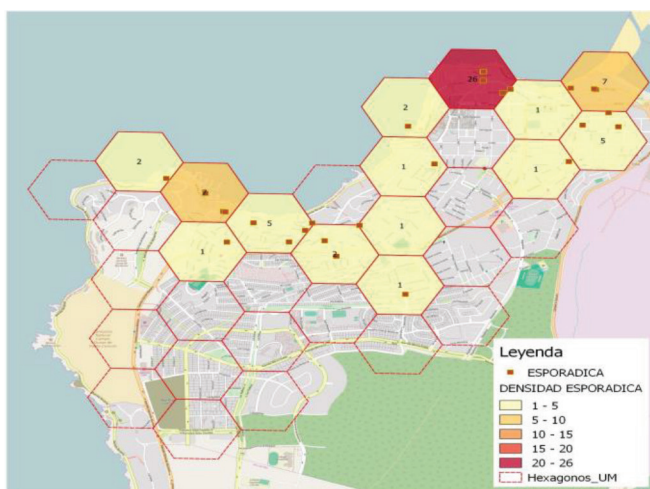


Figura 5 – Distribución espacial de la compra esporádica en las Unidades de Mercado

En términos de la discusión de los resultados obtenidos, este trabajo evidencia una propuesta de metodología para evaluar, de forma sencilla y sistemática, las diferentes áreas comerciales a nivel intra-urbano, en una ciudad de la costa chilena (Concón, en la Región de Valparaíso), en función de las alternativas disponibles de compra; y teniendo en cuenta la orientación hacia distintos tipos de compra: cotidiana, ocasional

y de carácter esporádico. Lo que, en definitiva, ha permitido avanzar en la configuración de una base de datos geográfico-espaciales, hacia un uso público, junto con una más eficiente planificación de las inversiones y ordenación del territorio, provisión de bienes y servicios comerciales y, finalmente, adaptación a las demandas de los usuarios del ámbito geográfico de referencia.

5. Conclusiones, implicaciones y futuras líneas de trabajo

Son diversas las referencias que existen en la literatura relativas a que Chile presenta un elevado grado de desigualdad, en general, respecto de otros países en su entorno geográfico y del mundo; aunque este trabajo no proporciona –ni ha sido su finalidad– hallazgos relevantes para esta discusión. No obstante su razón de ser, justificada por elementos más estructurales compartidos por otras sociedades nacionales –como se comentó al inicio del trabajo–, su oportunidad como tópico de estudio se vincula a la contingencia nacional en Chile. En particular, los casos de colusión en este país entre empresas en la provisión minorista de ciertos bienes y servicios, dirigidos al consumidor final, reflejan que la falta de competencia en productos básicos tiene una dimensión evidente de desigualdad, y falta de verdaderas alternativas de compra.

Como continuación de una línea de trabajo cuyos resultados parcialmente se han obtenido en diferentes contextos, este estudio aporta consideraciones de interés sobre el tema objeto de investigación. A partir de las conclusiones sobre la relevancia de la desigualdad geográfica de acceso, al proveer de bienes y servicios de carácter comercial para captar la atención de los consumidores, este estudio confirma su dimensión local, en situaciones en que la sensibilidad a la distancia resulta una decisión clave para los consumidores. Además, este trabajo aporta una propuesta metodológica que permite analizar, de forma sistemática y sencilla, las áreas de mercado a nivel intra-urbano en una ciudad de gran potencial de crecimiento en la costa chilena (Concón, en la Región de Valparaíso), a partir de las alternativas disponibles de compra y teniendo en cuenta distintos tipos de orientación hacia la compra: cotidiana, ocasional y esporádica.

En el trabajo empírico que sustenta esta investigación se han empleado datos que se desprenden de la geografía de Concón, en la V Región chilena. Con toda esta información disponible, se ha podido lograr una representación espacial completa del fenómeno investigado; de utilidad para los agentes encargados de tomar decisiones, en términos de la macro-segmentación de los compradores en el entorno geográfico sobre el que se aplicado la investigación, diferenciación y propuesta de valor, con la que orientar la comunicación de los establecimientos que se ubican en aquel.

La principal conclusión de este trabajo es que se ha podido identificar y describir la desigualdad territorial, en cuanto a la disposición de los servicios, ocupando las UM la cantidad de población y su caracterización socioeconómica; además de promover el software libre para construir servidores de mapa y su utilidad. En este sentido, en cuanto a la discusión de los resultados y respondiendo a qué evidencias da cuenta la ejecución de la metodología propuesta, la principal aportación de este trabajo está basada en la configuración de una base de datos espaciales para uso público. Adicionalmente y como contribución teórica, la investigación sirve como repositorio previo de conocimiento y

punto de partida para hacer recomendaciones en el desarrollo de políticas que reduzcan las desigualdades señaladas en contextos similares de países de Latinoamérica; especialmente, en las decisiones de macro-segmentación de los individuos en un ámbito geográfico local.

En términos de implicaciones prácticas y de gestión, las aportaciones de este estudio se orientan, en particular, hacia la gestión de la política pública regional y urbana, y muestran lo importante que resulta intervenir en distintos niveles de acción gerencial: por ejemplo, facilitando nuevas áreas de desarrollo comercial o justificando la asignación de presupuestos para rehabilitar algunas existentes. Si bien es cierto que los responsables políticos y públicos supervisan la existencia de una oferta comercial adecuada a la demanda en cada zona, a los gerentes privados también les resultará útil el método para atender la demanda potencial, justificar una localización oportuna y complementar estudios sobre impacto comercial en su ubicación. La relación entre estos aspectos y la diversidad de perfiles de los consumidores –en particular, en contextos similares de países latinoamericanos–, permitirá diseñar campañas promocionales con eficacia, mejorando la viabilidad comercial y su rentabilidad económico-financiera de sus proyectos de negocio.

Como implicación adicional y limitación de este trabajo, cabe afirmar que el alcance verdadero del mismo apunta a consolidar un sistema municipal y regional de promoción económica y social en países de Latinoamérica, y para ello es esencial el estimular un trabajo colaborativo entre agentes económicos y sociales, públicos y privados; donde las distintas acciones específicas de política pública se fortalezcan y retroalimenten entre sí. Desde un punto de vista más teórico, la limitación importante de este trabajo –esencialmente, de naturaleza exploratoria y descriptiva– es que, aunque se basa en la discusión sobre desigualdad, no ha incursionado en el tratamiento teórico relativo a enfoques, supuestos y otros aspectos sobre la configuración de ciertos conceptos, lo que constituirán fructíferas líneas de investigación en el futuro.

Otro aspecto a mencionar en esta línea de análisis consiste en que el estudio empírico abarcó datos demográficos del censo de 2017, último disponible; y, en cuanto a los relativos al universo de establecimientos, corresponden a los recogidos entre 2015 y 2017. No obstante, la metodología aplicada a los datos más recientes facilita, asimismo, apreciar oportunidades de mercado –también amenazas– vinculados a la concreta situación económica del momento.

Una línea futura de investigación en este ámbito consiste en extender esta propuesta de estudio a países de Latinoamérica donde estén disponibles datos como los aquí expuestos. Los consumidores residentes y los oferentes de estas zonas podrían beneficiarse de métodos en sus futuros planes de expansión comercial y en diferentes proyectos de emprendimiento. Es más; en términos de dimensiones de impacto y futuras líneas de trabajo, la propuesta aquí presentada permitirá una mejor previsión de la oferta de bienes y servicios comerciales, tanto para las autoridades públicas como para los proyectos de emprendimiento económico y social.

Respecto del impacto ambiental, este proyecto permite una más eficiente planificación de las inversiones y ordenación del territorio y adaptación a las demandas de los usuarios,

derivadas de factores como los cambios tecnológicos, los avances en los transportes y la evolución demográfica y socioeconómica de las ciudades. De este modo, se logra reducir la incertidumbre en las decisiones de localización óptima de proyectos económicos y sociales; en especial, en contextos propios de países latinoamericanos.

Agradecimientos

Esta investigación ha contado con el apoyo de la Municipalidad de Concón, a partir de diversos proyectos de investigación patrocinados por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV, Chile) a través de su Vicerrectoría de Investigación y Estudios Avanzados de: Proyectos VRIEA – PUCV 039.366 y 037.698-34, ambos concedidos en 2015-2017 y con vigencia de dos años; y por la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR, España), entre 2018 y 2020: B0036-1920.

Referencias

- Abramo, P. (2012): “La ciudad com-fusa: Mercado y producción de la estructura urbana en las grandes metrópolis latinoamericanas”. *EURE*, vol. 38, n. 114, pp. 35-69.
- Alberti, J.; Brodhag, C.; Fullana-i-Palmer, P. (2019): “First steps in life cycle assessments of cities with a sustainability perspective: A proposal for goal, function, functional unit, and reference flow”. *Science of The Total Environment*, vol. 646, pp. 1516-1527.
- Altuzarra, A.; Álvarez, I.; Martínez, E.; Rodríguez, A. (2018): “Diferenciación socio-espacial urbana: mapa sintético de la estratificación de los barrios de Bilbao”. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. 1 de septiembre de 2018, vol. XXII, n. 601. <http://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/21273/27712>
- Alzubaidi, H.; Vignali, C.; Davies, B. J. y Schmidt, R. A. (1997): “Town Centre versus Out-of-Town Shopping: A Consumer Perspective”. *International Journal of Retail and Distribution Management*, vol. 25, n. 2, pp. 78-89.
- Apparicio, P.; Cloutier, M. y Shearmur, R. (2007): “The case of Montréal’s missing food deserts: Evaluation of accessibility to food supermarkets”. *International Journal of Health Geographics*, vol. 6, n. 6, pp. 6-14.
- Bader, M. D. M.; Purciel, M., Yousefzadeh, P. y Neckerman, K. M. (2010): “Disparities in neighborhood food environments: Implications of measurement strategies”. *Economic Geography*, vol. 86, n. 4, pp. 409-430.
- Berdegúe, J.; Carriazo, F.; Jara, B.; Modrego, F. y Soloaga, I. (2015): “Cities, territories, and inclusive growth: Unraveling Urban-Rural linkages in Chile, Colombia and Mexico”. *World Development*, vol. 73, n. 3, pp. 56-71.
- Brown, S. (1989): “Retail Location Theory: The Legacy of Harold Hotelling”. *Journal of Retailing*, vol. 65, n. 4, winter, pp. 450-470.

- Bucklin, L. (1971): “Retail Gravity Models and Consumer Choice: A Theoretical and Empirical Critique”. *Economic Geography*, vol. 476, pp. 489-497.
- CañadaTorrecilla, R.; Vidal Domínguez, M. J. y Moreno Jiménez, A. (2010): “Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: Ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid”. En: *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*, Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.). Sevilla: Universidad de Sevilla, pp. 691-715.
- Cerdá, L. M.; Salinas, F. y Fuenzalida, M. (2016): “Caracterización de la desigualdad local de acceso a la provisión de servicios comerciales a través de sistemas de información geográfica: el caso chileno”. *Actas del XIII Simposium Iberoamericano en Educación, Cibernética e Informática, CISCi 2016*, Orlando (Florida, EE. UU.). Julio de 2016, vol. 1, n. 1, pp. 207-212.
- Cimbaljevic, M.; Bucic, A. y Jovanovic, M. (2014): “The importance of introducing GIS and its application on a local government level – an experience from Serbia”. *Researches Review DGTH*, vol. 43, n. 2, pp. 97-108.
- Coveney, J. y O'Dwyer, L. A. (2009): “Effects of mobility and location on food access”. *Health and Place*, vol. 15, n. 1, pp. 45-55.
- Cruz Roja Española, Departamento de Estudios e Innovación Social (2015): *Informe anual sobre la vulnerabilidad social 2014*. Madrid: Ed. Cruz Roja Española.
- Galeano, V. (2013): “Spatial localization of the economic activity in Medellín, 2005-2010. An urban economics approach”. *Ensayos sobre Política Económica*, vol. 31, n. 7, pp. 215-266.
- Galster, G.; Wessel, T. (2019): “Reproduction of social inequality through housing: A three-generational study from Norway”. *Social Science Research*, vol. 1, n. 78, pp. 119-136.
- Gautschi, D. (1981): “Specification of Patronage Models for Retail Center Choice”. *Journal of Marketing Research*, vol. 18, mayo, pp. 162-178.
- Hambleton, R. (2015): “Power, place and the New Civic Leadership”. *Local Economy*, marzo; vol. 30, n. 2, febrero, pp. 67-172.
- Hansen, T. (2003): “Intertype Competition: Speciality Food Stores Competing with Supermarkets”. *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 10, n. 1, enero, pp. 35-49.
- Hípola, P. (2012): *Información digital y actividad económica: carencias y avances en España durante el período 2007-2010*. Granada: Universidad de Granada.
- Ismagilova, E.; Hughes, L.; Dwivedi, Y. K. y Raman, R. K. (2019): “Smart cities: Advances in research - An information systems perspective”. *International Journal of Information Management*, vol. 47, pp. 88-100.

- Jacoby, S.; Smith, J.; Ting, L. y Williamson, I. (2002): "Developing a common spatial data infrastructure between state and local government: An Australian case study". *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 16, n. 4, pp. 305-322.
- Jiménez, J. L. y Perdiguero, J. (2011): "Does accessibility affect retail prices and competition? An empirical application". *Networks and Spatial Economics*, vol. 11, n. 4, pp. 677-699.
- Lamichane, A. P.; Warren, J.; Puett, R.; Porter, D. E.; Bottai, M.; Mayer-Davis, E. J. y Liese, A. D. (2013): "Spatial patterning of supermarkets and fast food outlets with respect to neighborhood characteristics". *Health and Place*, vol. 23, pp. 157-164.
- Ledoux, T. F. y Vojnovic, I. (2013): "Going outside the neighborhood: The shopping patterns and adaptations of disadvantaged consumers living in the lower eastside neighborhoods of Detroit, Michigan". *Health and Place*, vol. 19, n. 1, pp. 1-14.
- Liao, F. H. F. y Wei, Y. D. (2012): "Dynamics, space, and regional inequality in provincial China: A case study of Guangdong province". *Applied Geography*, vol. 35, n. 1-2, pp. 71-83.
- Lovely, M. E.; Liang, Y.; Zhang, H. (2019): "Economic geography and inequality in China: Did improved market access widen spatial wage differences?" *China Economic Review*, vol. 54, abril, pp. 306-323.
- Lu, W. y Qiu, F. (2015): "Do food deserts exist in Calgary, Canada?" *Canadian Geographer*, vol. 59, n. 3, pp. 267-282.
- Mac-Clure, O. y Calvo, R. (2013): "Desigualdades sociales y tipos de territorios en Chile". *Polis Revista Latinoamericana*, vol. 12, n. 34, pp. 467-490.
- Madariaga, R.; Martori, J. C. y Oller, R. (2012): "Distribución espacial y desigualdad de la renta salarial en el área metropolitana de Barcelona". *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea], 20 de junio, vol. XVI, n.º 405. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-405.htm>
- Malykhin, N.; Ushchev, P. (2018): "How market interactions shape the city structure". *Regional Science and Urban Economics*, vol. 71, pp. 122-136.
- McDougall, K.; Rajabifard, A. y Williamson, I. (2009): "Local Government and SDI – Understanding their Capacity to Share Data". En: Van Loenen, B.; Besemer, J. W. J.; Zevenbergen, J. A. (editores). *SDI Convergence. Research, Emerging Trends, and Critical Assessment*. Delft: Netherlands Geodetic Commission, pp. 205-218.
- Mckenzie, B. S. (2014): "Access to supermarkets among poorer neighborhoods: A comparison of time and distance measures". *Urban Geography*, vol. 35, n. 1, pp. 133-151.

- Mendo, C.; Ramos, L. F.; Arquero, R.; Valle-Gastaminza, F.; Botezán, I.; Sánchez, R.; Tejada, C.; Peón, J. L.; Cobo, S. y Sala, A. (2013): “Del acceso a la reutilización, del dato al documento: una visión conceptual de la información pública”. *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 36, n. 3, e013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2013.3.957>
- Nelson, R. (1958): *The selection of retail locations*. Nueva York, F. W. Dodge Corporation.
- Nedovic-Budic, Z.; Pinto, J. y Warnecke, L. (2011): “GIS database development and Exchange: interaction mechanisms and motivations”. En: Nedovic-Budic, Z., Crompvoets, J., Georgiadou, Y. (eds.). *Spatial data infrastructures in context. North and South*. CRC Press, Taylor & Francis Groups.
- Nygren, A. (2018): “Inequality and interconnectivity: Urban spaces of justice in Mexico”. *Geoforum*, vol. 89, pp. 145-154.
- Oppewal, H. y Timmermans, H. (1997): “Retailer Self-Perceived Store Image and Competitive Position”. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, vol. 7, n. 1, enero, pp. 41-59.
- Pedregal, B.; Torres, F. S. y Zoido, F. (2006): “Propuesta metodológica para la medición del desarrollo y las desigualdades territoriales. Aplicación al territorio andaluz”. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 1 de septiembre, vol. X, n. 220. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-220.htm>
- Sadler, R. C.; Gilliland, J. A. y Arku, G. (2011): “An application of the edge effect in measuring accessibility to multiple food retailer types in Southwestern Ontario, Canada”. *International Journal of Health Geographics*, vol. 10, n. 34, pp. 10-20.
- Tapia, V. (2018): “Geografías de la contención: el rol de las políticas de escala barrial en el Chile neoliberal”. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. 15 de junio, vol. XXII, n. 592. <http://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/20272>
- Truffello, R. e Hidalgo, R. (2015): “Policentrismo en el Área Metropolitana de Santiago de Chile: reestructuración comercial, movilidad y tipificación de subcentros”. *EURE*, vol. 41, n. 122, pp. 49-73.
- Valdebenito, C. (2014): “El lugar de residencia de los pobres en una ciudad próspera. El caso de los asentamientos humanos irregulares en Viña del Mar-Chile”. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. XVIII, vol. 493, n. 26, 1 de noviembre. <http://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/15015/18368>
- Xiang, L.; Stillwell, J.; Burns, L.; Heppenstall, A. y Norman, P. (2018): “A geodemographic classification of sub-districts to identify education inequality in Central Beijing”. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 1, n. 70, pp. 59-70.

- Xie, Y.; Gong, H.; Lan, H. y Zeng, S. (2018): "Examining shrinking city of Detroit in the context of socio-spatial inequalities". *Landscape and Urban Planning*, vol. 177, n. 1, pp. 350-361.
- Wang, H.; Tao, L.; Qiu, F. y Lu, W. (2016): "The role of socio-economic status and spatial effects on fresh food access: Two case studies in Canada". *Applied Geography*, vol. 67, febrero, pp. 27-38.
- Widener, M. J. y Shannon, J. (2014): "When are food deserts? Integrating time into research on food accessibility". *Health and Place*, vol. 30, noviembre, pp. 1-3.
- Widener, M. J.; Farber, S.; Neutens, T. y Horner, M. (2015): "Spatiotemporal accessibility to supermarkets using public transit: An interaction potential approach in Cincinnati, Ohio". *Journal of Transport Geography*, vol. 42, n. 2, pp. 72-83.

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 asociados da AISTI recebem a RISTI gratuitamente, por correo postal. Torne-se associado da AISTI. Preencha o formulário abaixo e envie-o para o e-mail aistic@gmail.com

Los asociados de la AISTI reciben la RISTI por correo, sin costo alguno. Hazte miembro de la AISTI. Rellena el siguiente formulario y remítelo al e-mail aistic@gmail.com



Formulário de Associado / Formulario de Asociado

Nome/Nombre: _____

Instituição/Institución: _____

Departamento: _____

Morada/Dirección: _____

Código Postal: _____ Localidade/Localidad: _____

País: _____

Telefone/Teléfono: _____

E-mail: _____ Web: _____

Tipo de Associado e valor da anuidade:

☐ Individual - 35€

☐ Instituição de Ensino ou I&D/Institución de Educación o I&D - 250€

☐ Outro (Empresa, etc.) - 500€

NIF/CIF: _____

Data/Fecha: ____/____/____ Assinatura/Firma: _____



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

©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

