

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 E32

## **Edição / Edition**

N.º E32, 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](mailto:aistic@gmail.com)

**Web:** <http://www.aisti.eu>

**Director**

Álvaro Rocha, Universidade de Lisboa, PT

**Coordenadores da Edição / Issue Coordinators**

Francklin Rivas Echeverría, Universidad Técnica Federico Santa María, CL

Carmelo Márquez-Dominguez, Independiente, ES

Anna Gabriela Pérez, Universidad de Los Andes, VE

Francisco Rodríguez-Clavijo, 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 Umaquina. 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 Stefos. 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 Martínez-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 Chafra. 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

Yalitz 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*

# **La importancia de la tecnología en momentos de pandemia**

## ***The importance of technology in times of pandemic***

Francklin Rivas Echeverría<sup>1,2,3</sup>, Carmelo Márquez-Dominguez<sup>4</sup>, Anna Gabriela Pérez<sup>3</sup>, Francisco Rodríguez-Clavijo<sup>5</sup>

**frivas@inf.utfsm.cl, carmelomarquez@gmail.com, gabipm@ula.ve, frodriguez@puce.edu.ec**

<sup>1</sup> Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100111, Ibarra, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad de Los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

<sup>4</sup> Independiente, 11100, San Fernando, España.

<sup>5</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170143, Quito, Ecuador.

**Pages: xi-xii**

La pandemia ocurrida como consecuencia de la diseminación a nivel mundial del COVID-19 ha generado graves problemas sanitarios, económicos, sociales, políticos y educativos, entre tantos otros, y se vislumbra una severa crisis mundial en los próximos meses para la cual se debe estar atentos y tomar las decisiones apropiadas a todos los niveles.

Una de las consecuencias positivas de esta pandemia, ha sido que la humanidad ha podido reconocer los aspectos fundamentales en la vida cotidiana e igualmente descubrir aquellos elementos que no forman parte de lo esencial para todos los seres humanos. Especialmente, se ha logrado un reconocimiento a la importancia de la salud, destacando los grandes esfuerzos realizados por los que se encuentran en la primera línea de atención, arriesgando sus propias vidas por ayudar a los demás. Otro sector al que se le ha reconocido su importancia es el relacionado a la cadena de valor de los alimentos, donde se ha determinado la necesidad de garantizar los alimentos a todas las personas, lo cual ha motivado cambios radicales asociados a la planificación industrial, agropecuaria y de servicios para poder atender los requerimientos de forma oportuna,

y los gobiernos se han visto en la necesidad de implementar políticas que fomenten la producción y distribución apropiada de alimentos a la colectividad.

Por otra parte, la tecnología ha sido otra arista fundamental durante esta pandemia, ya que ha sido una herramienta indispensable en todos los sentidos: ha permitido la conexión a través de una diversidad de plataformas entre familiares y seres queridos lo cual ha aliviado un poco los niveles de ansiedad, estrés, incertidumbre y soledad que ha presentado un importante número de personas. También, ha producido cambios radicales en los entornos laborales con la adopción del teletrabajo como un mecanismo de poder mantener las actividades productivas desde lugares seguros para los trabajadores y minimizando los riesgos de contagio. Esto ha acarreado una sobredemanda en el uso de internet, uso de plataformas de conectividad, retos asociados a la ciberseguridad y ha creado nuevos desafíos en los entornos educativos, los cuales han cambiado de forma abrupta a la modalidad en línea, y con ello se ha debido adecuar las metodologías educativas que a pesar de estar siendo desarrolladas desde hace tiempo, no se contaba con la madurez en numerosos casos para ser implementadas de forma absoluta y a todos los niveles, desde la educación inicial hasta los niveles universitarios. Igualmente, ha proliferado una gran oferta de programas de aprendizaje en línea, gratuitos y muchos entornos colaborativos, los cuales apuntan a la generación de redes de cooperación en todos los aspectos tanto sanitarios, laborales, educativos y alimentarios.

Se espera que, de todo esto, la humanidad logre rescatar los triunfos y buenas prácticas logradas en estos momentos y, por el contrario, saque los aprendizajes necesarios de los fracasos y situaciones difíciles y mal manejadas.

En los próximos años se verá un incremento de los desarrollos teóricos y prácticos asociados a las propuestas tecnológicas, teniendo un especial énfasis en los aspectos relacionados a la conectividad, tratamiento seguro de la información, lo cual conlleva a discusiones sobre los aspectos éticos y legales del resguardo de la información. También se ha visto un incremento en el uso de técnicas inteligentes que basándose en sus capacidades de organización, adaptabilidad y autonomía permiten su aplicación en diversas áreas prioritarias. Adicionalmente, hay un incremento sustancial en el uso de herramientas tecnológicas en los sectores educativos formales y asociados al aprendizaje a lo largo de la vida.

En los próximos años se podrá observar los resultados obtenidos y, por ello, será importante la creación de espacios de vigilancia tecnológica para poder visualizar los desarrollos, corregir el rumbo cuando sea necesario y divulgar al máximo las soluciones que se puedan crear y que sean de interés colectivo. Vienen tiempos fundamentales para la humanidad y es uno de los mayores retos a los que se ha enfrentado los entornos científicos y académicos de la era contemporánea.

## **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

- La importancia de la tecnología en momentos de pandemia .....ix  
*Francklin Rivas Echeverría, Carmelo Márquez-Dominguez, Anna Gabriela Pérez,  
Francisco Rodríguez-Clavijo*

## ARTIGOS / ARTICLES

- Sistema de recomendación de recursos educativos basado en metas de aprendizaje y razonamiento en datos abiertos enlazados..... 1  
*Diego F. Duran, Gabriel E. Chanchí, Jose L. Arciniegas*
- Análisis de la dimensión tecnológica en las sociedades limitadas y anónimas de Ocaña, Colombia ..... 14  
*José Gregorio Arevalo-Ascanio, Ramón Armando Bayona-Trillos,  
Dewar Rico-Bautista*
- Mapping concept and challenges for smart technologies: a systematic study approach..... 28  
*Gina Maestre-Gongora, Ramon Fernando Colmenares-Quintero, Kim Stansfield*
- Web Services REST: una revolución en la forma de acceso a datos..... 41  
*Xavier Mauricio Rea-Peñañiel, Tommy B. Mancero-Menoscal,  
Diana C. Rosero-Rea, Daisy E. Imbaquingo-Esparza*
- Sistema automatizado para la conducción de inspecciones de usabilidad y accesibilidad - SIUSA ..... 50  
*Martín Monroy Ríos, Gabriel Elías Chanchí G., Patricia Acosta Vargas*
- Smart tourism and the application of ICT: The contribution of digital tools ..... 64  
*Ximena Morales-Urrutia, Diana Morales-Urrutia, Luis Simabaña-Taipe,  
Christian Andrés Barragán Ramírez*
- Implementación de un sistema electrónico de seguridad portable para tarjetas bancarias *contactless*.....77  
*Iván Ortiz-Garcés, Diego Pérez, Andrés Pozo*
- Educación y TIC: El uso de la teoría de redes en el análisis de relaciones sociales y académicas en contextos educativos ..... 88  
*Francisco Dillon, Irina Freire, David Rojas, Diana Espinosa*
- Prototype of an Android mobile application for real time drowsiness detection and alertness applied in night driving ..... 98  
*Erick P. Herrera-Granda, Adriana L. Díaz-Chimbo, Pedro Granda-Gudiño,  
Marco R. Pusdá-Chulde, Iván D. García-Santillán*

Selección de un material de cambio de fase mediante el uso del método de selección multicriterio para su uso en un sistema de almacenamiento térmico automatizado.....	113
<i>Andrés Méndez, Javier Martínez-Gómez, Francisco Rodríguez, Juan Francisco Nicolalde</i>	
Análisis del uso de los recursos en la plataforma virtual de enseñanza aprendizaje.....	126
<i>Kerly Ordóñez-Almeida, Javier Guña-Moya, Darwin García-Herrera, Darwin Naranjo-Villota, Christian Bonilla-Morales, Jaime Cajamarca-Yunga</i>	
Selección de material para menaje de cocina mediante métodos para la toma de decisiones multi-criterio.....	137
<i>Francisco Rodríguez, Javier Martínez-Gómez, Ricardo A. Narváez C., Gonzalo Guerrón</i>	
Quito air quality modeling and prediction using meteorological and pollution data .....	151
<i>Martín Almeida, Patricia Acosta-Vargas, Mario González</i>	
Integración de un chatbot a un LMS como asistente para la gestión del aprendizaje .....	164
<i>Adrián Santiago Arias-Navarrete, Xavier Iván Palacios-Pacheco, William Villegas-Ch.</i>	
Análisis de selección de materiales de cambio de fase (PCM) para almacenamiento de calor latente por métodos de decisión de multi-criterio (MCDM).....	176
<i>Javier Martínez-Gómez, Ricardo A. Narváez C., Gonzalo Guerrón</i>	
Patrones de desempeño académico de los estudiantes de educación media en la Prueba de ciencias naturales del Saber 11 con árboles de decisión .....	190
<i>Ricardo Timarán-Pereira, Arsenio Hidalgo-Troya, Javier Caicedo-Zambrano</i>	
Los nano-MOOC como herramienta de formación en competencia digital docente .....	202
<i>Andrea Basantes-Andrade, Marcos Cabezas-González, Sonia Casillas-Martín</i>	
Etiquetado de partes del discurso sobre un corpus en castellano basado en metaheurísticas .....	215
<i>José Julio Tobar C., Miguel Alexis Solano J., Luz Marina Sierra-M., Carlos Alberto Cobos L.</i>	
Diseño de un procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software alineados a la guía del PMBOK.....	229
<i>Luz María Hernández Cruz, Brenda Bravo Díaz</i>	

Aplicación de técnicas de minería de datos para la predicción del consumo de tabaco y alcohol en estudiantes universitarios.....	242
<i>Priscila Valdiviezo-Díaz, Pablo Torres-Carrión, Byron Fernando Bustamante-Granda, Rafael Nicolás Sánchez-Puertas</i>	
MOOCs and Empathy as core tools for preparing professionals in charge of sexual abuse prevention .....	256
<i>Verónica Egas-Reyes, Diego Ordóñez-Camacho, Valeria Grijalva-Vásquez, Paulina Barahona-Cruz, Fabián Negrete, Carlos Ignacio Man-Ging</i>	
Introducing perfectly nested circuits .....	266
<i>Zenaida Castillo, Nerio Borges, Ramón Pino, María Carrasco</i>	
Propuesta metodológica para la migración de servicios de TI a un entorno de Cloud Computing .....	279
<i>Ángel Jaramillo, Iván Ortiz-Garcés</i>	
Tendencias en DevOps: un mapeo sistemático de la literatura .....	291
<i>Jonathan Guerrero, Camilo Certuche, Karen Zúñiga, César Pardo</i>	
Uso de las tecnologías de información y comunicación en la escritura periodística y desarrollo del pensamiento crítico.....	306
<i>Solbey Morillo Puente, Melissa Tobón Correa, Ana María Cadavid Rojas, Gustavo Alonso González Valencia</i>	
Servicios de apoyo bibliotecarios a la docencia universitaria pública acreditada en Ecuador .....	319
<i>Viena Muirragui-Irrazábal, Carina Rey-Martin, Enric Camón-Luis, Edwin León-Plúas</i>	
Aplicación móvil empleando realidad aumentada para el fortalecimiento del proceso de enseñanza aprendizaje: revisión sistemática de literatura .....	332
<i>William Javier Ocampo-Pazos, Bryan Josué Albán-Ordoñez, Gabriela Brighith Rodríguez-Gómez, Luis Javier Ulloa-Meneses, Rodolfo Sirilo Córdova-Gálvez</i>	
Proceso ágil para soportar la gestión de la configuración de software.....	345
<i>Carlos Orozco, César Pardo, Sebastián Vásquez, Hugo Ordoñez, Elizabeth Suescún</i>	
Prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo .....	359
<i>Vinicio Ramos Valencia, Natalia Layedra Larrea, José Guerra Salazar, Jéssica Montero Valencia</i>	
Filtro combinado Kriging-Kalman para estimar y predecir la evolución de estados climáticos en algunas estaciones meteorológicas del Ecuador .....	373
<i>Inti Becerra, Saba Infante, Rafael Amaro, Aracelis Hernández</i>	
El coronavirus y la salud como derecho humano al hilo de las TIC: Ecuador y Brasil.....	387
<i>Bartolomé Gil Osuna, Pedro Mauricio Arias Romero, María Jackelin Gil Ozuna</i>	

La usabilidad temprana en el modelado conceptual de sistemas .....	400
<i>Juan Carlos Moreno, Marcelo Martin Marciszack, Mario Alberto Groppo</i>	
Feasibility Analysis Proposal for an IoT Infrastructure for the Efficient Processing of Data in Agriculture, Case Study on Cocoa .....	413
<i>Miguel Angel Quiroz Martinez, Hugo Fransisco Vera Espinoza, Maikel Yelandi Leyva Vazquez, Monica Daniela Gomez Rios</i>	
Análisis de las principales dificultades en la auditoría informática: una revisión sistemática de literatura .....	427
<i>Daisy Imbaquingo, Javier Díaz, Tatyana Saltos, Silvia Arciniega, Jayli De la Torre, Jácome Jesús</i>	
Characterization of Tangible User Interface Elements to Define their Information Architecture .....	441
<i>Javier M. Reyes V., Paola-J Rodríguez-C, Ivette Kafure Muñoz</i>	
Estudio comparativo de técnicas de minería de datos para develar patrones de desempeño académico en enseñanza media.....	455
<i>Diana C. Chamorro-Sangoquiza, Andrés M. Vargas-Muñoz, Ana C. Umaquina-Criollo, Miguel A. Becerra, Diego H. Peluffo-Ordóñez</i>	
Open networking programmability for VXLAN Data Centre infrastructures: Ansible and Cumulus Linux feasibility study .....	469
<i>Gustavo Salazar-Chacón, Edison Naranjo, Luis Marrone</i>	
Aprendizaje automático aplicado al análisis del consumo de alcohol y su relación con el estrés percibido .....	483
<i>Pablo Torres-Carrión, Jorge González-Escarabay, Victor López-Guerra, Silvia Vaca</i>	
Propuesta de una Arquitectura de IoT para la gestión administrativa de un campus universitario .....	496
<i>William Villegas-Ch, Xavier Palacios-Pacheco</i>	
Incidence of a web application implementation for high school students learning evaluation: A case study .....	509
<i>Cathy P. Guevara-Vega, Willan P. Chamorro-Ortega, Erick P. Herrera-Granda, Iván D. García-Santillán, José A. Quiña-Mera</i>	
La educación online en Brasil: avances y desafíos.....	524
<i>Juan Stuardo Yazlle Rocha, Samára dos Santos Sampaio</i>	
Aproximación al periodismo cuántico: la próxima revolución .....	532
<i>Yalitza Therly Ramos-Gil, Carmelo Márquez-Domínguez, Iris Argüello, Elizabeth Guzmán, Ayelen García, Christian Acosta</i>	
Guía para la Ingeniería de Requerimientos bajo un enfoque ágil integrando técnicas de usabilidad.....	546
<i>Cynthia López Valerio, Juan Carlos Mejías Cruz</i>	

Explotación del sistema de ingresos de la Web TV de la televisión generalista en la Comunidad Andina y Cono Sur: la publicidad como vía clave de ingresos .....	559
<i>Francklin Rivas Echeverría, Verónica Crespo-Pereira, Ana Cecilia Vaca Tapia, Valentín Alejandro Martínez-Fernández, Beatriz Legerén-Lago</i>	
La realidad aumentada y el aprendizaje basado en problemas como estrategia que soportan los Living Lab .....	572
<i>Vladimir Arenas Crespo, Lillyana María Giraldo Marín</i>	
Asignación de recursos con eficiencia y justicia débil en el bienestar social utilitario .....	583
<i>Franklin Camacho, Christopher Zhunio, Rigoberto Fonseca, Zenaida Castillo</i>	
Cómo los profesionales perciben la relevancia de las métricas de productividad para un equipo ágil de desarrollo de software .....	596
<i>Giovanni Hernández, Álvaro Martínez, Robinson Jiménez, Franklin Jiménez</i>	
Reconfiguración en frecuencia de una antena tipo parche utilizando un circuito de control enlazado a una red inalámbrica.....	610
<i>Juan Chafla Altamirano, Damián Nicolalde Rodríguez, Verónica Ati Sarango, Gustavo Herrera Tonano, Diana Navarro-Méndez, Hernan Barba Molina</i>	
Hacia un Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD) para las cooperativas de ahorro y crédito.....	622
<i>Claudia Patricia González Múnera, Lillyana María Giraldo Marín, María Clara Gómez-Álvarez</i>	
Diseño de sistema inteligente para la determinación de penas por homicidio en Venezuela.....	635
<i>Sonia Zerpa Bonillo, Francklin Rivas Echeverría</i>	

# Sistema de recomendación de recursos educativos basado en metas de aprendizaje y razonamiento en datos abiertos enlazados

Diego F. Duran<sup>1</sup>, Gabriel E. Chanchí<sup>2</sup>, Jose L. Arciniegas<sup>1</sup>

[dduran@unicauca.edu.co](mailto:dduran@unicauca.edu.co), [gchanchig@unicartagena.edu.co](mailto:gchanchig@unicartagena.edu.co), [jlarci@unicauca.edu.co](mailto:jlarci@unicauca.edu.co)

<sup>1</sup> Universidad del Cauca, 190003, Popayán, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad de Cartagena, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

**Pages: 1–13**

**Resumen:** La Web provee una gran cantidad de recursos multimedia propicios para apoyar procesos de enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, su búsqueda puede ser difícil debido a dos problemas principalmente: la sobrecarga de información, la cual dificulta la toma de decisiones, y la falta de un nivel de metacognición que permita a estudiantes ser conscientes de cómo y qué aprenden. Como alternativa, el presente artículo propone un sistema de recomendación de recursos educativos, el cual se basa en el desempeño en el cumplimiento de metas de aprendizaje y aprovecha el conocimiento descubierto en entornos de Datos Abiertos Enlazados en la Web. De acuerdo a un estudio de caso en una institución educativa rural del sistema educativo colombiano, el sistema es capaz de proveer sugerencias pertinentes en más del 60% de los casos. Además, el uso de tecnologías de la web semántica permite alcanzar un rendimiento 38% superior que con técnicas sintácticas.

**Palabras-clave:** datos abiertos enlazados; metas de aprendizaje; recursos educativos; sistema de recomendación; web.

## *Recommender system of educational resources based on learning goals and Open Linked Data browsing*

**Abstract:** Web provides a large amount of multimedia resources appropriate to support teaching and learning processes. However, the searching of such resources can be difficult due to two issues. First, information overload makes it difficult the decision-making task. Second, the lack of certain level of metacognition does not allow students to be aware about how and what they learn. In order to provide an alternative, this paper proposes a recommender system of educational resources, which is based on the students' performance on learning goals and takes advantage of the discovered knowledge in Open Linked Data environments. According to the results of a study case in a rural educational institute of the Colombian educational

system, our system is able to provide pertinent suggestions in more than 60 percent of the cases. In addition, the use of semantic Web technologies allows achieving a performance 38 percent higher than the use of syntactic technologies.

**Keywords:** educational resources; learning goals; open liked data; recommender system; web.

## 1. Introducción

Los procesos de aprendizaje, independientemente de su tipología y enfoque, están cada vez más vinculados a plataformas tecnológicas que facilitan el acceso a recursos educativos que responden a las necesidades de las personas. Por ejemplo, la Web pone a disposición conocimiento materializado en videos, páginas, MOOCs y documentos de acceso libre con el potencial para apoyar a estudiantes en la consecución de las metas de aprendizaje trazadas en un plan de estudios. Sin embargo, actualmente identificar recursos pertinentes es una tarea difícil debido a la ingente cantidad de ellos que dispone la Web. Una de las razones de tal dificultad se debe a la *sobrecarga de información* (Chen, 2018), el cual es la exposición a o provisión de demasiada información, lo cual puede acarrear un estado de estrés mental. La segunda razón, relacionada con la *meta-cognición* (Liu & Liu, 2020), se da porque generalmente los estudiantes no son conscientes de sus estados y procesos cognitivos, ni tienen la habilidad de monitorearlos y ajustarlos conscientemente. La falta de cierto nivel de meta-cognición dificulta la selección de recursos relevantes en la Web (Zheng et al., 2015). Así las cosas, el problema que se aborda en el presente trabajo es la dificultad que tienen las personas en la búsqueda de recursos educativos en la Web para apoyar su aprendizaje en el marco de un plan de estudios. Al respecto, en la literatura actual se evidencia que esta dificultad puede ser abordada incorporando Sistemas de Recomendación (SR) a los procesos de enseñanza y aprendizaje (Dascalu et al., 2015), (Madani et al., 2019). Éstos filtran recursos irrelevantes y automáticamente sugieren los que satisfacen las necesidades e intereses de aprendizaje (Tarus et al., 2017).

En el presente artículo se propone un nuevo enfoque metodológico para la recomendación de recursos educativos enfocados en la nivelación de debilidades en la consecución de metas de aprendizaje. Amén de la personalización del aprendizaje a través del descubrimiento y ponderación del conocimiento formalizado en la web, el presente estudio es consciente de las posibilidades ofrecidas por *Datos Abiertos Enlazados* (DAE) en cuanto a reutilización de datos.

El resto del artículo está organizado como sigue: la Sección 2 presenta literatura relacionada con sistemas de recomendación en educación; la Sección 3 expone la metodología usada en el presente estudio, la cual incluye la determinación de la arquitectura, lógica, modelo del conocimiento, modelo de usuario y filtrado del SR propuesto, así como la experimentación llevada a cabo para medir la pertinencia de las recomendaciones ofrecidas por el SR propuesto; la Sección 4 muestra los resultados alcanzados con la experimentación; finalmente, la Sección 5 señala las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

## 2. Trabajos relacionados

Después de una extensa revisión de la literatura sobre *Sistemas de recomendación para el aprendizaje* y *Sistemas de recomendación educativos* en la librería digital *IEEE Xplore*, *Science Direct*, *ACM* y *Google Scholar*, se encontraron 48 estudios a partir de un análisis primario, de los cuales se han considerado 6 como relevantes. Después de un análisis final, éstos se clasificaron de acuerdo a tres criterios: i) su enfoque; ii) el ítem recomendado; iii) el tipo de datos de entrada. Con respecto al primer criterio, algunos estudios usan el enfoque colaborativo (CF) (Zheng et al., 2015), (Madani et al., 2019), el enfoque basado en contenido (CB) (Montuschi et al., 2015), y otros son conscientes del contexto (Otieno et al., 2018), (Serrano et al., 2013). En cuanto al segundo criterio, se sugieren recursos de aprendizaje (Tarus et al., 2017), uno recomienda pares con intereses similares (Zheng et al., 2015). Con respecto al tercer criterio, algunos SR usan estilos de aprendizaje (Dascalu et al., 2015), calificaciones en metas de aprendizaje (Montuschi et al., 2015), actividad en redes sociales (Madani et al., 2019) e intereses educativos (Zheng et al., 2015). En todos los estudios se enfatiza la necesidad de asistir a los estudiantes en la búsqueda de recursos personalizados para abordar sus necesidades. A diferencia de los estudios reseñados, la presente propuesta busca alcanzar tal nivel de personalización por medio de la exploración y análisis de los vínculos formados en la Web en entornos de DAE.

## 3. Metodología

La metodología usada en el presente estudio se basa en lo tácito de la investigación en torno a los SR. Ésta incluye cinco fases a saber: 1) definición de una arquitectura y lógica del sistema (ver Sección 3.1); 2) determinación del modelo de conocimiento, sobre el cual el SR desarrolla las tareas computacionales (ver Sección 3.2); 3) definición del modelo de usuario, el cual define la información usada por el SR para ofrecer recomendaciones personalizadas a los usuarios (ver Sección 3.3); 4) determinación de un mecanismo de filtrado, el cual señala los aspectos computacionales del sistema para generar las recomendaciones (ver Sección 3.4); 5) experimentación, a través de la cual se mide la pertinencia de las recomendaciones (ver Sección 3.4). El producto de cada fase es descrito en las siguientes subsecciones.

### 3.1. Sistema de recomendación propuesto

El SR propuesto está definido por dos aspectos: el primero es su arquitectura general, y el segundo está relacionado con su lógica. La arquitectura general, mostrada en la Figura 1, se enfoca en la identificación de recursos educativos disponibles en la Web que sean acordes al bajo desempeño de los estudiantes en el proceso de consecución de metas de aprendizaje establecidas en un plan de estudios. A diferencia de SR basados en algoritmos tradicionales (por ejemplo, Pearson) o de machine learning, la propuesta se basa en el descubrimiento de conocimiento construido paulatina y colaborativamente siguiendo los lineamientos de los DAE (uso de RDF como formato de estructuración de datos, de URLs para identificarlos y HTTP para acceder a ellos). Esto propicia que, además de



satisfacer las necesidades de los estudiantes, las sugerencias sean variadas (por ejemplo, en cuanto autores y fuentes), abordando así problemas como la *sobreespecialización*. La arquitectura engloba tres componentes a saber: representación del conocimiento, construcción de perfiles de usuario y filtrado.

El componente de *Representación del conocimiento* constituye un mecanismo para la construcción de una base de conocimiento basada en el paradigma de las ontologías que favorece la exploración de información enlazada en la Web. En el componente para la *construcción de perfiles de usuario* se registra la información de los estudiantes, principalmente las calificaciones alcanzadas en los modelos de evaluación en el marco del plan de estudios. Finalmente, en el componente de *filtrado* se obtienen las recomendaciones con base en tecnologías de la web semántica. En las siguientes subsecciones se explican los aspectos lógicos del sistema.

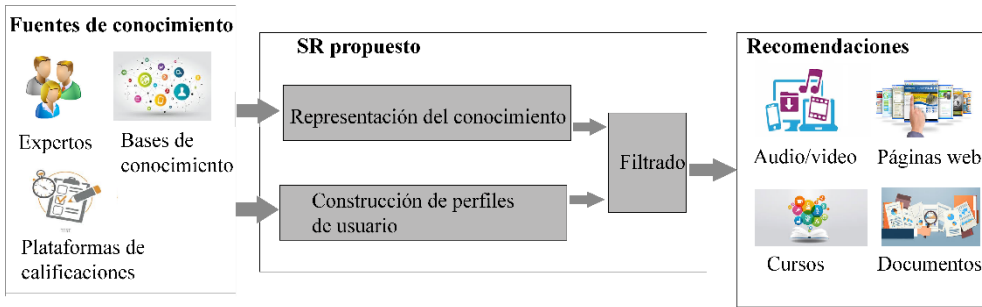


Figura 1 – Arquitectura del Sistema de recomendación propuesto.

### 3.2. Modelo del conocimiento

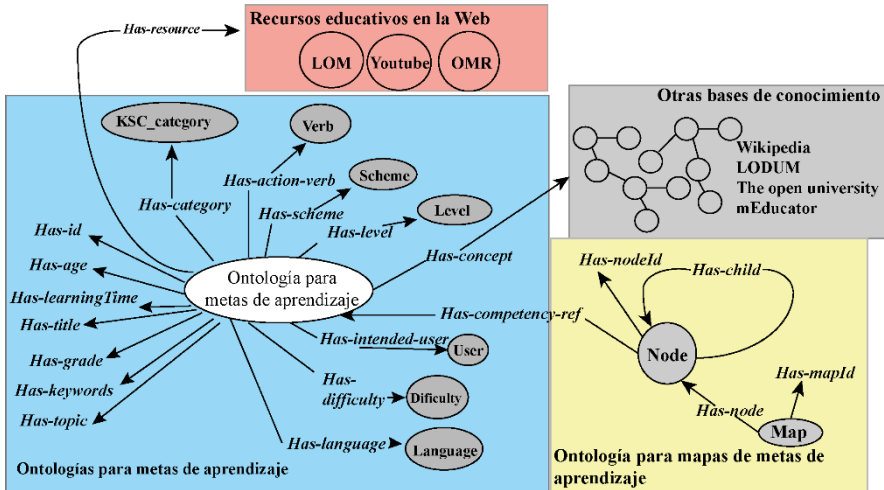


Figura 2 – Red semántica como una vista del modelo del conocimiento.

Los SR que hacen uso de técnicas de la web semántica basan su desempeño en una base de conocimiento, normalmente definida a través de mapas conceptuales (por ejemplo, taxonomías o tesauros) u ontologías. En este estudio se ha definido un modelo del conocimiento basado en ontologías de dominio, el cual formaliza el conocimiento de un concepto del mundo específico, en este caso, el conocimiento relativo a las metas de aprendizaje y los recursos educativos en la web. Precisamente, este tipo de conocimiento no es considerado en sistemas basados en técnicas diferentes a las de la web semántica. Esta información le permite al SR realizar inferencias, con lo cual se mitigan los efectos negativos de problemas como el *new user ramp* y el arranque en frío, aun sin contar con suficiente información. Considerando el concepto de asociación semántica (Barati, Bai, & Liu, 2017), se ha definido el modelo del conocimiento mostrado en la Figura 2, el cual incorpora dos aspectos a saber: i) una ontología para metas de aprendizaje; y ii) un modelo de relaciones entre instancias.

### *Ontología para la formalización de metas de aprendizaje*

En la literatura se hallan ontologías para la formalización de metas de aprendizaje que sirven como base para la concepción y publicación de una base de conocimiento acorde a los DAE. Por ejemplo, el *LOCO Framework* ofrece un marco modular de ontologías pequeñas y fácilmente comprensibles en torno a los objetos de aprendizaje. Al respecto, el presente estudio propone enlazar ontologías existentes con un grupo de propiedades semánticas concebidas para describirlas (ver cuadro azul de la Figura 2). Así se posibilita la exploración de tales vínculos en la base de conocimiento, siendo esto posible con la creación de instancias de las metas y sus vínculos por medio de sus propiedades (por ejemplo, usando herramientas de marcación y autoría). Estas propiedades nacieron a partir de un estudio desarrollado por los autores (Duran et al., 2018), el cual se enfocó en la determinación de metadatos para la descripción de competencias educativas, abarcando también información de posicionamiento en la Web. En la Figura 2 se observa que las propiedades semánticas pueden ser de objeto y de datos. En el primer caso, los valores son instancias formalizadas en la base de conocimiento (por ejemplo, para *Has-action-verb* se definieron instancias para los 38 verbos del perfil de aplicación LOM-ES). En el segundo caso, los valores son introducidos por medio de texto libre.

### *Modelo de relaciones entre instancias*

En los últimos años han surgido diferentes iniciativas enfocadas en el uso de información educativa en el terreno de los datos enlazados. Por ejemplo, *The Open University* en el Reino Unido creó la plataforma de datos enlazados para compartir información sobre cerca de 3000 recursos de audio y video, 700 cursos, 300 calificaciones y 13000 personas (The Open University, 2020). Otra iniciativa, que expone información más general es Wikipedia. Considerando la potencialidad que ofrecen estas iniciativas, en la presente investigación se propone usar su información para vincular las metas de aprendizaje entre sí y con recursos educativos. Dada la variada naturaleza de la información disponible, el modelo de la Figura 2 usa la propiedad *Has-concept* para establecer estos vínculos (ver cuadro gris). Por otra parte, es común en la práctica educativa que docentes encuentren recursos en la Web que son útiles para diferentes fines en el proceso de enseñanza. Esto ha sido considerado en el modelo a través de la

formalización de enlaces entre las metas de aprendizaje y los recursos (ver cuadro rojo). Esta posibilidad tiene dos ventajas a saber: i) el SR puede contar con información sobre qué recursos apoyan ciertas metas de aprendizaje; ii) la base de conocimiento puede crecer colaborativamente dadas las características de los DAE. Otras relaciones que considera el modelo son las de subsunción. En los planes de estudios es común hallar metas de aprendizaje que contribuyen a, o son pre-requisito de otras más complejas. Esta estructura, llamada *mapa de metas* es explotada por el SR propuesto como una manera de explorar y ponderar el conocimiento, y en últimas, para identificar por inferencia los recursos educativos que pueden contribuir a ciertas metas de aprendizaje a partir de su vínculo con otras metas de aprendizaje. El modelo del IEEE SRCM para los mapas es un grafo acíclico dirigido cuyos nodos, que representan competencias, se relacionan con nodos de mayor o menos complejidad (nodos padres o nodos hijos) formando una estructura denominada *mapa*. Estas características han sido incluidas en el modelo (ver cuadro amarillo), representando *nodos y mapas* por las clases *Node* y *Map* respectivamente, y las relaciones de subsunción por medio de la propiedad *Has-child*. A diferencia del IEEE SRCM, el modelo propuesto permite vincular una meta de aprendizaje a diferentes mapas (*Has-competency-ref*), ampliando las posibilidades de exploración a través de la base de conocimiento. En conclusión, el modelo del conocimiento expuesto permite obtener bases de conocimiento como la mostrada en la Figura 3, en las cuales se vinculan instancias de diferente tipo. Se observa que las metas de aprendizaje se vinculan entre sí por medio de sus propiedades semánticas y que existen vínculos entre metas y recursos, ya sean indirecta (por ejemplo, m5 y r3 se vinculan por medio de las propiedades p4 y p6) o directamente (por ejemplo, m3 y r1 e vinculan por medio de p5). Estos vínculos, llamados *Asociaciones semánticas complejas*, constituyen conocimiento accionable por el SR para la obtención de las recomendaciones en la tarea de filtrado.

### 3.3. Modelo de usuario

El modelo de usuario incluye información personal (nombre, dirección, identificación), características físicas (talla, peso), tipo de usuario (estudiante, investigador), lenguajes, nivel de educación, entre otros. A esta información se suma el registro de calificaciones, a partir del cual se pueden conocer las falencias en el aprendizaje que se deben abordar con los recursos recomendados. Al respecto, en un estudio previo se planteó un modelo de evaluación de competencias centrado en las relaciones de subsunción existentes en los mapas de competencias (Duran et al., 2017). El modelo permite, por medio de una adaptación del modelo de las 2-tuplas lingüísticas (Wen, Chang, & Lai, 2020) y el algoritmo de primero en profundidad, evaluar competencias a partir del registro de calificaciones alcanzados en actividades de evaluación. Aunque ha sido concebido para procesos de evaluación cualitativos, el modelo puede ser adaptado a procesos cuantitativos, por ejemplo, a través de promedios. En la práctica, otros docentes prefieren estimar el nivel de cumplimiento de las metas de aprendizaje por observación directa. En cualquier caso, el modelo de usuario propuesto para el SR formaliza los niveles de cumplimiento en las metas de aprendizaje, los cuales son usados en el proceso de filtrado para la generación de recomendaciones de forma personalizada.

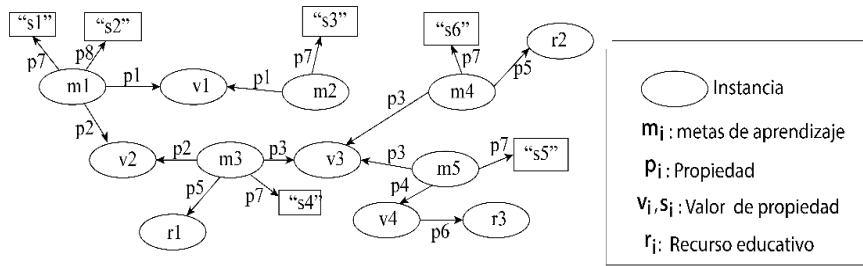


Figura 3 – Modelo de la base de conocimiento.

### 3.4. Filtrado

Un enfoque base para la obtención de recomendaciones sería proveer los recursos educativos enlazados directamente con las metas de aprendizaje en las que los estudiantes tienen bajos desempeños. Aunque es una opción válida, el problema de la sobre-especialización podría producirse. Para abordarlo, en el presente estudio se busca aprovechar el descubrimiento de información oculta en la base de conocimiento. Específicamente, se propone un proceso de filtrado basado en el descubrimiento y ponderación de *Asociaciones semánticas*, las cuales han sido definidas en el marco del proyecto *SemDis* como asociaciones entre entidades en una base de conocimiento (Bravo et al., 2016). A nivel lógico, son nodos (instancias) unidas a través de propiedades. El primer nodo de la asociación se conoce como *origen* y el nodo final como *término*. En la metodología de inferencia de *SemDis* el usuario establece dos individuos de la base de conocimiento. Posteriormente, el sistema descubre y presenta todas las cadenas de propiedades entre ellos. Finalmente, el usuario explora las cadenas para encontrar asociaciones directas o indirectas a su conveniencia. Aunque el presente estudio utiliza el concepto de *Asociación semántica compleja*, no lo hace con la metodología de inferencia de *SemDis* porque: i) ésta requiere de la participación del usuario para definir los dos individuos de la base de conocimiento, lo cual no es consistente con los niveles de automatización requeridos en un SR; ii) no considera los requerimientos de personalización de los SR. En cambio, se propone un enfoque que cumple con las características de automatización y personalización, la cual se explica a continuación.

#### *Descubrimiento de asociaciones semánticas*

El descubrimiento de asociaciones semánticas (PS) puede ser realizado de dos maneras. La primera consiste en pre-definir conjuntos de propiedades para guiar la exploración, lo cual requiere el conocimiento de las propiedades semánticas más significativas de la base de conocimiento. La segunda, consiste en aplicar algoritmos para el descubrimiento automático de asociaciones (Cheng et al., 2017). Para personalizar el proceso, se propone descubrir asociaciones cuyos nodos origen representan metas de aprendizaje en las cuales los estudiantes tienen bajo desempeño, esto es, en las que el usuario  $u$  tiene un  $DoC$  (*Degree of Competence*) tal que  $DoC_{ux} > DoC_o$ , donde  $DoC_o$  es un umbral establecido por el docente.

### *Ponderación de las asociaciones semánticas descubiertas*

Aquí el objetivo es identificar las asociaciones semánticas más relevantes para cada usuario. Para esto, se adoptó un enfoque de ponderación de asociaciones en el cual se les asigna un peso de acuerdo a un grupo de métricas, de tal manera que las asociaciones peor ponderadas no son consideradas. Como resultado, se identifican las  $N$  asociaciones mejor ponderadas para cada competencia con bajo rendimiento. A continuación, se listan las métricas de ponderación propuestas:

*Peso de la subsunción en mapas* ( $CMS_A$ ). Considerando que las relaciones de subsunción indican las metas de aprendizaje que contribuyen a, o son pre-requisito de otras, conviene explorar tales relaciones para descubrir recursos educativos interesantes en la base de conocimiento. Sea  $A$  una asociación semántica entre dos instancias de metas de aprendizaje  $x$  (origen) y  $y$  (término),  $M$  es el conjunto de metas definidas en un mapa en la base de conocimiento tal que  $\{x,y\} \subseteq M$ , y  $f$  es una propiedad semántica para establecer la subsunción (*Has-child*, ver Figura 2) cuyo dominio es una meta de aprendizaje de  $x$ ; el peso de la subsunción en mapas se define la ecuación (1). De ésta, se deduce que el SR calcula un mayor peso para  $A$  si su término es una meta de aprendizaje que contribuye o es pre-requisito del origen en al menos uno de los mapas formalizados en la base de conocimiento. Dado que el modelo del conocimiento permite la reutilización de instancias de metas de aprendizaje en más de un mapa, el SR es capaz de descubrir una variedad de asociaciones y, por lo tanto, de recursos educativos a través de la base de conocimiento.

$$CMS_A = \begin{cases} 1 & \text{si } x f y \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

*Peso de la similitud semántica* ( $SS_A$ ). Considerando que las personas pueden usar diferentes palabras para referirse al mismo tema en el que se enmarca la meta de aprendizaje, aquí se han adaptado los enfoques propuestos en (Montuschi et al., 2015) y (Ijtema et al., 2010), propicios para identificar palabras clave dentro de un texto y calcular la similitud semántica respectivamente, en lugar de usar técnicas tradicionales de emparejamiento sintáctico. Específicamente, el texto es pre-procesado para eliminar palabras vacías (preposiciones, conjunciones y pronombres) y lematizar términos. Las palabras resultantes son agrupadas en una *bolsa de palabras* (Synsets en WordNet) asociada a una meta de aprendizaje. Posteriormente, la similitud entre dos metas de aprendizaje se calcula comparando sus respectivas bolsas de palabras. Sea  $A$  una asociación semántica, el peso de la similitud semántica de  $A$  es la similitud entre los vectores  $n$ -dimensionales formados a partir de la comparación entre las bolsas de palabras del origen de  $A$  ( $V_i$ ) y su término ( $V_j$ ) de acuerdo con la ecuación (2), la cual indica que el SR asigna pesos más altos a las asociaciones semánticas cuyo origen y término tienen temas más similares.

$$SS_A = \frac{V_i \cdot V_j}{|V_i| \cdot |V_j|} \quad (2)$$

*Peso total* ( $W_A$ ). Una vez se han definido las métricas para ponderar las asociaciones semánticas, el peso total se computa como el promedio entre  $CMS_A$  y  $SS_A$ . Las  $N$  asociaciones mejor ponderadas son seleccionadas para cada meta de aprendizaje con bajo rendimiento, las cuales son usadas en el proceso subsecuente.

#### *Obtención del listado de recomendaciones*

Para obtener una lista de recomendaciones por cada meta de aprendizaje con bajo rendimiento, se consulta en la base de conocimiento los recursos educativos enlazados con las metas de aprendizaje representadas por nodos término en las  $N$  asociaciones mejor ponderadas. Posteriormente, cada recurso  $R_i$  es ponderado calculando un promedio entre los pesos de las asociaciones vinculados a éstos siguiendo la ecuación (3), donde  $W_n^{Ri}$  es el peso de la  $n$ -ésima asociación vinculada al recurso ponderado  $R_i$  y  $K$  es el total de asociaciones vinculadas al recurso. De acuerdo a (3), el SR asigna un mayor peso a los recursos vinculados con las asociaciones mejor ponderadas.

$$WR_i = \sum_{i=1}^K W_n^{Ri} / K \quad (3)$$

### **3.5. Estudio de caso**

Se desarrolló un estudio de caso con dos objetivos. El primero, evaluar la pertinencia de las recomendaciones del SR propuesto según el criterio de 5 docentes expertos del sistema educativo de Colombia. Segundo, medir la mejora en el rendimiento que ofrece el uso de técnicas semánticas con relación a una técnica sintáctica. A continuación, se definen las fases desarrolladas. 1) Se conformó un conjunto de datos con el historial de calificaciones de 41 estudiantes de décimo grado de la institución educativa Calibío, en la zona rural del departamento del Cauca (Colombia), con edades entre 14 y 16 años; y una base de conocimiento generada a partir de información provista por un grupo de docentes (conocedores del proceso educativo de los estudiantes) de instituciones educativas del sector público, la cual formaliza metas de aprendizaje basadas en los referentes de calidad educativa dispuestos por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia, mapas de metas y recursos de video tomados de Youtube (la estadística de los datos se presenta en la Tabla 1). 2) Se construyó un prototipo en Java que, en función del número de asociaciones semánticas ponderadas, obtuvo las recomendaciones (3900) a partir de la colección de

Datos	Cantidad
<i>Estudiantes</i>	41
<i>Metas de aprendizaje</i>	304
<i>Mapas de metas de aprendizaje</i>	160
<i>Calificaciones</i>	1385
<i>Recursos de video</i>	191
<i>Vecindarios de palabras</i>	124

Tabla 1 – Estadística de la experimentación

datos y la base de conocimiento. 3) Las recomendaciones fueron analizadas por los 5 docentes para concluir acerca de la pertinencia de los videos sugeridos. Los resultados fueron comparados con el algoritmo de Sørensen para emparejamiento sintáctico.

A continuación, se detallan los materiales usados en el estudio de caso.

*Prototipo:* éste incorpora los siguientes componentes: 1) una base de conocimiento creada con el editor Protégé; 2) una base de datos MongoDB que almacena el historial de calificaciones de los estudiantes; 3) un grupo de aplicaciones Java, las cuales usan tecnologías como Jena Ontology API. Éstas se enfocan en: i) descubrir asociaciones semánticas; ii) descubrir relaciones de subsunción; iii) computar los pesos de las asociaciones semánticas; iv) computar los pesos de los videos; y vi) generar las listas de recomendaciones. El prototipo despliega una interfaz (ver Figura 4) a través de la cual se introduce el identificador del estudiante objetivo (a), el número de asociaciones semánticas a considerar y el tamaño de la lista de recomendaciones (b). Al presionar el botón *Recommendations*, se listan las metas de aprendizaje con dificultades para el usuario objetivo (c). Finalmente, el prototipo presenta la lista de recomendaciones (títulos o URLs) (d).

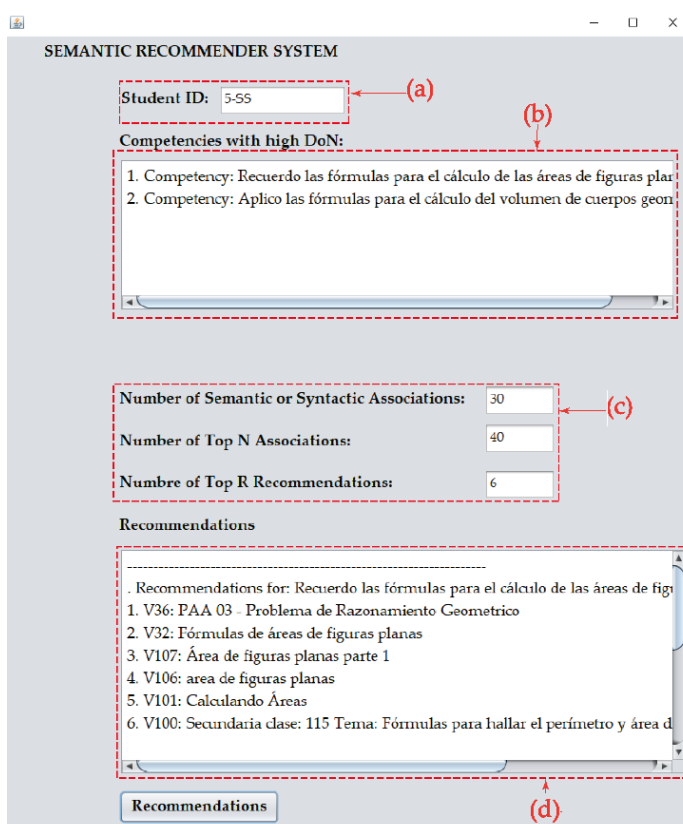


Figura 4 – Interfaz principal del prototipo.



*Servidor de aplicaciones, base de conocimiento y base de datos:* servidor del prototipo del SR, la base de conocimiento y la base de datos MongoDB.

*Formatos digitales* para la recolección de historiales de calificaciones, descripciones de metas de aprendizaje y videos de YouTube, y análisis de las recomendaciones por parte de los expertos.

#### 4. Resultados

Para evaluar el SR propuesto, los docentes analizaron los listados de recomendaciones para concluir acerca de su pertinencia variando el número de asociaciones semánticas descubiertas. Los resultados se midieron calculando la tasa de recomendaciones pertinentes sobre el total, obteniendo la curva mostrada en la Figura 5. En ella se muestra una comparación con una técnica basada en el algoritmo de Sørensen, el cual se cataloga dentro de las técnicas de emparejamiento sintáctico. En ella se observa que la calidad de las recomendaciones es proporcional al número de asociaciones semánticas descubiertas, llegando a obtener al menos 7 recomendaciones pertinentes a partir de 330 asociaciones. En comparación con un sistema con una ponderación de asociaciones basada en técnicas de emparejamiento sintáctico, el SR propuesto tiene un mejor rendimiento aproximadamente en el 38% de los casos. Estos resultados evidencian que el SR propuesto es capaz de ofrecer contenidos educativos adaptados a las falencias educativas de forma automática, lo cual facilita a las personas el acceso a éstos.

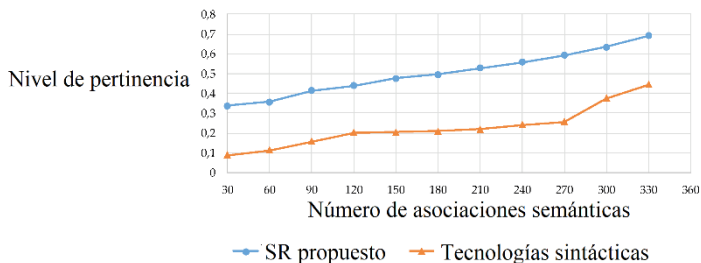


Figura 5 – Resultados de la pertinencia de las recomendaciones en función del número de asociaciones semánticas.

#### 5. Conclusiones y trabajo futuro

El SR propuesto adopta el concepto de asociación semántica para sugerir recursos educativos como resultado de la exploración de entornos de DAE, como un aporte para solucionar problemas asociados a la sobrecarga de información en la web y la falta de cierto nivel de meta-cognición en los estudiantes. A partir de un estudio de caso enfocado en medir la tasa de sugerencias pertinentes ofrecidas por el SR propuesto (de un total de 3900) para 41 estudiantes de una institución educativa rural colombiana, se concluye que éste es capaz de proveer sugerencias pertinentes en más del 60% de los casos en función del número de asociaciones semánticas descubiertas y analizadas en la base de conocimiento.



Además, el uso de tecnologías de la web semántica permite alcanzar un rendimiento 38% superior que con el uso de tecnologías sintácticas. Esto se debe a que el filtrado propuesto se vale de los diferentes tipos de relación existentes entre las metas de aprendizaje (por ejemplo, relaciones de subsunción y vínculos semánticos entre palabras) para determinar las asociaciones semánticas más relevantes, siendo esta una forma más efectiva para el descubrimiento y ponderación de conocimiento que la simple comparación sintáctica de palabras.

Finalmente, el trabajo futuro se centra en las siguientes direcciones. Primero, validar el sistema propuesto evaluando el impacto de las recomendaciones en el rendimiento de los estudiantes en un curso. Segundo, crear una plataforma de DAE que favorezca la publicación y reutilización de descripciones de metas de aprendizaje, mapas de éstas y recursos educativos. Lo anterior, con el ánimo de fomentar la construcción de aplicaciones tecnológicas y el desarrollo de estudios científicos en torno a los DAE en la educación.

## Referencias

- Barati, M., Bai, Q., & Liu, Q. (2017). Mining semantic association rules from RDF data. *Knowledge-Based Systems*, 183-196.
- Bravo, O., Blanco, Y., López, M., & Pesántez, D. (2016). Building Context-Aware Customized Stories Based on Uncovering Indirect Associations from Semantic Knowledge Bases. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Semantic Computing*, Laguna Hills (454-458). New Jersey, USA: IEEE.
- Chen, M. (2018). Improving website structure through reducing information overload. *Decision Support Systems*, 110, 84-94.
- Cheng, G., Shao, F., & Qu, Y. (2017). An Empirical Evaluation of Techniques for Ranking Semantic Associations. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 29(11), 2388-2401.
- Dascalu, M., Bodea, C., Moldoveanu, A., Mohora, A., Lytras, M., & Ordoñez, P. (2015). A Recommender Agent based on Learning Styles for better Virtual Collaborative Learning Experiences. *Computers in Human Behavior*, 45, 243-253.
- Duran, D., Arciniegas, J., Baldassarri, S., & Álvarez, P. (2018). A Metadata Scheme for Educational Competencies: an Extension of the Standard IEEE RCD. In *Proceedings of the 13 Congreso Colombiano de Computación*, Cali (121-136). Cartagena, Colombia: Sociedad Colombiana de Computación.
- Duran, D., Chanchí, G., & Arciniegas, J. (2017). Evaluación de mapas de competencias educativas: una propuesta difusa basada en 2-tuplas. *RISTI- Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información*, (24), 22-38. doi: 10.17013/risti.24.22-38
- IJntema, W., Goossen, F., Frasinca, F., & Hogenboom, F. (2010). Ontology-Based News Recommendation. In *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Extending Database Technology*, Lausanne (1-6). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.

- Liu, S., & Liu, M. (2020). The impact of learner metacognition and goal orientation on problem-solving in a serious game environment. *Computers in Human Behavior*, 102, 151-165.
- Madani, Y., Erritali, M., Bengourram, J., & Sailhan, F. (2019). Social Collaborative Filtering Approach for Recommending Courses in an E-learning Platform. *Procedia Computer Science*, 151, 1164-1169.
- Montuschi, P., Lamberti, F., Gatteschi, V., & Demartini, C. (2015). A Semantic Recommender System for Adaptive Learning. *IT Professional*, 17(5), 50-58.
- Otieno, K., Nderu, L., & Waweru, R. (2018). Fuzzy Logic Based Context Aware Recommender for Smart E-learning Content Delivery. In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Soft Computing and Machine Intelligence, International Conference*, Nairobi (114-118). Nairobi, Kenya: IEEE.
- Serrano, J., Romero, F., & Olivas, J. (2013). Hiperion: A fuzzy approach for recommending educational activities based on the acquisition of competences. *Information Sciences*, 248, 114-129.
- Tarus, J., Zhendong Niu, & Yousif, A. (2017). A hybrid knowledge-based recommender system for e-learning based on ontology and sequential pattern mining. *Future Generation Computer Systems*, 72, 37-48.
- The Open University. (Marzo de 2020). *Open Knowledge Graph*. Retrieved from <https://data.open.ac.uk/>
- Wen, T.-C., Chang, K.-H., & Lai, H.-H. (2020). Integrating the 2-tuple linguistic representation and soft set to solve supplier selection problems with incomplete information. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 1-11.
- Zheng, X.-L., Chen, C.-C., Hung, J.-L., He, W., Hong, F.-X., & Lin, Z. (2015). A Hybrid Trust-Based Recommender System for Online Communities of Practice. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(4), 345-356.

# **Análisis de la dimensión tecnológica en las sociedades limitadas y anónimas de Ocaña, Colombia**

José Gregorio Arevalo-Ascanio<sup>1</sup>, Ramón Armando Bayona-Trillos<sup>1</sup>, Dewar Rico-Bautista<sup>2</sup>

[jgarevaloa@ufpso.edu.co](mailto:jgarevaloa@ufpso.edu.co), [rabayonat@ufpso.edu.co](mailto:rabayonat@ufpso.edu.co), [dwracob@ufpso.edu.co](mailto:dwracob@ufpso.edu.co)

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Administrativas, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Sede Algodonal, 546551, Ocaña, Colombia.

<sup>2</sup> Departamento Sistemas e Informática, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Sede Algodonal, 546551, Ocaña, Colombia.

**Pages:** 14–27

**Resumen:** En este artículo se realiza un análisis de la dimensión tecnológica de las sociedades limitadas y anónimas registradas en la Cámara de Comercio del municipio Ocaña, Colombia. El contenido y estructura del presente escrito es el resultado del establecimiento de tres apartes, cuya dinámica implicó: en la primera, se adoptó la metodología descriptiva, aplicada a la población de empresarios pertenecientes a estas personas jurídicas, para los cuales se dispuso una encuesta. La segunda permitió cuantificar e identificar información relacionada con la adaptación de las nuevas tecnologías en estas empresas, la utilización del comercio electrónico en sus operaciones y la función de la seguridad de la información. Y en la tercera, se genera una reflexión soportada en los resultados obtenidos y bajo estas perspectivas es pertinente para los órganos de dirección de estas organizaciones empresariales implementar decisiones estratégicas efectivas que minimicen la amenaza constante de la obsolescencia tecnológica. Se concluye, que a pesar de que las sociedades limitadas y anónimas ocañeras poseen una infraestructura en TIC necesitan adoptar nueva especializada para incursionar en e-commerce.

**Palabras-clave:** análisis de la tecnología; tecnologías de la información y la comunicación; comercio electrónico; seguridad de la información.

## ***Analysis of the technological dimension in limited companies and corporations in Ocaña, Colombia***

**Abstract:** This article analyses the technological dimension of the limited liability companies registered with the Chamber of Commerce of the municipality of Ocaña, Colombia. The content and structure of this paper is the result of the establishment of three sections, whose dynamics involved: in the first, the descriptive methodology was adopted, applied to the population of entrepreneurs belonging to these legal entities, for which a survey was arranged. The second made it possible to quantify and identify information related to the adaptation of new technologies in these companies, the use of e-commerce in their operations and the role of information security. And the third one generated a reflection supported by the results obtained

and under these perspectives it is pertinent for the management bodies of these business organizations to implement effective strategic decisions that minimize the constant threat of technological obsolescence. It is concluded that, despite the fact that limited and joint-stock companies have an ICT infrastructure, they need to adopt new specialized ones in order to enter e-commerce.

**Keywords:** technology analysis; information and communication technologies; e-commerce; information security.

## 1. Introducción

Los vertiginosos cambios y desarrollos producidos en el ámbito de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), de una u otra forma han ocasionado fuertes reestructuraciones en los espacios de trabajo. Por tanto, es de interés conocer la dinámica del cambio tecnológico (Bencomo , 2007 , p. 163) al que deben someterse las organizaciones de hoy si desean incorporarse y protagonizar en mercados globales. En tal sentido, Scheel y Rivera (2009) plantean que “El diseño y operación actual de las organizaciones depende en gran medida de la utilización de las tecnologías de información y comunicación (TIC)” pág. 72. Una de las contribuciones de este trabajo, en primer lugar, consiste en aportar a las sociedades objeto de estudio del municipio de Ocaña, el estado actual en referencia a su dimensión tecnológica, priorizando variables tales como: la adaptación a las nuevas tecnologías, la utilización del comercio electrónico y la función de la seguridad de la información. En segundo lugar, presentar reflexiones que ayuden a establecer las causas de orden interno que originan el desgano generalizado y el desinterés marcado frente a la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, situación que conlleva a plantear unas posibles alternativas de solución al respecto.

El artículo se organiza del siguiente modo: en la sección I, se dan a conocer unos antecedentes y algo de marco teórico; sección II, describimos la estructura metodológica y el modelo investigativo aplicado; en la sección III, esbozamos los resultados, se plantea la discusión y sus elementos determinantes; y, por último, se bosquejan las conclusiones del estudio.

## 2. Antecedentes

“En la actualidad, las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) dentro de los entornos globales de competencia, son imprescindibles para que las empresas inmersas en estos generen valor y logren posicionarse en niveles de competitividad de clase mundial” (Scheel & Rivera, 2009, p. 71). El solo hecho de identificar estas herramientas como alternativas gerenciales y apoyo administrativo no garantizan ventajas competitivas, ni la adición de valor en los negocios, si no se les da el respectivo uso y aplicabilidad; dichos planteamientos se relacionan con los resultados obtenidos en la investigación, ya que de esta forma algunos directivos de las sociedades del estudio manifiestan en un 38% la importancia de tener wifi en sus negocios como apoyo a la actividad administrativa y gerencial, pero con la claridad de que estas herramientas son útiles y funcionales en sus operaciones (5%), y que a su vez las mismas implementadas y articuladas con las condiciones del entorno, generan mayor cobertura de los mercados, así como el incremento en el volumen de sus clientes (8%).

El desarrollo y el uso de las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) está siendo uno de los principales motores de la economía del conocimiento, muy cercana a la economía de la información; Gargallo & Pérez (2009) afirman: En un entorno cambiante como el actual, las empresas (...) deben, por un lado, potenciar las fortalezas derivadas de sus especificidades, al tiempo que solventan sus debilidades, y por otro, hacer frente a las amenazas provenientes del entorno, aprovechando oportunidades como las ofrecidas por las TIC tales como facilitar la expansión del abanico de productos, la atención y servicio al cliente, la rapidez en la respuesta a la demanda, las relaciones con proveedores y clientes (socios), etc. para conseguir mejoras en su posición competitiva de mercado (p. 95). Es claro, que dentro de los resultados encontrados, predomina en conjunto un desgano muy generalizado, y un desinterés marcado frente a la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, razón que es consecuente con antecedentes culturales arraigados en los directivos de estas empresas; dicha circunstancia desencadena la presencia de grandes debilidades como: carencia de soluciones domóticas (2%), poca publicidad interactiva y facturación electrónica (12%); así mismo, se desconoce la utilidad y beneficios de estas herramientas (5%); dichas percepciones distan de la construcción de escenarios futuros para nuestras unidades productivas, ya que de esta forma no se evidencia la evaluación de los entornos en los cuales operan las empresas, y se arraiga cada vez más la presencia de amenazas y el desaprovechamiento de oportunidades presentes.

No es ningún secreto que las nuevas tecnologías conllevan una serie de ventajas competitivas para las empresas y la humanidad en general (Arévalo-Ascanio et al., 2017), pero si debemos de estar más conscientes de las grandes ventajas que se pueden transformar en la presencia de fortalezas y oportunidades que podemos aprovechar, si sabemos qué queremos hacer con estas nuevas tecnologías (Romero, 2007); desde estas perspectivas para poder hacer o llevar a cabo decisiones estratégicas efectivas, la administración debe de buscar áreas de ventaja tecnológica y deberá mantenerse alerta en contra de la amenaza constante de la obsolescencia tecnológica. “Una de las mayores dificultades con las que se enfrentan las empresas tiene que ver también con el acceso de los empleados a estos medios. Si bien hay preferencia por los medios digitales en la mayoría de las empresas, es real que las nuevas tecnologías no han dado solución a la comunicación interna en su totalidad” (Salazar, et al., 2009, p. 19), dichas afirmaciones dependen y se asocian básicamente con las características de cada empresa, las variables culturales y el tipo de liderazgo dentro del cual se proyecte o visiona el mayor o menor nivel de cobertura, accesibilidad y adiestramiento en dichos medios; a nivel de las sociedades limitadas y anónimas de la región indagadas, se detectó que existe una brecha muy marcada en relación a la implementación de nuevas tecnologías (Arévalo-Ascanio et al., 2015), únicamente el 38% tiene wifi, asociado a la ausencia de programas de capacitación y uso de al menos de esta tecnología en un 53% de los encuestados; lo cual es muy relativo con el planteamiento de los autores en mención. Además, es significativo que al menos el 47% aunque carece de adaptación tecnológica o incorpora niveles mínimos, sí realiza actividades y políticas de capacitación a sus empleados.

En el ámbito regional, a pesar de que el departamento de Norte de Santander muestra un notorio avance en el tema de infraestructura de telecomunicaciones, ya que según el informe trimestral de las TIC por departamento 3T-2014, del Ministerio

de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, esta región del país cuenta con 111177 suscriptores de internet, 29 municipios conectados a través de fibra óptica y 78 kioscos vive digital, sin embargo el departamento y específicamente el municipio de Ocaña está muy rezagado en la implementación del comercio electrónico, olvidándose de que este es un elemento decisivo para la consecución de la competitividad de las empresas, a lo cual se suma como una situación que le impide al sector productivo estar a la par de las grandes economías del mundo. En las empresas del municipio de Ocaña, el comercio electrónico no muestra avances coherentes con los adelantos en telecomunicaciones alcanzados en el departamento. En virtud de lo anterior, resulta apremiante que tanto las sociedades limitadas como las sociedades anónimas del municipio de Ocaña, incorporen dentro de sus operaciones normales del negocio una gestión de sus recursos tecnológicos y sus herramientas, tanto en los niveles estratégico y táctico como en el operacional y de esta forma puedan alcanzar el perfeccionamiento empresarial (Y. Medina-Cárdenas et al., 2016; Y. C. Medina-Cárdenas & Rico-Bautista, 2016).

En contraste con el país, al hacer una mirada a su sector empresarial, se encuentra que desconocen en gran parte las ventajas de la incorporación de estrategias de comercialización basadas en TIC. En efecto, el 58% de las empresas medianas con acceso a Internet no consideran importante tener una estrategia corporativa para las actividades comerciales realizadas por Internet, pues desconocen las ventajas que les representa su implementación, situación que se acentúa en las pequeñas empresas, de las cuales el 63% expresan esta posición (Conpes, 2009); con lo que se evidencia que el uso del comercio electrónico en Colombia aún no es significativo, mientras que a nivel mundial el e-commerce sigue creciendo, debido principalmente a la evolución tecnológica, a las nuevas formas de pago y a la confianza que han demostrado los compradores en Internet. Con el panorama descrito anteriormente, se puede inferir que la visión y las expectativas que, a propósito del comercio electrónico, tienen las sociedades limitadas y anónimas del municipio, es muy pasiva, lo cual se confirma con el 41% de las empresas que ni compran ni venden por internet. Sin embargo, el 59% de las empresas encuestadas evidencian los efectos positivos que desempeña el comercio electrónico en ámbitos especialmente notables: la aceleración del proceso de negocio, la reducción de los costes del negocio, la mejora en la calidad de los servicios, la mejora en la imagen de la compañía y la posibilidad de dirigirse al cliente de forma personalizada. En todo caso, la mayoría de las empresas encuestadas opina que el comercio electrónico se convierte en una oportunidad para generar perdurabilidad empresarial, con lo que se podría afirmar que es necesario iniciar trabajos de sensibilización con los beneficios de su implementación, acompañado de inversiones en TIC con capacitación del personal y organización del trabajo y no solo una simple incorporación de equipos.

### **3. Metodología de la investigación**

Se realizó una investigación descriptiva, como proceso inicial y preparatorio de la investigación, para clarificar el objeto del estudio, que consistió en identificar la actividad económica empresarial de la ciudad de Ocaña en sus diversas manifestaciones y promover la ejecución de prácticas administrativas acordes con referentes nacionales e internacionales. El proceso que se siguió se recoge en los siguientes pasos:

**Identificación y delimitación del objeto a analizar.** Para el año 2015, se estableció el objeto de estudio a caracterizar principalmente en las empresas con denominación jurídica: sociedades anónimas y limitadas; este antecedente como resultado de investigación y criterio de los investigadores discriminando dicho grupo como las más representativas en cuanto al desarrollo del componente tecnológico. (Montilla Riofrío, 2010) (Delgado Wiesner & Parra Escobar, 2008)

**Definición del objetivo.** En este punto se estudió la situación actual y se identificaron las características de la actividad productiva del municipio, su vocación empresarial, desarrollo tecnológico y estructura del tejido productivo. Igualmente, se analizaron las áreas funcionales de las empresas (producción, mercadeo, contable y financiera, talento humano y dimensión tecnológica). Finalmente, se propusieron alternativas sobre prácticas administrativas y tendencias organizacionales de mejoramiento.

**Definición del tipo de investigación.** Este estudio se llevó a cabo, bajo el tipo de investigación descriptivo, teniendo en cuenta que esta propuesta buscó puntualizar sobre situaciones o acontecimientos de la estructura económica empresarial del municipio de Ocaña incluyendo su dimensión tecnológica.

**Determinación de la población.** El Universo para este estudio estuvo conformado por 5980 unidades económicas formalmente establecidas ubicadas en la ciudad de Ocaña (Cámara de Comercio, 2015).

**Fijación del tamaño de la muestra y selección del procedimiento de muestreo.** Se tuvo en cuenta lo establecido en la Ley No. 590 10 de julio de 2000. Con base en la anterior ley, las microempresas representan el 96% del total de las empresas; mientras que las empresas pequeñas y medianas representan 3% y 1%, respectivamente. Se acudió al método de muestreo estratificado, la muestra se establece en el contexto cronológico 2015, ver tabla 1.

Estrato	Muestras 2015
Sociedades Limitadas	34
S.A.	25
Total	59

Tabla 1 – Estratificación de la muestra.

**Diseño del instrumento de recolección de datos.** Para el presente estudio se utilizó un formato de encuesta conformado por dos secciones: la primera estructurada con el objetivo de la encuesta y los datos generales de la empresa, la segunda conformada por preguntas que recogían los aspectos propios de la caracterización de la actividad económica empresarial del municipio. Se aplicó a las empresas de la Ciudad de Ocaña, sin excepción a un miembro de la empresa, conocedor de la filosofía y el funcionamiento de esta.

**Organización del equipo de trabajo.** Se seleccionó el equipo de trabajo conformado por expertos en las áreas administrativas, económicas, contables, sistemas y tecnología entre profesores y estudiantes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.



**Recopilación y análisis de los datos.** Se efectuó por medio de visitas a las empresas puerta a puerta, entrevista con personal directivo y observación directa. Posteriormente se realizó la tabulación de los datos utilizando una base de datos elaborada con el apoyo de un estudiante de Ingeniería de Sistemas de la universidad, la que permitió obtener los resultados.

#### 4. Resultados y discusión

Partiendo de la realidad del componente tecnológico en las empresas objeto de estudio de la investigación y una vez recopilada y analizada la información; se generaron diferentes reportes para el año 2015 con los siguientes resultados:

##### 4.1. Adaptación a las nuevas tecnologías

Cuando se indagó a los responsables acerca de la utilización o proyección de nuevas tecnologías en sus unidades productivas, fue recurrente la respuesta (38%) acerca de la preferencia por el wifi, seguidamente la firma digital es utilizada por los empresarios en un 21%; complementario en un 15% asociado a la utilización de dispositivos móviles; es curioso que en relación con la facturación electrónica y las publicaciones interactivas existe una afinidad representada en igualdad de porcentajes (12%). En relación con los porcentajes más bajos se identifica en su orden las soluciones domóticas con un 2%, ver tabla 2.

Solución domótica	2%
Tecnología WI-FI	38%
Firma digital	21%
Facturación electrónica	12%
Dispositivos móviles (SMS, Portal WAP, PDA...)	15%
Publicación interactiva	12%
Total	100%

Tabla 2 – Implementación de nuevas tecnologías.

El mayor motivo para la implementación de nuevas tecnologías en las empresas de la región se evidencia en que se adapten a las necesidades y condiciones de la microempresa (16%), que sean seguras con el mismo porcentaje, precios bajos con un 15% y que generen rentabilidad al negocio (12%); razón que justifica la atomización de estas en los sectores económicos presentes; así mismo existe igualdad porcentual en un 10% correspondiente a alternativas de financiación y la necesidad de impartir capacitación a personal. Dentro de las opciones de menor importancia, pero significativas para el estudio se percibe interés frente a dos variables que tienen los mismos porcentajes (8%): la amigabilidad y dominio de estas herramientas, así como el interés de crecer y aumentar clientes para sus negocios; además se presenta el resultado más bajo en relación con la utilidad y demás beneficios de las herramientas tecnológicas con un 5%, ver tabla 3.

Una de las mayores dificultades con las que se enfrentan las empresas tiene que ver con el acceso de los empleados a estas tecnologías, sentir apoyo en capacitación un 53%, así



mismo es importante destacar, aunque en menor proporción (47%), que algunas de las organizaciones han iniciado la implementación y ven la necesidad de capacitación para el fortalecimiento de estas herramientas tecnológicas, ver tabla 4.

<b>Precios bajos</b>	<b>15%</b>
Rentabilidad	12%
Financiación o ayudas para su compra	10%
Adaptación a las necesidades de una empresa pequeña	16%
Sencillas de utilizar	8%
Fácil acceso a su formación	10%
Que conociera la utilidad de las tecnologías	5%
Que la empresa crezca/tenga más clientes	8%
Más seguras	16%
total	100%

Tabla 3 – Incentivo que promueven la adopción de las nuevas tecnologías de la información.

<b>Si</b>	<b>47%</b>
No	53%
total	100%

Tabla 4 – Política de capacitación del personal en el uso de las TIC.

#### 4.2. Comercio electrónico

El comercio electrónico para las empresas del estudio es un elemento muy útil para su actividad, tal y como lo refleja la tabla 5. Se nota que el 59% de las sociedades limitadas y anónimas de Ocaña, disponen de órdenes de compra y/o servicios a través del acceso a internet, dato que resulta ser significativo por la necesidad apremiante de mejoras en la gestión de compras empleando dicha tecnología, como elemento determinante para su competitividad, teniendo en cuenta que el comercio electrónico entre empresas ha crecido de manera importante. Del mismo modo es interesante señalar, que el 41% de las empresas, perdiendo la oportunidad de ser más eficientes y productivas.

<b>Si</b>	<b>59%</b>
No	41%
total	100%

Tabla 5 – Órdenes de compra y/o servicios a través de internet.

Uno de los grandes inconvenientes que se ha presentado en el crecimiento del comercio electrónico en el sector productivo analizado ha sido, la falta de confianza en la finalización de la transacción tanto del proceso de venta como del de compra. En cuanto al comercio electrónico, un 59% de las empresas analizadas señala que compra por Internet, mientras

que un 41% afirma realizar ventas, así lo refleja la tabla 6. En el caso de las compras, se nota una mayor confianza en el sector productivo, destacan como principales beneficios obtenidos, la reducción del tiempo de transacción y el menor costo de negocio.

<b>Compra por internet</b>	<b>59%</b>
Vende por internet	41%
total	100%

Tabla 6 – Compra y venta por internet.

Se observa una coincidencia apreciable entre las empresas consultadas, así lo hace ver la tabla 7, al reconocer ventajas del comercio electrónico tales como la aceleración del proceso de negocio, la reducción de los costes del negocio (debido a la eliminación de intermediarios), la mejora en la calidad de los servicios y en la imagen de la compañía y la posibilidad de dirigirse al cliente de forma personalizada. Con lo anterior se ratifica que dichas ventajas podrían aprovecharse no solo por las empresas del estudio sino por todo el sector productivo de la región. Sin embargo, es indudable que el impacto en la productividad generado por el comercio electrónico depende en gran medida de la capacidad que tengan las empresas del municipio de Ocaña de adaptar el uso de esta herramienta en las operaciones normales del negocio.

<b>Mejora la imagen de la compañía</b>	<b>14%</b>
Reducción de los costes del negocio	16%
Aceleración del proceso de negocio	23%
Mejora la calidad de los servicios	16%
Capacitación de nuevos clientes	6%
Lanzamiento de nuevos productos/servicios	5%
Mantenerse a la altura de los competidores	5%
Expansión del mercado geográficamente	5%
Dirigirse al cliente de forma personalizada	10%
total	100%

Tabla 7 – Razones de compra o venta por internet.

Los motivos que resaltan las empresas del estudio para no efectuar operaciones de comercio electrónico se evidencian en la tabla 8, resulta llamativo que los más destacados se refieren simplemente a que ni siquiera se lo han planteado como herramienta para generarle mayor competitividad a su negocio; en segundo lugar, aducen que la empresa no lo necesita, en donde se entrevisté que sencillamente desconocen las ventajas de su implementación. La tercera razón asociada a la negativa de utilizar el comercio electrónico, es que los productos de las empresas según los encuestados no son adecuados para venderlos por internet, a lo cual se suma como última razón el hecho de que los clientes no están preparados para comprar por internet. Con lo anterior, se pone en evidencia que la alta dirección de estas empresas desconoce el potencial de esta herramienta o recurso tecnológico.

<b>Los productos de la empresa no son adecuados para venderlos por internet</b>	<b>16%</b>
Los clientes no están preparados para comprar por internet	16%
Existen problemas de seguridad relacionados con los pagos	10%
Existe incertidumbre respecto al marco legal de las ventas por internet	13%
La empresa no lo necesita	19%
Resulta muy costoso	0%
No me lo he planteado	26%
Total	100%

Tabla 8 – Razones para no realizar operaciones de comercio electrónico.

### 4.3. Seguridad de la información

En el tercer eje se comienza tratando el tema de la evolución de la inversión en seguridad de la información en las empresas, como resultado llama la atención que la muestra opina que la tendencia será positiva y que crecerá en un 64%, lo que infiere la importancia de su mejoramiento continuo y su vital relación con los objetivos del negocio, ver tabla 9.

<b>Se mantendrá igual</b>	<b>15%</b>
No sabe	21%
Decrecerá	0%
Creecerá	64%
total	100%

Tabla 9 – Evolución de la inversión en seguridad de la información.

<b>Se ha desarrollado algunos procesos de seguridad de la información, sin embargo, no se han formalizado ni comunicado los procedimientos estándar</b>	<b>13%</b>
Los procedimientos de seguridad de la información se han estandarizado y documentado formalmente. Los procedimientos han sido difundidos a través de entrenamiento	17%
Es posible monitorear y medir el cumplimiento de los procedimientos y corregir cuando no funcionan de forma efectiva	17%
No existen procesos definidos de seguridad de la información	7%
La administración de la seguridad de la información es informal y reactiva	2%
Que me dieran formación	7%
Que conociera la utilidad de las tecnologías	8%
Que la empresa crezca/tenga más clientes	8%
Que fuera más segura	13%
No sabe	8%
total	100%

Tabla 10 – Análisis actual de la función de seguridad de la información en la organización.

Dicho mejoramiento continuo se ve reflejado con un 51% en las primeras cifras. Destacándose que los procedimientos se han estandarizado, han sido difundidos a través de entrenamiento, son corregibles cuando no funcionan de forma efectiva y han sido documentados formalmente, ver tabla 10.

Sin embargo, se refleja que la frecuencia de las reuniones para discutir las necesidades de la seguridad de la información y objetivos del negocio es baja, alrededor del 50 %, lo hacen, y las opciones están entre mensualmente 23% y anualmente 6%, ver tabla 11.

<b>Mensualmente</b>	<b>23%</b>
Trimestralmente	9%
Semestralmente	12%
Anualmente	6%
No se reúnen	24%
No sabe	26%
total	100%

Tabla 11 – Frecuencia de reuniones para discutir las necesidades de la seguridad de la información y objetivos del negocio.

Y finalizando, se muestra el porcentaje del presupuesto asignado a la seguridad de la información en las organizaciones, destacándose que el 47% desconoce dicha información, seguida de la opción entre 5 y 10% y la menor a 5%, cada una con un 18%, lo que infiere que se genera desde la administración y no es un tema muy concerniente al área técnica, pero que puede preocupar si se desconoce para generar una planeación en el desarrollo de dichas actividades (Rico Bautista et al., 2015), ver tabla 12.

<b>Menos de 5%</b>	<b>18%</b>
Entre 5 y 10%	18%
Entre 10 y 15%	6 %
Mayor de 5%	2%
Ninguno%	9%
No sabe/no contesta	47%
total	100%

Tabla 12 – Presupuesto de seguridad de la información con relación al presupuesto de tecnología de información.

Resulta llamativo que, si bien la mayoría de las empresas usa el comercio electrónico, este rasgo podría ser una indicación positiva respecto a que de la implementación de esta herramienta se puede esperar que tengan un gran impacto sobre la productividad de la empresa. De cualquier modo, es apremiante que se investigue sobre el uso del

comercio electrónico en el resto de las empresas del sector productivo ocañero, para conocer de primera mano cuál es la real utilización del canal comercio electrónico por parte de las otras personas jurídicas existentes en el municipio de Ocaña, con el propósito de proponer alternativas estratégicas que conduzcan a contrarrestar la elevada sensación de desconfianza por parte de los usuarios que operan con esta herramienta o recurso tecnológico.

La importancia de la tecnología debe ser tomada a conciencia por cualquier empresario que en el campo donde va a competir, lo que les admitirá de manera eficiente optimizar costos, estandarizar sistemas, tener información eficiente y oportuna. Por lo que tendrá que implementar varias herramientas tecnológicas que le ayuden a mejorar su situación, control sobre su manejo y operación empresarial, siendo de vital importancia para contar con mayores elementos que contribuyan al fortalecimiento en la toma de decisiones (Villalobos Carmona, 2010) (Zaini & Masrek, 2013). El avance tecnológico ha traído consigo un reto mayor para quienes se dedican al combate de programas con características maliciosas, la difusión de nuevas técnicas y metodologías de ataques y amenazas informáticas cada vez más sofisticadas y eficaces. No es un secreto la cantidad de recursos que invierten las organizaciones para evitar intrusiones y manipulaciones que pongan en riesgo desde la integridad de los datos hasta las operaciones propias de la entidad. (Guerrero & Gomez, 2012) (López & Albanese, 2014)

Aunado a lo anterior, se encuentra la ausencia de una adecuada política de seguridad de las redes. Este es un problema que está presente, considerando sobre todo que la propia complejidad de la red es una dificultad para la detección y corrección de múltiples y variados problemas de seguridad (Talib, et al., 2012). En una sociedad tecnológica y en red como la actual, la seguridad afecta prácticamente a todas las facetas de la vida cotidiana de personas, organizaciones y gobiernos. En las organizaciones con un problema que las afecte, por pequeño que sea, puede llegar a comprometer la continuidad de las operaciones, situación que inevitablemente se traduce en pérdida económica, retraso en las operaciones y crisis de confianza por parte de los usuarios (Beckers, et al., 2012).

Ahora, se está hablando de proteger activos frente a amenazas, pero ¿es esto necesario en nuestro contexto actual?, ¿quién va a querer atacarme a mí o a mi organización? Si yo no soy importante. En primer lugar, hay que considerar que la seguridad protege, no sólo de ataques intencionados, sino de accidentes provocados por catástrofes naturales, descuidos de empleados sin mala intención, etc. Y en segundo lugar, aunque a veces cueste comprenderlo, en el contexto actual los ataques intencionados están a la orden del día, tanto los que nos convierten en víctimas por azar (probablemente por ser un objetivo sencillo debido a nuestro nivel de desprotección) como los que van dirigidos específicamente contra nosotros o nuestra organización con un objetivo muy concreto, que casi siempre será económico. (Universidad Rey Juan Carlos, 2016). Partiendo del hecho de que para conocer cómo proteger un activo, se debe conocer aquello que lo amenaza, y se deben generar un conjunto de servicios, mecanismos y políticas que aseguran que el modo de operación de un sistema informático sea seguro, tanto el que se especificó en su fase de diseño, como el que se configuró en tiempo de administración/uso. (Reyes, et al., 2015) (Reyes, et al., 2015)

## 5. Conclusiones

Los directivos de las unidades productivas presentes en la región, deben tener en cuenta la importancia de la utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación para lograr mejoras en la competitividad que les permitan actuar eficientemente en los mercados actuales y altamente competitivos; además se debe insistir y sensibilizar a los órganos de dirección, que el crecimiento exponencial que vienen experimentando las tecnologías de información y comunicación (TIC), como nuevas herramientas comunicacionales, de trabajo y productoras de información, una vez implementadas en sus negocios promueven el establecimiento de ventajas competitivas, la generación de valor y consecución de relaciones comerciales en mercados externos.

Es apremiante la actualización y cualificación en TIC a los empleados y directivos de las unidades productivas objeto de estudio, se deben establecer políticas y diseñar estrategias pedagógicas en ambientes digitales que permitan construir conocimientos y plantear la incorporación de estas nuevas tecnologías en los procesos administrativos y operativos propios de cada negocio.

A pesar de que las sociedades limitadas y anónimas ocañeras poseen una infraestructura en TIC que les da la posibilidad de incursionar en e-commerce con un buen desempeño técnico, sin embargo, necesitan adoptar una infraestructura especializada para implementarlo de forma directa. Llegado a este punto, en las empresas del estudio el nivel de utilización del comercio electrónico tanto en volumen de compras como de ventas es incipiente.

Hay que resaltar que un porcentaje significativo de 59% de los directivos de este tipo de empresas incursiona en el comercio electrónico, lo cual indica que el uso de Internet como herramienta para el negocio está plenamente aceptado por ellos, situación que debe ser aprovechada para lograr vencer los factores que aun las inhiben, tales como los medios de pago y la logística, y de esta manera sería altamente probable que el desarrollo del comercio electrónico se acelere notoriamente favoreciendo las empresas del estudio.

Se utilizan sistemas de información y comunicación en toda la administración pública, así como las instituciones financieras, educativas, organizaciones grandes y pequeñas, por lo tanto, el concepto de la seguridad, no incorporada en el diseño de redes sociales, la nube, comercio electrónico y dispositivos móviles, entre otros; afecta a cualquier actividad económica, pero, las personas y las organizaciones son conscientes hasta ¿qué punto se depende de la tecnología y que tan seguras son?. La tendencia es de darle prioridad e incorporarla tanto en los objetivos del negocio como en el presupuesto de una organización pensando en disminuir los riesgos que puedan ocurrir y salvaguardar la información.

## Referencias

Arévalo-Ascanio, J. G., Bayona-Trillos, R. A., & Rico-Bautista, D. (2015). El problema de la brecha tecnológica: Un asunto de cultura. *Sinapsis*, 7(7), 43–57. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/315476228\\_El\\_problema\\_de\\_la\\_brecha\\_tecnologica\\_Un\\_asunto\\_de\\_cultura/citations](https://www.researchgate.net/publication/315476228_El_problema_de_la_brecha_tecnologica_Un_asunto_de_cultura/citations)

- Arévalo-Ascanio, J. G., Bayona-Trillos, R. A., & Rico-Bautista, D. (2017). Las prácticas innovadoras de la gestión humana: una necesidad estratégica de las microempresas. *Revista Ciencias Estratégicas*. <https://doi.org/10.18566/rces.v25n37.a2>
- Beckers, K., Fassbender, S., Heisel, M. & Schmidt, H., (2012). Using Security Requirements Engineering Approaches to Support ISO 27001 Information Security Management Systems Development and Documentation. *Availability, Reliability and Security (ARES), 2012 Seventh International Conference on*, Agosto, 242(248), pp. 20-24.
- Bencomo, T. (2007). Desarrollo de las TICs y la formación profesional. *Visión Gerencial*, Diciembre, Issue 2, pp. 163-184.
- Cámara de Comercio (2015). Informe de la Cámara de Comercio, Ocaña: s.n.
- Conpes (2009). Lineamientos de política para el desarrollo e impulso del comercio electrónico en Colombia, CONPES 3620. [En línea] Disponible en: <http://habeasdatacolombia.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/conpes-3620-comerci-electronico-9-nov-2009.pdf> [Último acceso: 29 Septiembre 2015].
- Delgado Wiesner, C. & Parra Escobar, E. (2008). CARACTERIZACION DE LA MICROEMPRESA DE PUNTA. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Gargallo, A. & Pérez, J. (2009). EL PAPEL DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y. *Revesco*, Issue 97, pp. 90-116.
- Guerrero, M. & Gomez, L. (2012). Gestión de riesgos y controles en sistemas de información: del aprendizaje a la transformación organizacional. *Estudios Gerenciales*, 28(125), pp. 87-95.
- López, M. d. I. Á. & Albanese, D. (2014). Gestión de riesgos para la adopción de la computación en nube en entidades financieras de la República Argentina. *Contaduría y Administración*, 59(3), pp. 61-88.
- Medina-Cárdenas, Y., Areniz Arévalo, Y., & Rico-Bautista, D. (2016). Modelo estratégico para la gestión tecnológica en la organización: plan táctico de la calidad (ITIL & ISO 20000). In Fondo editorial ITM (Vol. 1). Instituto Tecnológico Metropolitano. <https://doi.org/10.22430/9789585414006>
- Medina-Cárdenas, Y. C., & Rico-Bautista, D. (2016). Strategic alignment under a technology management organizational approach: ITIL & ISO 20000. *Revista Tecnura*, 20(1), 82-94. <https://doi.org/10.14483/22487638.11681>
- Montilla Riofrío, A. L. (2010). Caracterización de la actividad económica empresarial de las Sociedades Limitadas y Unipersonales de la ciudad de Ocaña, Ocaña: s.n.
- Reyes, M., Gascó, J. & Taverner, J. (2015). Razones y riesgos del outsourcing de sistemas de información en las grandes empresas españolas. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 24(3), p. 175-189.
- Reyes, M., Gascó, J. & Taverner, J. (2015). Outsourcing de sistemas de información: situación actual, evolución y tendencias. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 21(2), pp. 93-99.

- Rico Bautista, D., Areniz Arévalo, Y., & Medina Cárdenas, Y. C. (2015). La apropiación del direccionamiento estratégico: Una cuestión de competencias organizacionales. FACE: Revista de La Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2015.1617>
- Romero, F. J. (2007). Las Nuevas Tecnologías y la Toma de Decisiones Éticas en la Empresa Privada. Razón y Palabra, agosto - septiembre, Issue 58, pp. 1-6.
- Salazar, D. L., Vanegas, M. & Arboleda, D. M. (2009). Nuevas tecnologías en la comunicación interna. lasallista de investigación, enero -junio, 6(1), pp. 16-26.
- Scheel, C. & Rivera, A. E. (2009). Utilización de las TIC y su impacto en la competitividad de las empresas latinoamericanas. Universidad & Empresa, junio, 8(16), pp. 71-93.
- Talib, M., Khelifi, A. & Ugurlu, T. (2012). Using ISO 27001 in teaching information security. IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Octubre, 3149(3153), pp. 25-28.
- Universidad Rey Juan Carlos (2016). MOOC Ciberseguridad. Ataques y contramedidas. [En línea] Disponible en: <https://urjcx.urjc.es/courses/URJCx/URJCx104/IA/info>. [Último acceso: 02 Marzo 2016].
- Villalobos Carmona, S. (2010). La importancia de la tecnología en las empresas. s.l.:s.n.
- Zaini, M. & Masrek, M. (2013). Conceptualizing the Relationships between Information Security Management Practices and Organizational Agility. Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT), 23-24 Dec..pp. 269,273.



# Mapping concept and challenges for smart technologies: a systematic study approach

Gina Maestre-Gongora<sup>1</sup>, Ramon Fernando Colmenares-Quintero<sup>1</sup>, Kim Stansfield<sup>2</sup>

[gina.maestre@campusucc.edu.co](mailto:gina.maestre@campusucc.edu.co), [ramon.colmenaresq@campusucc.edu.co](mailto:ramon.colmenaresq@campusucc.edu.co),  
[k.stansfield@warwick.ac.uk](mailto:k.stansfield@warwick.ac.uk)

<sup>1</sup> Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> University of Warwick, Coventry, Warwick, United Kingdom.

**Pages: 28–40**

**Abstract:** The aim of the research described in this paper is to identify, classify, and explore the main concepts and their evolution related to smart technologies. We apply the systematic mapping study, selecting 836 studies and we synthesized the obtained data and produced bibliometric analysis. We discovered that most of the research has been oriented towards the concept of intelligent systems as the pioneering term of these trends, but highlights emerging terms such as: Smart Device, Smart Technology, Intelligent Systems that in recent years show an increasing trend in the number of publications. On the other hand, the technological advance in Big Data, Sensors and Networks has generated more research and development in this field. Future work may focus on research topics, such as models of evolution of technologies in emerging topics such as Big Data, Analytics, Internet of Things and its impact on some fields of application.

**Keywords:** data analytics; intelligence artificial; smart device; smart systems; smart technology.

## 1. Introduction

In the current context, smart technologies are understood as the combination of Information and Communication Technologies (ICT) including hardware, software and communications systems, capable of acquiring data, analyzing, predicting behavioral trends and automatically adapting to support decision-making in system control. ICT have already changed the ways of interacting, making and understanding the world. This change is taking place in many aspects, where research projects every day incorporate technologies providing “intelligent” solutions and shows a high penetration and application mainly in the areas of engineering, health and education.

Smart technologies are a generalization of the concept of smart structures (Holnicki-Szulc, 2008). This includes systems emerging technologies such as sensors and autonomous systems, which allow the adaptation of systems taking into account the conditions of the environment in which they operate, adding intelligence to the systems. These technologies include artificial intelligence, big data, ubiquitous computing,

which are capable of automatically adapting and modifying their functioning according to the dynamics of the system parameters, generating information and knowledge as performance indicators or early warnings to support decision making. Some trends in smart technologies observed in development research projects are shown in Table 1.

Technology	Description
Data analytics	Data analytics is composed of theory-driven mathematical models such as regression models, decision trees, and neural networks as well as data-driven models such as clustering or segmentation that support the development of data mining and machine learning (Cattaneo et al, 2018). Data analytics allows the development of data visualization, attribute selection, data cleansing, etc., to build the quality data set that facilitates the implementation of automatic learning algorithms to build rules that allow predictive analysis (Hastie et al. 2008).
Internet of Things (IoT),	The IoT, Internet of objects, is the paradigm oriented to connect things and people through sensors, actuators and other intelligent technologies, thus allowing communications person to object, object to object and person to person. It is a highly relevant research and development topic currently arising from the integration of hardware and software through the Internet and other communication protocols (Lee et al,2019).
Mobile technology	Mobile technology, defined as the hardware and software that facilitates the entry and real-time access to information, allowing the use of these technologies to improve the nature of the collection, storage, documentation and distribution of information in different fields of application (Yamaura & Muench,2018).
Artificial Intelligence (AI)	Salehi & Burgueño (2018) affirm that IA attempts to simulate people's cognitive and learning ability through symbolically structured knowledge bases to solve engineering and business problems that cannot be solved in the traditional way with existing technologies combining areas such as computing, information theory, cybernetics, linguistics and neurology
Virtual Reality	Virtual reality (VR) refers to a computer-generated environment in which users are immersed (Borsci, Lawson and Broome, 2015) and are able to perceive, act and interact through multiple sensory channels - such as sight, sound and touch with a three-dimensional virtual world (Borawska, Borawski & Łatuszyńska, 2018).

Table 1 – Trends in Smart technologies.

Smart technologies are characterized by: data acquisition via technological devices or technological infrastructure such as sensors, cameras or others, provides information to analyze, infer or identify behavioral trends based on real-time system data, able to learn, anticipate behaviors even reaching the ability to self-generate and self-sustain, at advanced maturity levels and allow sensors, databases, processing systems and wireless access to capture, adapt and provide collaborative environments to facilitate user interaction with the intelligent technological environment.

This article emphasizes the need to identify new directions and approaches for the body of knowledge of information technologies evolving the field of intelligent technologies that support the development and application in research projects in order to facilitate and evaluate the adoption of these in the contexts of application for which they were designed. Therefore, a systematic literature mapping study is presented following the methodology proposed by Kitchenham (2007), where the objective is to identify,

evaluate and synthesize research trends, research areas and application opportunities of these technologies making use of bibliometric analysis software tools.

## 2. Methods

The design of the review protocol for the mapping study is the creation of a document where the rationale for the review, the research questions, their motivation, and the execution process is described by (Sorrell,2007). Data synthesis is the process of answering research questions. The whole process is non-linear and it is usually necessary to go back to previous steps as the understanding of the research problem increases. The protocol for the review is presented in the figure 1.

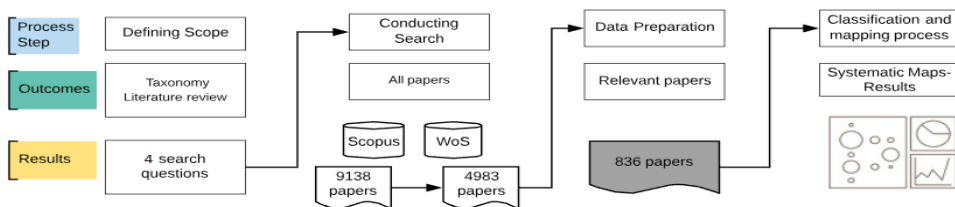


Figure 1 – Methodological Mapping Process.

### 2.1. Defining Scope

The justification for the review given that the literature is numerous and there is evidence of an increase in publications in the last 10 years, focuses on the application of intelligent technologies and the identification of trends in its concept. The goal of the review will be the integration of concepts and their emphasis on the identification of application domains proposed in the literature. An organization of the information will be taken into account mainly by chronological and conceptually common aspects, assuming a neutral perspective due to the initial exploration in the topic and to clarify and accommodate any bias or prevailing position the author may hold. The audience and topic this review focuses on is the public and the way they might benefit from the application of smart technologies.

The review questions defined are:

Q1. ¿What are relevant search terms and what are the main publication forums? To identify the most important terms, concepts or key words for smart technology research and the most appropriate search steps for improving search methodologies.

Q2. ¿In what domains are smart technologies research applied? The goal is identifying different areas of research and development of smart technologies. It is expected to identify specific research topics, as well as some applications in some specific fields.

Q3. ¿How have publication amount, frequency, and research topics changed over time? This question is aimed at identifying interest in the area of research over time, and the main sources in the field.

Q4. How can the field of smart technologies research be structured? The goal is to identify key factors to build a framework to structure relevant topics in smart technologies for social and public applications in the future.

## 2.2. Conducting Search

The search focused on databases mainly in Web of Science (WoS) and SCOPUS, prioritizing the search in the fields of Title, Abstract or Keywords. The main keywords to be used in the search strings are defined as follows:

Key Term: Smart Technologies; Synonyms: Intelligent Technologies, Smart Devices, Smart Systems; Narrower Terms: application, research, concept. The search began with the combination of strings from the most general to the most specific in each of the databases selected by varying the keywords and operators in order to refine the results obtained.

## 2.3. Data Preparation

In this stage, the results obtained in the different databases are combined with different sources (WoS and SCOPUS) to normalize the records and generate a common record structure. For this purpose, inclusion and exclusion criteria are defined, which allow for data unification rules, completeness validations, i.e. checking that all records have complete information and the standardization of data that all table headings handle the same identifier for later analysis in Excel or VOSViewer. Exclusion criteria: Elimination of duplicates, Empty data in author, keywords, source, abstract and Types of Publication: Editorial Material, Note, Correction. Inclusion Criteria: Publication year: 2008-2018, Types of Publication: Article, Conference Paper, Book, Proceedings, Review, Short survey.

## 2.4. Classification and mapping process

For this analysis 836 records are selected, which is the subsequent result of the data preparation process from 4983 potential records, guaranteeing a level of relevance of these results and the accuracy that the topic addressed in it is of interest to this review (Table 2). The steps to conduct the data analysis are presented through descriptive statistics in Excel and network maps obtained from the VOSViewer support software.

For the analysis of results, bibliometric network analyses are performed using the VOSViewer software and the report analysis tool from the Web of Science (WoS) and Scopus database. The results obtained are presented below.

No.	Topic	Attributes	Results
1	Normalization Data Bases, Specific terms	All papers	4983
2	Elimination of duplicate entries, empty records	Unique papers	2278
3	Type of Publication, year, title	Relevant paper	836

Table 2 – Classification.

## 4. Results and discussion

### ***R1. What are relevant search terms and what are the main publication forums?***

For the analysis of the results, five key words have been selected in which it is evident that they are the most relevant and recurrent terms in the literature as they are: Intelligent Systems, Smart Device, Smart Systems, Smart Technology, Intelligent Technology. In terms of the number of publications containing the title of some of these terms, it can be seen in figure 2 that the predominant terms are Intelligent Systems and Smart Devices with a significant difference from the others. While other terms are gaining importance in the literature, they are not as powerful as those mentioned.

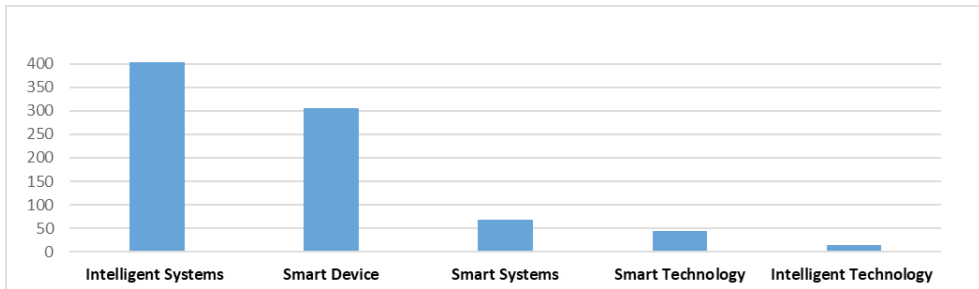


Figure 2 – Number publication by keyword.

Intelligent and Smart Systems involve applications and devices with human-like capabilities. The field of intelligent systems is an emerging interdisciplinary field that addresses classical fields such as systems, information and control theory, artificial intelligence, operational research, telecommunications, and others (Tzafestas, 1999). The Smart Device and Smart Technology as expose Silverio-Fernandez, Renukappa, & Suresh, (2018) is associated with an intelligent device as an electronic device capable of autonomously performing processes and connecting to other devices to interact with each other. There are several concepts with this term with which you can find related information among which you can highlight: Smart Metering Device, Mobile Computing Device, Mobile Device, Handheld Device, Smart Objects, Mobile IT Device, Smart Terminal Device or Smart Tablet Device. There are also other terms such as ambient intelligence, hybrid intelligent systems, smart machine, connected devices, which emerge in literature recently as shown Figure 3.

On the other hand, it is possible to identify predominant trends in smart technologies, in the figure 3 y figure 4, mainly in artificial intelligence, data analysis, human interaction, computer and internet of things, which are described below and for each one we present its concept, related terms and some challenges and opportunities.



secure and efficient computer systems. In the searches we find that the key issues related to Human-Computer Interaction are: Ubiquitous computing, interface design and user-centered design. As a challenge in this area explains (Lazar et al, 2017): Beyond traditional computing is understanding how users interact with technology throughout all aspects of their lives.

### Data Analytics

Data Analysis allows organizations to become proactive, forward-looking, anticipating results and behaviors based on data rather than on a hunch or assumption (Kannan et al, 2018). Databases, Large Data, Business Intelligence, Data Mining, Predictive Analytics are the related terms for Data Analysis. (Latif et al, 2017) presents several factors that affect large data and data analytics, but security, privacy and accuracy are the key aspects to consider.

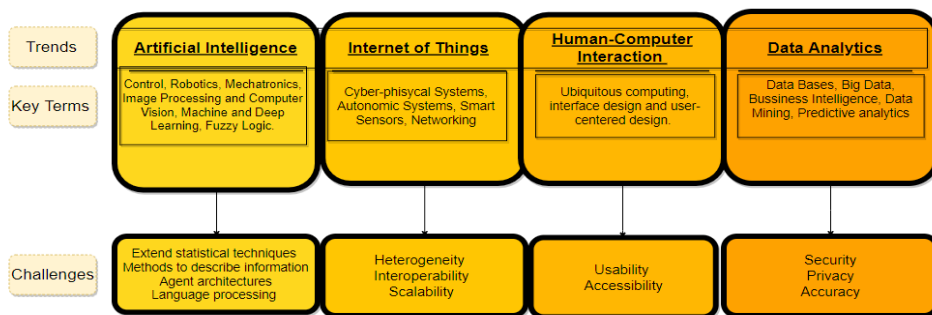


Figure 4 – Key Terms and Challenges in Smart technologies.

### Q2. In what domains are smart technologies research applied?

To answer the question of which smart technologies were addressed in domain research, all results were counted in total and per topic area. Figure 5 shows the number of publications by area. This section identifies applications, models, frameworks or devices taking into account the five terms used in this review relating to areas in which there is research evidence.

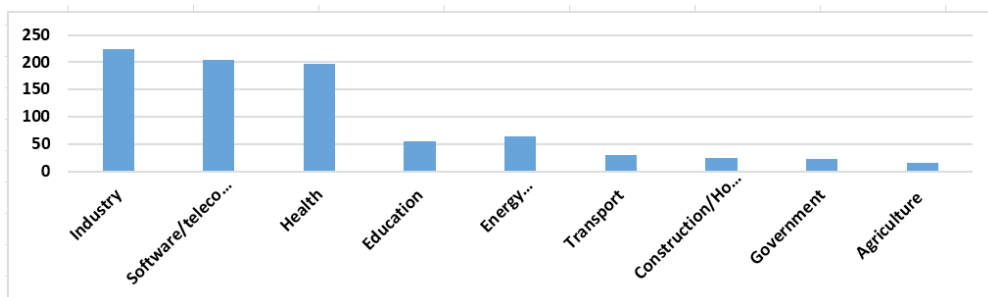


Figure 5 – Research Domain.



Health, Software and Industry are the domains where is the mostly of application in these technologies with AI and Sensors mainly (figure 5). In education the themes of mobile device and augmented and virtual reality are relevant. In health and energy, artificial intelligence and sensors have application and, in the industry, the theme of networks and artificial intelligence predominates as shown in Table 3.

Technology Trend	Industry	Health	Education	Energy
Mobile		42	32	
Artificial intelligence	100	73		29
Networks/ sensors	70			27
Reality Virtual/ Augmented			23	

Table 3 – Matrix Technology Vs Application Area.

### Energy

Smart grid technologies can be defined as stand-alone systems that support electrical systems (generation and distribution) in a sustainable, reliable, safe and quality manner (Gungor et al, 2011). Intelligent energy networks are made up of devices capable of performing efficiently from an energy point of view and with the capacity for communication and remote control (Avancini et al, 2019). Some of the enabling technologies and methodologies to address complex energy challenges include distributed computing, high-performance computing, and self-organized sensor networks (Vaccaro, et al 2019). Some applications of smart technologies in energy are: Simulation of the electricity market model, of customers, identifying demand peaks versus supply shortfalls, generating value to data obtained from customers and actively controlling the electrical load, Wen et al (2016). Price Forecasting, the daily prediction of the market compensation price (MCP) in the markets. (Amjady and Hemmati, 2009). Designing a contract model of the weather derivatives between energy utilities (Fujita & Mori, 2012).

### Challenges

The security aspects given that the measurements are used for real-time network monitoring as mentioned by Zseby, T. and Fabini, J. (2014). Standardization of data and database structures and interoperability, Zhang, Y., Huang, T., & Bompard, E. F. (2018). Some of the legal challenges, Basic issues include the protection of critical information infrastructure, intelligent networks and large data and the use of cloud computing Kasper, A. (2014).

### Education

In education there is a marked trend in the use of mobile devices and the use of augmented reality to improve the user experience, and thus improve teaching and learning processes through simulated environments. Mobile learning (M-learning) is a learning mode that uses smartphones, phablets, tablets, netbooks or notebooks as mediators of the teaching and learning process and is part of e-learning. As (Yousuf, 2007) points out, M-learning is “more interactive, with more contact, communication and collaboration with people”.



The Virtual reality (VR) enables dynamic other forms of learning (Davidekova, Mjartan & Gregus,2017). The users can make use of a range of ways of interacting with virtual worlds. Accordingly, the real-time interaction between different students leads to genuine co-operative learning. (Sánchez, Barreiro, & Maojo,2000). “At first sight these affordances seem ideal for teaching almost any skill, and the increased immersion offered by new VR technology seems well suited for successful educational approaches and theories such as constructivism, active learning, or simulation-based learning” says Jensen& Konradsen (2017).

**Q3. How have publication amount, frequency, and research topics changed over time?**

The distribution of the 836 studies selected for analysis. According to our analysis, most of the studies are published in a magazine (41%) while in conference (54%), having these major sources of publication, in contrast the publications of books and reviews are quite limited with around 2% and 3% respectively. Regarding the evolution of concepts as shown figure 7 the term intelligent systems is the most popular and of which more information is found in the literature, we can say that it was the first of this body of knowledge, but once technology is evolving other terms have gained importance. The term Smart Device shows a tendency in the increase of publications since 2014, the term smart technology in the last three years shows significant increases, while intelligent systems are stabilizing without showing significant increases last three years. The results clearly show that smart technologies are an area of research that is experiencing a significant growth reflected in the dynamics of publications and citations which have multiplied by three from 2012 to 2017 showing a more notable growth between 2013 and 2014 where production doubled and then has been growing steadily around 20% between 2015 and 2017 as shown in Figure 7. As can be seen, publications with the adjective intelligent (systems, or technologies) are the most frequently cited according to the fact that these are the terms that have been the most recurrent in the literature. On the other hand, it should be noted that a term such as smart device, although until a few years ago it has become popular is found with publications with several important citations and the term Smart technology is increasing its visibility in the literature.

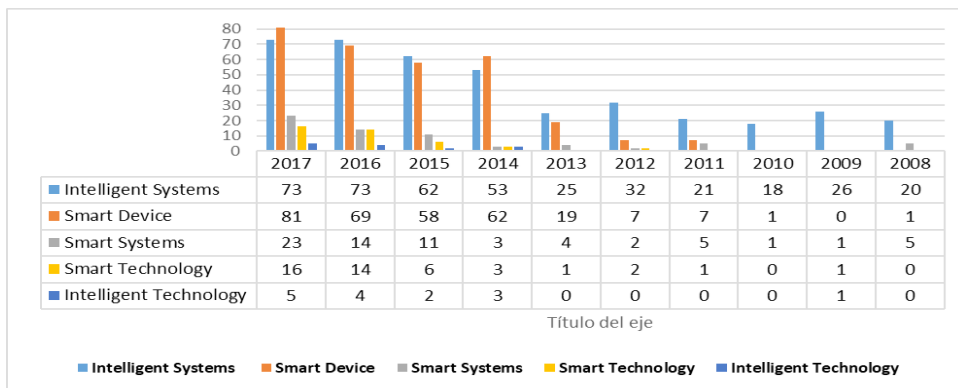


Figure 6 – Evolution of concepts.

#### Q4. How can the field of smart technologies research be structured?

There are clearly identified in the literature large sets of technological trends that predominate in this area of research as shown Figure 8, Mobile, Artificial intelligence, Analytics, Virtual and augmented Reality.

We can also establish the correlations of these with the key terms, for example: The term Smart device is closely related to mobile technologies, networks and virtual reality, The term artificial intelligence with the technologies of Fuzzy, Deep Learning, Machine Learning, Optimization, Robotic and Analytics with Big Data, Datamining, Databases. And generally, the term “systems” has a high relationship with software technologies and the term “device and Technology” with hardware technologies.

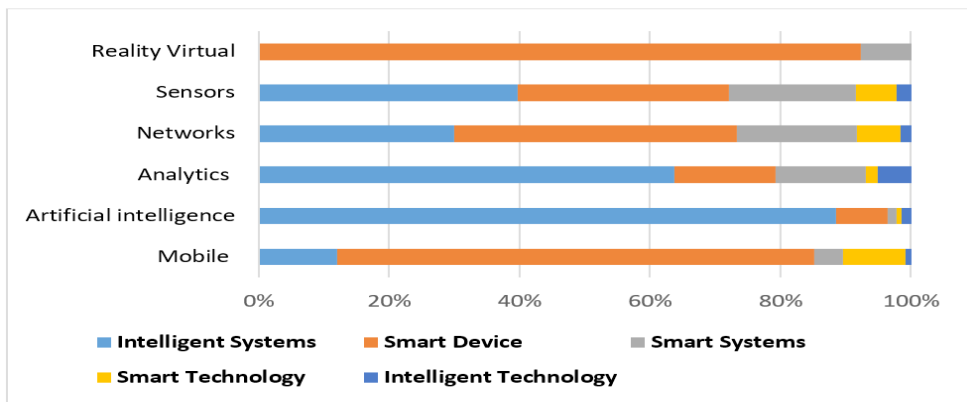


Figure 7 – Relationship between keywords and technologies.

## 5. Conclusions

It is possible to affirm that, although the topic of smart technologies is a relevant topic given the flow of information in the last decade, the existence of diversity of relevant terms given the technological development and that certain tendencies are consolidating in this field. Few publications focus on literature reviews, or systematic mapping, providing elements for the identification of trends in the field of research, areas and types of intelligent technologies in a comprehensive way in this field that is growing every day. Due to the emergence of new intelligent technologies, new challenges can be identified depending on the technologies, for example for artificial intelligence, issues such as advanced statistical techniques and the use of agent-based architectures, in data analytics privacy and security issues become relevant in the advancement of this body of knowledge.

This work provided a holistic exploration related to the so-called smart technologies, the largest presence is related to technologies associated with sensors, smart-grids, smartphones, control and automatic and optimization. When analyzing by relevance of the terms appear others such as the theme of internet of things (IoT), internet and grid.

The analysis of terms also shows that the practices are oriented to innovation, adoption, evaluation, measurement of impact through experiences, case studies or services predominantly from the application of prototypes or devices in research areas.

## 6. Acknowledgements

We thank the Universidad Cooperativa de Colombia and the University of Warwick for all the support. The funding for this study was provided by the Newton Fund/Royal Academy of Engineering under the project called “Enhancing Aquatic Renewable Energy (ARE): Technology design and adaptation programme for Colombia - IAPP18-19\90” and by Universidad Cooperativa de Colombia under the project “Desarrollo de una estructura computacional para evaluar y optimizar el desempeño de sostenibilidad de sistemas de generación de energías en zonas rurales y no interconectadas -ID 2210”.

## References

- Amjady, N., & Hemmati, M. (2009). Day-ahead price forecasting of electricity markets by a hybrid intelligent system. *European Transactions on Electrical Power*, 19(1), 89–102. doi:10.1002/etep.242
- Avancini, D. B., Rodrigues, J. J. P. C., Martins, S. G. B., Rabêlo, R. A. L., Al-Muhtadi, J., & Solic, P. (2019). Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 702–715. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.229
- Borawska, A., Borawski, M., & Łatuszyńska, M. (2018). The Concept of Virtual Reality System to Study the Media Message Effectiveness of Social Campaigns. *Procedia Computer Science*, 126, 1616–1626. doi:10.1016/j.procs.2018.08.135
- Borsci, S., Lawson, G., & Broome, S. (2015). Empirical evidence, evaluation criteria and challenges for the effectiveness of virtual and mixed reality tools for training operators of car service maintenance. *Computers in Industry*, 67, 17–26. doi:10.1016/j.compind.2014.12.002
- Cattaneo, L., Fumagalli, L., Macchi, M., & Negri, E. (2018). Clarifying Data Analytics Concepts for Industrial Engineering. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 820-825.
- Davidekova, M., Mjartan, M., & Gregus, M. (2017). Utilization of augmented reality in education of employees in slovakia. *ICERI2017 Proceedings*. doi:10.21125/iceri.2017.1600
- Fujita, H., & Mori, H. (2012). A Hybrid Intelligent System for Designing a Contract Model for Weather Derivatives. *Procedia Computer Science*, 12, 361–366. doi:10.1016/j.procs.2012.09.085
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). *Smart grid technologies: Communication*
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. (2008). *The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference and Prediction*, Springer, 2nd Edition

- Holnicki-Szulc, J. (Ed.). (2008). *Smart Technologies for Safety Engineering*. doi:10.1002/9780470758595
- Hussain, M. I. (2016). Internet of Things: challenges and research opportunities. *CSI Transactions on ICT*, 5(1), 87–95. doi:10.1007/s40012-016-0136-6
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2017). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. doi:10.1007/s10639-017-9676-0
- Kannan, N., Sivasubramanian, S., Kaliappan, M., Vimal, S., & Suresh, A. (2018). Predictive big data analytic on demonetization data using support vector machine. *Cluster Computing*. doi:10.1007/s10586-018-2384-8
- Kasper, A. (2014). Legal Aspects of CyberSecurity in Emerging Technologies: Smart Grids and Big Data. *Regulating eTechnologies in the European Union*, 189–216. doi:10.1007/978-3-319-08117-5\_10
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1), 7–15.
- Latif, Z., Lei, W., Latif, S., Pathan, Z. H., Ullah, R., & Jianqiu, Z. (2017). Big data challenges: Prioritizing by decision-making process using Analytic Network Process technique. *Multimedia Tools and Applications*. doi:10.1007/s11042-017-5161-4
- Lazar, J., Feng, J. H., & Hochheiser, H. (2017). Online and ubiquitous HCI research. *Research Methods in Human Computer Interaction*, 411–453. doi:10.1016/b978-0-12-805390-4.00014-5
- Lee, U., Han, K., Cho, H., Chung, K.-M., Hong, H., Lee, S.-J., ... Carroll, J. M. (2019). Intelligent positive computing with mobile, wearable, and IoT devices: Literature review and research directions. *Ad Hoc Networks*, 83, 8–24. doi:10.1016/j.adhoc.2018.08.021
- Moret-Bonillo, V. (2018). Emerging technologies in artificial intelligence: quantum rule-based systems. *Progress in Artificial Intelligence*, 7(2), 155–166. doi:10.1007/s13748-017-0140-6
- Puliafito, A., Mitton, N., Papavassiliou, S., & Trivedi, K. S. (2012). Editorial: Special issue on Internet of Things: convergence of sensing, networking, and web technologies. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012(1). doi:10.1186/1687-1499-2012-212
- Salehi, H., & Burgueño, R. (2018). Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. *Engineering Structures*, 171, 170–189. doi:10.1016/j.engstruct.2018.05.084
- Sánchez, Á., Barreiro, J. M., & Maojo, V. (2000). Design of virtual reality systems for education: A cognitive approach. *Education and information technologies*, 5(4), 345–362.

- Silverio-Fernández, M., Renukappa, S., & Suresh, S. (2018). What is a smart device? - a conceptualisation within the paradigm of the internet of things. *Visualization in Engineering*, 6(1). doi:10.1186/s40327-018-0063-8
- Sorrell, S. (2007). Improving the evidence base for energy policy: The role of systematic reviews. *Energy Policy*, 35(3), 1858–1871. doi:10.1016/j.enpol.2006.06.008
- Tzafestas, S. G. (Ed.). (1999). *Advances in Intelligent Systems*. doi:10.1007/978-94-011-4840-5
- Vaccaro, A., Pisica, I., Lai, L. L., & Zobaa, A. F. (2019). A review of enabling methodologies for information processing in smart grids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 107, 516–522. doi:10.1016/j.ijepes.2018.11.034
- Voronov, A. V. (2007). Methodological aspects of artificial intelligence. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 41(4), 131–137. doi:10.3103/S0005105507040012
- Yamaura, J., & Muench, S. T. (2018). Assessing the impacts of mobile technology on public transportation project inspection. *Automation in Construction*, 96, 55–64. doi:10.1016/j.autcon.2018.08.021
- Yousuf, M. I. (2007). Effectiveness of mobile learning in distance education. *Turkish Online Journal of Distance Education* 8 (4):114-124.
- Wen, M.-X., Chu, M.-H., Fang, L., & Chen, W.-J. (2016). Realization and Research of Intelligent system of client electricity information based on the Big Data Processing Technology. doi:10.2991/icadme-16.2016.110
- Zhang, Y., Huang, T., & Bompard, E. F. (2018). Big data analytics in smart grids: a review. *Energy Informatics*, 1(1). doi:10.1186/s42162-018-0007-5
- Zseby, T., & Fabini, J. (2014). Security Challenges for Wide Area Monitoring in Smart Grids. *e & i Elektrotechnik Und Informationstechnik*, 131(3), 105–111. doi:10.1007/s00502-014-0203-3

# Web Services REST: una revolución en la forma de acceso a datos

Xavier Mauricio Rea-Peñafliel<sup>1</sup>, Tommy B. Mancero-Menoscal<sup>1</sup>, Diana C. Rosero-Rea<sup>1</sup>, Daisy E. Imbaquingo-Esparza<sup>1,2</sup>

[mrea@utn.edu.ec](mailto:mrea@utn.edu.ec), [tbmancerom@utn.edu.ec](mailto:tbmancerom@utn.edu.ec), [dcroseror@utn.edu.ec](mailto:dcroseror@utn.edu.ec),  
[deimbaquingo@utn.edu.ec](mailto:deimbaquingo@utn.edu.ec)

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

<sup>2</sup> Instituto de Postgrado de Ciencias Informáticas, Universidad Nacional de La Plata, 1900, La Plata, Argentina.

Pages: 41–49

**Resumen:** Un servicio eficiente que cumpla con los requerimientos para un producto de software de calidad es la decisión más compleja en un proyecto de desarrollo, usar Web Service REST va en aumento por su popularidad y la revolución que generó en la forma de acceso a la información, siendo un servicio que brinda una interacción cliente-servidor para el procesamiento de datos de forma sencilla, ágil y flexible, sin necesidad del estado de solicitudes, permitiendo integrar sistemas a gran escala. El marco de trabajo del servicio está basado en el modelo Vista-Controlador, sus operaciones básicas son el eje para su caracterización y ventajas que posee. Se realizó un marco teórico que permite comprender desde su inicio todo lo que concierne a un Web Service REST. Se realizó una revisión bibliográfica para descubrir e identificar qué es un Web Service REST y los beneficios que se encuentran inmersos en este servicio.

**Palabras-clave:** servicio web; arquitectura de software; interoperabilidad; cliente-servidor.

## *REST Web Services: a revolution in the way of accessing data*

**Abstract:** An efficient service that meets the requirements for a quality software product is the most complex decision in a development project, using Web Service REST is increasing because of its popularity and the revolution it generated in the form of access to information, being a service that provides a client-server interaction for data processing in a simple, agile and flexible way, without the need for the status of requests, allowing large-scale systems to be integrated. The service framework is based on the Vista-Controller model, its basic operations are the axis for its characterization and advantages that it has. A theoretical framework was made that allows us to understand everything that concerns a Web Service REST from the outset. A bibliographic review was conducted to discover and identify what a Web Service REST is and the benefits that are immersed in this service.

**Keywords:** web service; software architecture; interoperability; client-server.

## 1. Introducción

La World Wide Web experimenta cambios que permiten a las personas el acceso a todo tipo de datos, formando una revolución de servicios donde proveedores y el volumen de datos son más accesibles (Serrano, Stroulia, Lau, & Ng, 2017). Parte de esta revolución es promovida por el uso de Web Services con el principal objetivo de solucionar el acceso a datos, la integración de las aplicaciones y proporcionar una mayor interoperabilidad para un servicio más estable (Klonowska, 2012). Originalmente la arquitectura REST (Transferencia Representacional) se presentó en la década de 1990 y fue diseñada por Roy T. Fielding quien la diseñó con el fin de admitir los requisitos de alto rendimiento y escalabilidad en un entorno hipermedia (Zou, Mei, & Wang, 2010).

De ahí la necesidad de establecer un marco de referencia donde se abarquen temas como las características del servicio web REST, su estructura comunicacional, las ventajas/desventajas de uso y mencionar al nuevo tipo de servicio GRAPHQL para futuros estudios.

REST es conocido como un estilo de arquitectura orientado a los recursos, puede proporcionar grandes comodidades para construir aplicaciones a escala de internet (Cheng, Zhao, Qian, Zhai, & Chen, 2018). Según Roy T. Fielding Fielding, REST es un conjunto de restricciones arquitectónicas coordinadas, con el fin de minimizar latencia y comunicación de red, mientras fortalece la independencia y escalabilidad en implementaciones de componentes (Ekblom, 2011), usando el almacenamiento en caché y la reutilización de interacciones, la sustituibilidad dinámica de componentes y el procesamiento de acciones por parte de intermediarios, a fin de satisfacer la necesidad de un sistema hipermedia de tipo internet scale.

La importancia de REST está en la interacción cliente-servidor sin necesidad del estado de solicitudes, la información de procesamiento se encuentra contenida en el servidor, de tal manera que el cliente no sabrá de las necesidades requeridas para las peticiones realizadas (Rojano Broz, 2017). Como en cualquier software la verificación de calidad es mediante las pruebas, igualmente para los web service se consideran 3 aspectos importantes como son: insuficiente semántica, variedad de formatos de recursos y uso de solicitudes HTTP (Silva de Souza et al., 2012).

La arquitectura REST coloca restricciones en las interacciones de los componentes. Ignora detalles de implementación, sintaxis del protocolo, logrando una escalabilidad de interacciones y un despliegue independiente de componentes para permitir que componentes intermedios reduzcan la latencia de interacción (Ekblom, 2011). Los componentes se pueden reorganizar dinámicamente, los intermediarios se colocan en el flujo una representación, actuando a un modelo de tubería y filtro, no está vinculado a un protocolo en particular, proporciona integración perfecta a diferentes protocolos al permitir a los intermediarios transformar representaciones en su camino a través del sistema, aunque HTTP es el protocolo más utilizado en Internet.

REST explica el intercambio y distribución a mayor escala de datos e información. Conocida como web utiliza HTTP para transporte y URL como direccionamiento, es utilizada con HTML, XHTML, RSS, JSON y XML (Saryanto, Sumarsono, & Retnowati, 2013).



REST distingue 3 tipos de elementos en su arquitectura como son los elementos de datos, de conexión (conectores) y de procesamiento (componentes), cada uno de ellos son parte esencial de su funcionamiento (Jakl, 2006), principalmente los elementos de datos son el medio para transferir los componentes con el uso de recursos que son abstracciones claves y representaciones sobre los que se trabajan, el conjunto de una secuencia de bytes, metadatos de representación y metadatos de descripción dan lugar al primer elemento. El siguiente elemento presenta una interfaz abstracta que conduce a separación de intereses, ocultar la implementación, mejora de simplicidad y sustituibilidad, en esta parte de conexión REST encapsula sus actividades en conectores cliente, servidor, cache, resolver y túnel. El último elemento es identificado dependiendo del rol que cumple en la aplicación permitiendo que actúen como cliente y servidor para reenviar, con posibles traducciones, solicitudes y respuestas.

REST como un estilo que se encuentra dirigido a los recursos, puede proporcionar facilidades en el desarrollo de App distribuidas en Internet, su principal desafío es el cuello de botella de recursos, de ahí que ellos son su principal abstracción, y de los cuales, varios se encuentran vinculados por sus propios URI (Cheng et al., 2018).

Rest surgió como el modelo predominante en los últimos años, desplazando a SOAP y WSDL (Web Services Description Language) (Mascheroni, Maximiliano Irrazábal, 2016). Los métodos HTTP, como Get, Put, Post y Delete definen la operación a ejecutar en uno o más registros, permitiendo realizar la extracción, actualización, inserción y eliminación de uno o varios registros (Abilio, 2017).

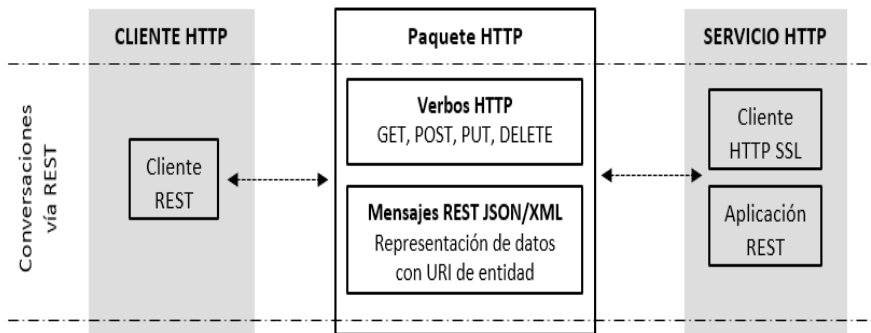


Figura 1 – Adaptación de conversación REST (Calvo, Gracia, & Bayo, 2014).

Principalmente los estudios realizados en la práctica de ingeniería de software afirman que los servicios REST son altamente mantenibles del lado del servidor y los REST HTTP son más fáciles de componer (Athanasopoulos & Kontogiannis, 2015). La popularidad que este servicio brinda es gracias a su forma eficiente y flexible de integrar sistemas a gran escala (Li & Chou, 2015), brindando interoperabilidad entre sistemas informáticos en Internet siendo una de las técnicas más utilizadas para proporcionar datos a varios tipos de consumidores de datos (Željko Jovanović, Dijana Jagodić, Dejan Vujičić, 2017).



Por su estructura y contextos de aplicación, un Web Service se lo puede emplear como la tecnología elegida para la migración de sistemas heredados o la pila de protocolos de acceso a información remota (Coscia, Crasso, Mateos, & Zunino, 2012), REST se encamina a unificar el estilo de servicios de datos para mejorar las capacidades de acceso al producto desarrollado, permitiendo una integración efectiva de la información (Leng, Liu, Luo, & Mei, 2018).

El formato de comunicación de REST con el cliente se encuentra basado en el patrón de intercambio de mensajes de solicitud-respuesta, cabe destacar que la nueva tendencia GraphQL usa la misma estructura de comunicación (Nogatz & Seipel, 2017).

Según Nogatz & Seipel (2017) proponen una comparativa de las propiedades existentes entre REST y GraphQL en la siguiente tabla:

Propiedades	REST	GraphQL
Puntos finales de API	Múltiple	Individual
Formato de mensaje para consultas	Basado en cadenas	Cadena
Formato de mensaje para mutaciones	Ninguna	Cadena
Formato de mensaje para respuesta	Ninguna, especialmente hipermedia	JSON
Sistema de tipo incorporado	Mecanografiado débilmente	Fuertemente tipado,
Funciones integradas	Sin metadatos legibles por máquina almacenables en caché	Metadatos para la validación de consultas de introspección,

Tabla 1 – Adaptación comparativa REST y GraphQL. Fuente: Elaboración propia.

## 2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión de literatura corroborando información en bases de datos de ingeniería y bases de datos multidisciplinarias como IEEE Xplore Digital Library, SpringerLink, Dialnet, Google Scholar, Elsevier, Base y Science Research respectivamente, usando diferentes cadenas de búsqueda como “REST”, “Representational State Transfer” o “Transferencia Representacional de Estado”, “Web Service” y “Web Service REST”, se empleó un filtro de rango de tiempo desde el año 2004 hasta la actualidad. La mayoría de literatura seleccionada corresponde al año 2011 hacia adelante.

El criterio de selección de artículos se basó en la valoración del cuartil que se encuentra asignada al documento en Scimago Journal & Country Rank (SJR) entre Q1-Q3, según el año de publicación, el análisis de resumen de los documentos y sus conclusiones con lo cual se selecciona un total de 75 documentos, de estos documentos se han citado los más relevantes y con información precisa para la realización de este documento.

### 3. Resultados y discusión

En las tablas a continuación se presenta una recopilación de definiciones, y enunciados realizados por expertos citados, donde se evidencia que en su mayoría van encaminados a un criterio similar y de concordancia. Cabe mencionar que la información recopilada es la base teórica de lo que es un Web Service REST y cómo beneficia el desarrollo de aplicaciones por su funcionamiento.

Autor	Web Service	REST
(Moro, Dorneles, & Rebonatto, 2011)	Sistema de software desarrollado para soportar interoperabilidad entre máquinas sobre una red.	Cualquier interfaz que transmite datos de un dominio específico a través de HTTP sin una capa de mensaje adicional.
(Klonowska, 2012)	Forma estandarizada de integrar aplicaciones basadas en web utilizando estándares abiertos XML, SOAP, WSDL y UDDI a través de Internet.	-
(Oliveira, 2012)	Sistema de software diseñado para admitir interacciones de red de máquina a máquina interoperables mediante una interfaz en procesable.	-
(Calas Amat, Calas Torres, & Romero Rodríguez, 2014)	Medio estándar de interoperabilidad entre aplicaciones de software que se ejecutan en varias plataformas.	Estilo de arquitectura de software para sistemas hipermedias distribuidos tales como la Web.
(Bloebaum & Johnsen, 2015)	Estilo de arquitectura de software que incorpora un conjunto de principios que determinan cómo se deben definir y abordar los recursos en red.	-
(Athanasopoulos & Kontogiannis, 2015)	-	Se define como un conjunto coordinado de las siguientes limitaciones arquitectónicas: Cliente-Servidor, Sin estado, Caché, Interfaz uniforme, Sistema en capas y el Código bajo demanda opcional.
(Rojano Broz, 2017)	Conjunto de aplicaciones o de tecnologías con capacidad para interoperar en la Web.	Estilo arquitectónico de sistemas en red en el cual la interacción entre el cliente y el servidor no tiene estado entre solicitudes.
(Heredia & Sailema, 2018)	Medio estándar de interoperabilidad entre aplicaciones de software que se ejecutan en una variedad de plataformas y/o marcos de trabajo.	Estilo arquitectónico para sistemas hipermedias distribuidos a gran escala con interacción sin estado entre los participantes en una conversación.
(Saryanto et al., 2013)	Método de intercambio de datos.	Explica el intercambio y distribución de información y datos a gran escala, utilizando HTTP como medio de transporte y URL como direccionamiento.
(Mascheroni, Maximiliano Irrazábal, 2016) 2017)	Es una aplicación identificada por un url, en el que las interfaces pueden ser definidas, descritas y descubiertas mediante XML.	Estilo de arquitectura de software para sistemas hipermedia distribuidos.

Tabla 2 – Definición de Web Service y REST según autores. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de los autores citados toman en cuenta el criterio de soporte de interoperabilidad como el principio fundamental de un Web Service y la capacidad de ejecución en varias plataformas y concuerdan que se ha convertido en un medio estándar en aplicaciones de software. Con respecto a REST la mayoría de citados mencionan un estilo de arquitectura de interacción cliente-servidor que proporciona un servicio sin necesidad de una capa de mensajería de estado en sistemas hipermedias.

Autor	JSON	XHTML	XML	HTML	BSON	Texto
(Moro et al., 2011)	x	-	x	-	-	-
(Silva de Souza et al., 2012)	x	x	-	-	-	-
(Oliveira, 2012)	x	-	x	x	-	-
(Bloebaum & Johnsen, 2015)	x	-	x	-	-	-
(Rojano Broz, 2017)	x	-	x	-	x	-
(Heredia & Sailema, 2018)	x	-	x	-	-	x

Tabla 3 – Formato de información. Fuente: Elaboración propia.

El acceso eficaz a información en grandes cantidades es la razón por la cual REST inició una revolución en los servicios de acceso a datos para la conexión con las aplicaciones necesarias, los formatos para ello deben ser de fácil acceso y eficientes, los autores afirmar en su totalidad que los formatos idóneos para ello es JSON y XML, no siendo los únicos, pero si los mejores.

Autor	Post	Get	Put	Delete	Head y Options
(Moro, Dorneles, & Rebonatto, 2011)	x	x	x	x	-
(Esteller-Curto, Cervera, Del Pobil, & Marin, 2012)	x	x	x	x	-
(Silva de Souza et al., 2012)	x	x	x	x	-
(Calas Amat, Calas Torres, & Romero Rodríguez, 2014)	x	x	x	x	-
(Bloebaum & Johnsen, 2015)	x	x	x	x	-
(Athanasopoulos & Kontogiannis, 2015)	x	x	x	x	-
(Rojano Broz, 2017)	x	x	x	x	-
(Heredia & Sailema, 2018)	x	x	x	x	-
(Zou et al., 2010)	x	x	x	x	-

Tabla 4 – Operaciones en REST. Fuente: Elaboración propia.

Los autores en su mayoría mencionan las operaciones básicas de un CRUD (crear, leer, actualizar, borrar), la accesibilidad a este servicio y las ventajas de su facilidad de uso, se fundamentan en conceptos y criterios generales que se debe poseer para poder implementar REST en un software o aplicación. Post, Get, Put y Delete son las operaciones que lo hacen todo posible, añadiendo a ello en ocasiones muy escasas se

usa un par de operaciones extras como Head y Options para complementar a un nivel más específico determinados contenidos que el Web Service necesite para un correcto desempeño del propósito de desarrollo.

#### 4. Conclusiones

Web Service REST es un servicio que propone una estructura de trabajo y con ella una gran oportunidad de interoperabilidad en base a una estructura teórica, cada uno puede ir creando un criterio propio en el conocimiento que brindan los expertos en cada uno de los documentos citados, de esta manera se pueden identificar las potencialidades que REST propone en cada uno de los contextos en que se puede encontrar inmerso, por las capacidades y necesidades que los proyectos de desarrollo tienen con toda la información requerida y el acceso eficaz a la misma con el fin de lograr un intercambio de datos eficiente para la consecución del objetivo de la aplicación.

El objetivo principal del trabajo de investigación bibliográfica fue descubrir e identificar qué es un Web Service REST desde cero, las características, componentes, elementos, restricciones, tipos de información que provee, las operaciones que realiza para funcionar y cumplir con su meta principal de ser un servicio de transferencia ágil y eficaz.

GraphQL es una nueva tendencia en del desarrollo de aplicaciones que puede ser comparada con REST por las similitudes en las propiedades que utilizan en el acceso a la información con la diferencia de requerimientos de consultas hacia bases de datos y el rendimiento en tiempo empleado para su objetivo de funcionamiento.

Finalmente, se puede concluir que la revolución propuesta por REST va en aumento y con amplios horizontes de expansión para soluciones más eficientes basadas en el funcionamiento de este servicio ante la gran demanda de integración de información en sistemas a gran escala en un contexto de trabajo multidisciplinario.

#### Referencias

- Abilio, R. (2017). *Systems Integration Using Web Services, REST and SOAP: A Practical Report*. Retrieved from <http://www.fsma.edu.br/si/sistemas.html34>
- Athanasopoulos, M., & Kontogiannis, K. (2015). Extracting REST resource models from procedure-oriented service interfaces. *Journal of Systems and Software, 100*, 149–166. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.10.038>
- Bloebaum, T. H., & Johnsen, F. T. (2015). Exploring SOAP and REST communication on the Android platform. *Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM, 2015-Decem*, 599–604. <https://doi.org/10.1109/MILCOM.2015.7357509>
- Calas Amat, D., Calas Torres, A., & Romero Rodríguez, F. I. (2014). Componente de generación dinámica de Servicios REST. *10ma Peña Tecnológica - UCI*.
- Calvo, J., Gracia, J., & Bayo, E. (2014). Aplicación web para el análisis y diseño de estructuras. *Informes de La Construcción, 66(1)*, 1–8. <https://doi.org/10.3989/ic.13.075>

- Cheng, B., Zhao, S., Qian, J., Zhai, Z., & Chen, J. (2018). Lightweight Service Mashup Middleware with REST Style Architecture for IoT Applications. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 15(3), 1063–1075. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2018.2827933>
- Coscia, J. L. O., Crasso, M., Mateos, C., & Zunino, A. (2012). Estimating Web Service interface complexity and quality through conventional object-oriented metrics. *15th Ibero-American Conference on Software Engineering, CIbSE 2012*, 16(1).
- Ekblom, R. (2011). Applied Representational State Transfer. *Computer Science*, (January).
- Esteller-Curto, R., Cervera, E., Del Pobil, A. P., & Marin, R. (2012). Proposal of a REST-based architecture server to control a robot. *Proceedings - 6th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, IMIS 2012*, 708–710. <https://doi.org/10.1109/IMIS.2012.130>
- Heredia, J. S., & Sailema, G. C. (2018). Comparative Analysis for Web Applications Based on REST Services: MEAN Stack and Java EE Stack. *KnE Engineering*, 3(9), 82. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i9.3647>
- Jakl, M. (2006). Representational State Transfer (REST). *Pro PHP XML and Web Services*, 633–672. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0139-7\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0139-7_17)
- Klonowska, K. (2012). Web Service Matching based on Semantic Classification Title: Web Service Matching based on Semantic Classification. *Master Thesis*.
- Leng, X., Liu, D., Luo, J., & Mei, Z. (2018). Research on a 3D geological disaster monitoring platform based on REST service. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/ijgi7060226>
- Li, L., & Chou, W. (2015). Designing Large Scale REST APIs Based on REST Chart. *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Web Services, ICWS 2015*, 631–638. <https://doi.org/10.1109/ICWS.2015.89>
- Mascheroni, Maximiliano Irrazábal, E. (2016). Framework para la creación y ejecución de pruebas automatizadas sobre servicios REST. *Universidad de La Cuenca Del Plata, I*, 2–8.
- Moro, T. D., Dorneles, C. F., & Rebonatto, M. T. (2011). Web services WS-\* versus Web Services REST. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica Em Computação*, 11(1), 36–51.
- Nogatz, F., & Seipel, D. (2017). Implementing GraphQL as a query language for deductive databases in SWI-Prolog using DCGs, quasi quotations, and dicts. *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science, EPTCS*, 234, 42–56. <https://doi.org/10.4204/EPTCS.234.4>
- Oliveira, R. R. de. (2012). *Avaliação de manutenibilidade entre as abordagens de web services RESTful e SOAP-WSDL*. <https://doi.org/10.11606/D.55.2012.tde-24072012-164751>

- Rojano Broz, J. (2017). *Desarrollo de un servicio REST e interfaz gráfica para un sistema de gestión de contenido dinámico*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Saryanto, S., Sumarsono, S., & Retnowati, N. D. (2013). Comparative Analysis of Xml and Json Using Php Application Platform With Representational State Transfer (Rest) Architectural. *Compiler*, 2(2), 115–124. <https://doi.org/10.28989/compiler.v2i2.53>
- Serrano, D., Stroulia, E., Lau, D., & Ng, T. (2017). Linked REST APIs: A Middleware for Semantic REST API Integration. *Proceedings - 2017 IEEE 24th International Conference on Web Services, ICWS 2017*, 138–145. <https://doi.org/10.1109/ICWS.2017.26>
- Silva de Souza, T., Correa, A. L., Schmitz, E. A., Alencar, A. J., Federal, U., Rio, G., & Federal, A. U. (2012). *Testes Funcionais de Web Services RESTful a partir de Modelos UML*. (September 2014), 188–202. <https://doi.org/10.13140/2.1.1774.7209>
- Željko Jovanović, Dijana Jagodić, Dejan Vujičić, S. R. (2017). Java Spring Boot Rest Web Service Integration With Java Artificial Intelligence Weka Framework. *International Scientific Conference “UNITECH 2017,”* (November), 323–327.
- Zou, J., Mei, J., & Wang, Y. (2010). From representational state transfer to Accountable State Transfer architecture. *ICWS 2010 - 2010 IEEE 8th International Conference on Web Services*, 299–306. <https://doi.org/10.1109/ICWS.2010.56>

# Sistema automatizado para la conducción de inspecciones de usabilidad y accesibilidad - SIUSA

Martín Monroy Ríos<sup>1</sup>, Gabriel Elías Chanchí G.<sup>1</sup>, Patricia Acosta Vargas<sup>2</sup>

**mmonroyr@unicartagena.edu.co, gchanchig@unicartagena.edu.co,  
patricia.acosta@udla.edu.ec**

<sup>1</sup> Universidad de Cartagena, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad de las Américas, 170125, Quito, Ecuador.

**Pages: 50–63**

**Resumen:** El crecimiento del número de aplicaciones y recursos tecnológicos contruidos para diferentes contextos ha propiciado el desarrollo de aplicaciones centradas en el usuario. En este sentido, uno de los métodos más difundidos para evaluar la usabilidad y la accesibilidad es la inspección heurística. Ante este escenario surge la necesidad de contar con herramientas que posibiliten la conducción de este tipo de evaluaciones con heurísticas asociadas a diferentes campos de aplicación. En este artículo se propone un sistema software para la automatización de inspecciones de usabilidad y accesibilidad basadas en principios de heurísticos. El sistema se evaluó con un estudio de caso tomando como referencia los cinco atributos de calidad de Nielsen. Los resultados demostraron que el sistema propuesto permite la configuración de heurísticas y criterios de un contexto específico, para la evaluación de un software determinado, obteniendo en forma automática análisis estadísticos y gráficos.

**Palabras-clave:** accesibilidad; heurística; método de inspección; usabilidad.

## *Automated system for conducting usability and accessibility inspections*

**Abstract:** The growth in the number of applications and technological resources built for different contexts has led to the development of user-centered applications. In this sense, one of the most widespread methods to evaluate usability and accessibility is heuristic inspection. Given this scenario, there is a need for tools that make it possible to conduct this type of evaluation with heuristics associated with different fields of application. In this paper, we propose a software system for the automation of usability and accessibility inspections based on heuristic principles. The software system was evaluated with a case study taking as reference the five Nielsen quality attributes. The results demonstrated that the proposed system allows the configuration of heuristics and criteria of a specific context, for the evaluation of a given software, automatically obtaining statistical and graphical analyzes.

**Keywords:** accessibility; heuristics; inspection method; usability.



## 1. Introducción

Debido al gran volumen de aplicaciones y recursos tecnológicos que se están generando en diferentes contextos de aplicación, temáticas como la usabilidad o la accesibilidad se han convertido en elementos fundamentales en el proceso de desarrollo de software, de cara a propiciar el desarrollo centrado en el usuario (Sanchez, 2011; Enriquez y Casas, 2013). La usabilidad radica en la interacción del usuario con el producto o sistema y solo se puede medir con precisión al evaluar el rendimiento, la satisfacción y la aceptabilidad del usuario (Bevana, Kirakowskib y Maissela, 1991). En este sentido tanto a nivel de la usabilidad como de la accesibilidad se han propuesto diferentes principios heurísticos, los cuales a su vez han sido especificados a varios contextos de aplicación tales como: aplicaciones de propósito general, aplicaciones móviles, aplicaciones web, videojuegos, e-learning, etc., (Suárez, 2010; Pérez, Chanchí y Vidal, 2019; Hurtado, Pimentel y Chanchí, 2018; Díaz y Valderrama, 2018; Pinelle, Wong y Stach, 2008).

La evaluación heurística es un método de ingeniería de usabilidad, en el que un pequeño conjunto de evaluadores expertos examina una interfaz de usuario para detectar problemas de diseño al juzgar su cumplimiento respecto a un conjunto de principios reconocidos de usabilidad (Manzari y Trinidad-Christensen, 2006). Los principios heurísticos pueden ser usados en el proceso de desarrollo de software dentro de la fase de diseño o en la fase de evaluación. En la fase de diseño, estos principios pueden ser considerados al modelar un software con funcionalidad centrada en el usuario, en el cual se vean reducidos en el prototipo final las falencias a nivel de usabilidad y accesibilidad. Por su parte, en la fase de evaluación, los principios pueden ser usados para identificar elementos funcionales que pueden ser corregidos, con el fin de dotar al software evaluado de características de usabilidad y/o accesibilidad (Hurtado, Pimentel y Chanchí, 2018; Pérez, Chanchí y Vidal, 2019; Chanchí, Acosta y Campo, 2019).

A nivel de la fase de evaluación desde la perspectiva de usabilidad y accesibilidad, se destacan por su utilidad los métodos de inspección, en los cuales un conjunto de evaluadores expertos inspecciona un software específico teniendo en cuenta para ello un conjunto de principios heurísticos y sus criterios asociados de un determinado contexto (Enriquez y Casas, 2013; Chanchí, Acosta y Campo, 2019; Chanchí, Campo y Sierra, 2019). Actualmente, la mayoría de estas evaluaciones son realizadas por el coordinador de la prueba, mediante el uso de hojas de cálculo, de tal modo que a partir de los datos capturados por separado en ellas se realiza la integración y se genera de forma no automatizada el análisis estadístico y gráfico del porcentaje de cumplimiento de los criterios asociados a las heurísticas evaluadas (Chanchí, Pérez y Campo, 2019). Así, se hace necesario contar con herramientas que permitan la conducción de inspecciones de usabilidad o accesibilidad en diferentes contextos de aplicación, o contar con sistemas en los cuales sea posible la personalización de las heurísticas o criterios a considerar.

En este artículo se presenta como aporte un sistema software para la automatización de inspecciones basadas en principios heurísticos, el cual ha sido denominado SIUSA (Software Automatizado para Inspecciones de Usabilidad y Accesibilidad). El sistema permite la personalización de las heurísticas y de sus criterios asociados en un archivo de texto plano, a partir del cual se configuran de manera dinámica las diferentes pestañas del sistema software propuesto. El sistema SIUSA fue desarrollado en el lenguaje de



programación Java y permite: la evaluación de los criterios correspondientes a las heurísticas, el cálculo del promedio de las diferentes heurísticas y el análisis gráfico de las diferentes heurísticas mediante diagramas radiales, de barras y de torta. Este sistema pretende apoyar la ejecución de inspecciones heurísticas en diferentes contextos de aplicación y en diferentes fases del proceso de desarrollo de software.

El resto del artículo está organizado así: en la sección 2 se presentan las diferentes fases metodológicas consideradas para el desarrollo de este trabajo; en la sección 3 se presenta el diseño y la implementación del sistema software propuesto; en la sección 4 se presenta un estudio de caso en el cual se verifica la pertinencia y utilidad del sistema propuesto; finalmente en la sección 5 se muestran las conclusiones y los trabajos futuros derivados de la presente investigación.

## 2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se consideraron las tres fases metodológicas presentadas en la Figura 1 y adaptadas a partir de (Chanchí, Pérez y Campo, 2019).

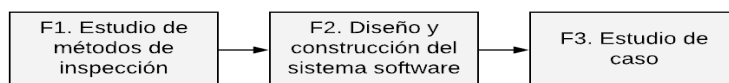


Figura 1 – Metodología propuesta.

**Fase 1 - Estudio de métodos de inspección:** En esta fase se realizó la caracterización de las pruebas de usabilidad y accesibilidad basadas en el método de inspección. Así, se determinó como en las inspecciones de usabilidad y accesibilidad cada heurística tiene asociado un conjunto de criterios de evaluación, los cuales pueden ser expresados en forma de pregunta y calificados por un conjunto de expertos en una escala cuantitativa.

**Fase 2 - Diseño y construcción del sistema SIUSA:** A partir de la caracterización de los métodos de inspección, se diseñó y construyó en Java un sistema software automatizado, el cual permite la personalización por parte del coordinador de la prueba de las heurísticas de usabilidad o accesibilidad y de sus criterios asociados en un archivo de texto plano, mediante el cual se configuran de manera dinámica las pestañas del sistema software propuesto.

**Fase 3 - Estudio de caso:** Como medio de verificación de la pertinencia y utilidad del sistema SIUSA, en este artículo se realizó un estudio de caso en un contexto de aplicación particular. En este sentido se hizo uso del sistema SIUSA para la configuración de una evaluación heurística de usabilidad sobre la herramienta de programación LPP, teniendo en cuenta los atributos de usabilidad de Nielsen. A partir de los resultados del estudio de caso realizado, el sistema software obtuvo un conjunto de elementos a mejorar para hacer más usable la aplicación evaluada.

### 3. Sistema SIUSA

En esta sección se describe el diseño y la construcción del sistema software para la automatización de inspecciones de usabilidad o accesibilidad basadas en principios heurísticos (SIUSA). A nivel del diseño se presenta el diagrama con los bloques funcionales del sistema software y un diagrama de flujo que ilustra el proceso realizado por el sistema propuesto. En lo referente a la implementación, se describe el diagrama de clases del sistema propuesto y la interfaz final del mismo.

#### 3.1. Diseño del Sistema SIUSA

Para garantizar la evolución del sistema, su arquitectura se estructuró en cuatro módulos altamente cohesivos (Ver Figura 2): módulo GUI, módulo heurísticas, módulo gráficas y módulo de reporte.

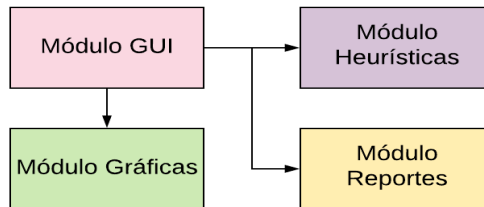


Figura 2 – Diagrama de bloques.

El módulo GUI es el encargado del control y la gestión de la interfaz gráfica del sistema propuesto, para lo cual se hizo uso de las clases pertenecientes al paquete swing del lenguaje Java. La interfaz del sistema permite la calificación por parte de los evaluadores de los diferentes criterios de usabilidad o accesibilidad asociados a las heurísticas configuradas en un archivo de texto plano. Así mismo, el módulo GUI posibilita visualizar los resultados de la evaluación y las gráficas asociadas a dichos resultados. El módulo de heurísticas es el encargado de procesar el archivo de texto plano previamente configurado con los principios heurísticos y criterios a considerar en una determinada evaluación, los cuales son cargados en la interfaz gráfica del sistema. Así mismo este módulo tiene por función la generación de los cálculos estadísticos asociados (promedio por heurística y promedio general) a las valoraciones asignadas a cada uno de los criterios pertenecientes a las heurísticas. El módulo gráficas permite la generación de diferentes tipos de gráficas (radial, de barras y de torta) a partir de los resultados de las valoraciones obtenidas en la evaluación. Estas gráficas ayudan a comparar las valoraciones realizadas a un software específico tanto en las heurísticas, como en los criterios asociados a dichas heurísticas. Finalmente, el módulo de reportes es el responsable por la generación de un archivo .csv (compatible con Excel) con los resultados de la evaluación.

En concordancia con lo anterior, en la Figura 3 se presenta un diagrama de flujo que describe la vista de procesos del sistema en cuanto a: la obtención de las heurísticas, la

valoración de los criterios asociados a dichas heurísticas, el análisis matemático y gráfico de los resultados obtenidos en la evaluación y finalmente la generación de los reportes de la evaluación.

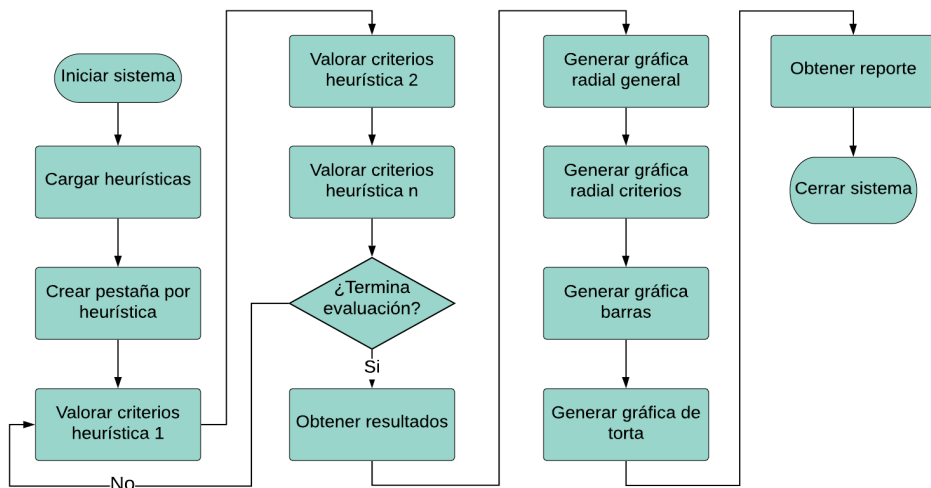


Figura 3 – Diagrama de flujo del sistema SIUSA.

En primer lugar, una vez iniciado el sistema software para la automatización de inspecciones de usabilidad y accesibilidad, se procede con el procesamiento y obtención de las heurísticas configuradas previamente por el coordinador de la prueba desde un archivo de texto plano. En este archivo se configura siguiendo un formato predefinido el nombre de las heurísticas y los criterios asociados a éstas. Una vez obtenidas las heurísticas y sus criterios desde el archivo, el sistema de encarga de generar en la interfaz gráfica una pestaña por heurística, cada una de las cuales contiene una tabla con los criterios correspondientes. Así mismo el sistema cuenta con una pestaña para los resultados de la evaluación y una pestaña por cada uno de los tipos de gráficas generadas (radial, de barras y de torta). Posteriormente, el evaluador al mismo tiempo que inspecciona un software determinado, procede a calificar los diferentes criterios de usabilidad y/o accesibilidad asociado a las pestañas de las heurísticas, pudiendo otorgarles un valor en la escala de 0 a 5, dependiendo de su grado de cumplimiento de cada criterio y heurística en el software evaluado. Cuando el usuario termina de asignar la valoración a cada uno de los criterios, el sistema propuesto se encarga de obtener el promedio de evaluación por criterio y por heurística. Del mismo modo, el sistema propuesto genera los diferentes tipos de gráficas (radial, de barras, de torta) los cuales permiten visualizar de manera gráfica el porcentaje de cumplimiento de las heurísticas. Finalmente, el sistema puede generar un reporte de las valoraciones promedio obtenidas en cada una de las heurísticas al evaluar un software determinado.

### 3.2. Implementación del Sistema SIUSA

A partir de la funcionalidad descrita en la sección anterior, en la presente sección se describe la implementación del sistema SIUSA. Así, en la Figura 4 se muestra el diagrama de clases del sistema propuesto, en el cual se destacan las siguientes clases: GUI, ManejadorHeuristicas, Heurística, GraficaBarras, GraficaPorcentajes, GraficaRadial, GraficaRadialCriterios, GraficaTorta y Reporte.

La clase GUI es la encargada del control y la gestión de las diferentes vistas de la interfaz gráfica del sistema propuesto, para lo cual hace uso de las funcionalidades provistas por el paquete swing de Java. La clase ManejadorHeuristicas por su parte, es la encargada de procesar y cargar las heurísticas previamente preconfiguradas en un archivo de texto plano por parte del coordinador de la prueba, para lo cual hace uso de la clase BufferedReader de java. La clase Heurística es una representación de las diferentes heurísticas cargadas del archivo, por lo cual tiene como atributos el nombre de la heurística y un vector con sus criterios asociados, así como los métodos set y get de esos atributos. Las clases GraficaBarras, GraficaPorcentajes, GraficaRadial, GraficaRadialCriterios, GraficaTorta permiten la generación de diferentes tipos de gráficos con la información del grado de cumplimiento de las heurísticas en el software evaluado, para lo cual usan las clases de la librería JfreeChart. Finalmente, la clase Reporte es la encargada de generar el reporte con los resultados de la evaluación en un archivo .csv, usando para ello la clase PrintWriter de java.

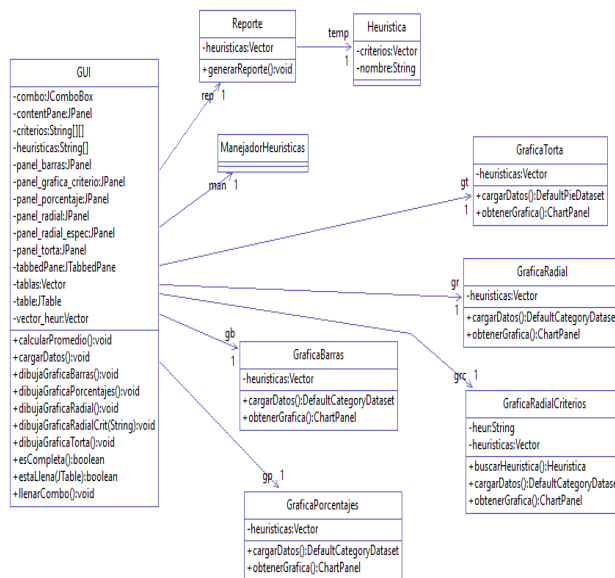


Figura 4 – Diagrama de clases del sistema SIUSA.

Considerando que el sistema SIUSA carga en la interfaz gráfica las heurísticas preconfiguradas en un archivo de texto plano, en la Figura 5 se muestra el formato

definido para la configuración de las heurísticas y criterios a considerar en una evaluación de un contexto específico (aplicación de propósito general, aplicación móvil, aplicación web, videojuego, recurso de e-learning, etc.). Tal como se muestra en la Figura 5, el archivo de configuración genérico está conformado por líneas de frases separadas por punto y coma (;). Así mismo, cada línea inicia con una palabra que permite identificar cada una de las líneas del archivo. De este modo, la primera línea está conformada por el nombre de las diferentes heurísticas a usar en la evaluación, mientras que de la segunda línea en adelante se incluye un identificador de la heurística (H1, H2,.....,Hn) y la serie de criterios asociados a dicha heurística. De acuerdo a la estructura de las inspecciones de usabilidad y/o accesibilidad, los criterios son expresados en términos de pregunta. A modo de ejemplo, el texto de la primera línea: “H1. Heurística 1; H2. Heurística 1; H3. Heurística 3”, indica que la evaluación está conformada por 3 heurísticas identificadas con H1, H2 y H3, cuyos nombres pueden ser personalizados. Del mismo modo, en la tercera línea el texto: “H2; Pregunta 1; Pregunta 2; Pregunta 3”, indica que la heurística 2 tiene asociados dos criterios o preguntas las cuales pueden ser personalizadas.

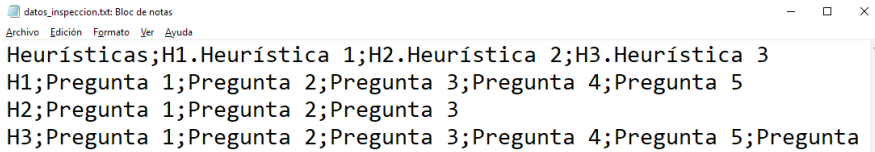


Figura 5 – Archivo de configuración del sistema SIUSA.

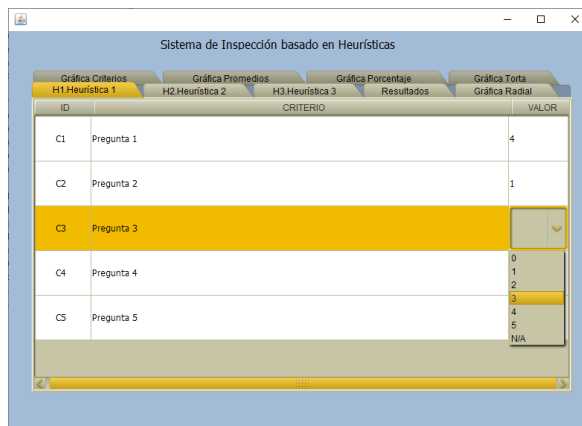


Figura 6 – Interfaz principal del sistema SIUSA.

A partir del archivo descrito en la Figura 5 el sistema SIUSA crea un conjunto de 3 pestañas asociadas a las heurísticas y criterios configurados, una pestaña para los resultados de la evaluación y el resto de pestañas para el análisis gráfico de la evaluación, como se muestra en la Figura 6. Como se aprecia en la figura 6, de acuerdo a la configuración del archivo de la Figura 5, las tres primeras pestañas incluyen las heurísticas configuradas. Así, en

la primera pestaña (heurística H1) se carga en una tabla (JTable) con tres columnas (Id, Criterio y Valor). La primera columna corresponde al identificador del criterio, la segunda a la pregunta con la que se verifica el cumplimiento de dicho criterio y la tercera columna mediante la cual se puede evaluar cada criterio en la escala de 0 a 5, o N/A en caso que el criterio no aplique al software evaluado.

Una vez calificados los criterios de las 3 heurísticas cargadas en la interfaz, en la pestaña “Resultados” se presenta el promedio calculado para cada heurística y el promedio general de todas las heurísticas tal como se muestra en la Figura 7. En el ejemplo de la Figura 7, el promedio de la heurística H1 es 2.6, mientras que el promedio general de las tres heurísticas es de 2,811. Se puede observar además en la Figura 7 que, una vez calificadas los diferentes criterios de las heurísticas cargadas, se habilita el botón Reporte, el cual permite generar un archivo .csv con los resultados de la evaluación.

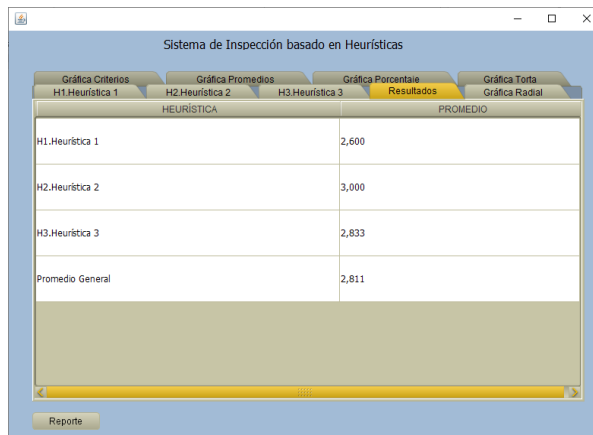


Figura 7 – Pestaña “Resultados”.

Por su parte, en la pestaña Gráfica Radial se muestra mediante una gráfica radial el nivel de cumplimiento general de cada una de las heurísticas cargadas a partir del archivo de configuración (ver Figura 8). De acuerdo a la Figura 8, la heurística que mejor se cumple es la H2 con un promedio de 3.0, mientras que la heurística que menos se cumple es la H1 con un promedio de 2.6.

Del mismo modo, en la Figura 9 se puede apreciar la pestaña “Gráfica Criterios”, en la cual es posible generar una gráfica radial con los criterios de una heurística determinada. Como se muestra en la Figura 9, la pestaña “Gráfica Criterios” permite escoger la heurística a la cual se le generará la gráfica radial con sus criterios asociados. De este modo, según la figura 9 el criterio que mejor se cumple es el C1 con un valor de 4.0 y el que menos se cumple es el C2 con un valor de 1.0.

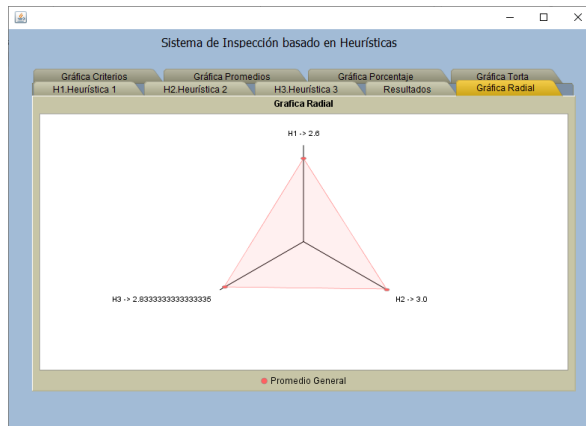


Figura 8 – Pestaña “Gráfica Radial”.

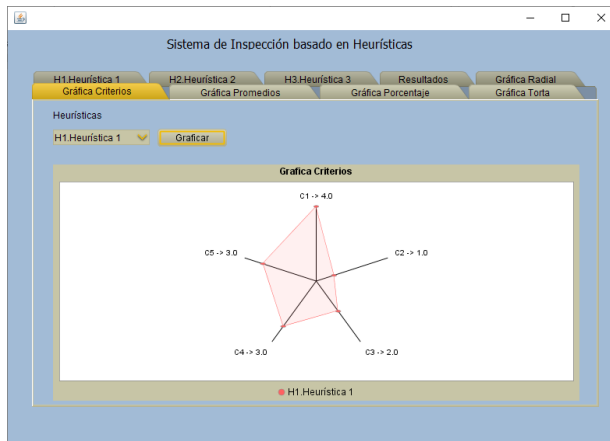


Figura 9 – Pestaña “Gráfica Radial”.

De otra parte, en las pestañas “Gráfica Promedios” y “Gráfica Porcentaje”, se presentan dos diagramas de barras con la información de la valoración promedio de cada heurística y su porcentaje de cumplimiento (ver figura 10).

A partir de la Figura 10 es posible corroborar como la heurística H2 es la que mejor se cumple, mientras que la heurística H1 es la que menos se cumple. Finalmente, en la figura 11 se muestra la pestaña “Gráfica Torta”, la cual representa el aporte porcentual de cada heurística en el software evaluado. De este modo, la heurística H1 tiene un aporte porcentual del 31%, la heurística H2 tiene un aporte porcentual del 36% y la heurística H3 tiene un aporte porcentual del 34%.

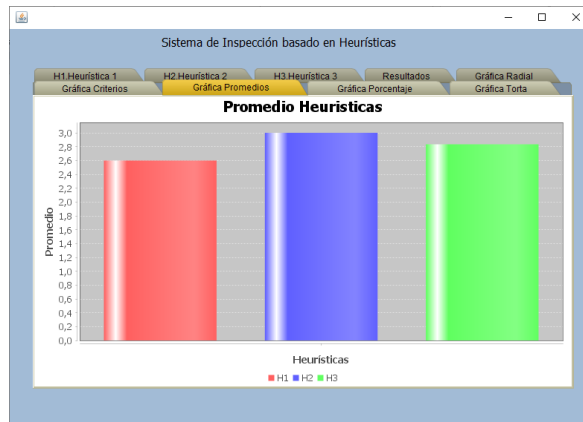


Figura 10 – Pestaña “Gráfica Promedios”.

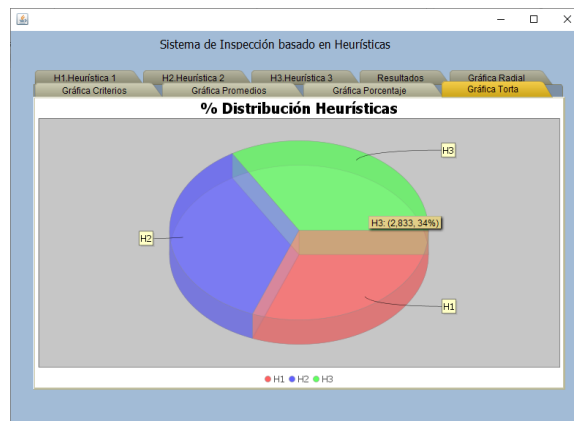


Figura 11 – Pestaña “Gráfica Torta”.

#### 4. Estudio de caso

Con el fin de verificar la utilidad del sistema SIUSA, se definió un conjunto reducido de 4 criterios de usabilidad asociados a los 5 atributos de calidad de Nielsen (H1. facilidad de aprendizaje, H2. eficiencia, H3. facilidad de recordación, H4. manejo de errores, H5. satisfacción). Estos atributos y criterios fueron definidos en el archivo de configuración del sistema y usados para evaluar la herramienta de programación de pseudocódigo LPP. En la tabla 1 se presentan los criterios considerados para cada uno de los atributos de calidad.



Atributo	Criterio
H1.	C1. ¿En qué grado la navegación por los diferentes elementos del sistema es sencilla? C2. ¿En qué medida la información es presentada de forma sencilla y en orden lógico? C3. ¿En qué medida se mantiene la consistencia en los diferentes elementos de la interfaz?.C4. ¿En qué medida los pasos para realizar las diferentes tareas en el sistema software siguen el modelo mental del usuario?
H2.	C1. ¿Una vez aprendido el diseño de la interfaz del sistema, que tan rápido se pueden realizar las diferentes tareas? C2. ¿En qué grado las diferentes tareas requieren un menor número de clics o teclas presionadas? C3. ¿En qué medida el sistema software permite personalizar las diferentes opciones del menú, con el fin de hacer ágil la interacción? C4. ¿En qué grado las opciones de uso frecuente son fácilmente visibles para el usuario?
H3.	C1. ¿En qué grado los elementos utilizados son similares en todo el sistema? C2. ¿En qué medida las diferentes acciones hacen uso de iconos convencionales? C3. ¿En qué medida los atajos utilizados están de acuerdo con las convenciones establecidas? C4. ¿En qué grado el usuario recibe una retroalimentación a cada una de las acciones que realiza?
H4.	C1. ¿En caso de un fallo en el sistema, es posible recuperar la información? C2. ¿En qué medida el sistema usa un lenguaje libre de tecnicismos para presentar los mensajes de error? C3. ¿En qué grado el sistema software previene los posibles errores que el usuario puede cometer en la interacción? C4. ¿En qué grado el sistema software pide confirmación al usuario antes de realizar una acción crítica?
H5.	C1. ¿En qué medida la interfaz de usuario es agradable? C2. ¿En qué grado la interfaz del sistema software no está sobrecargada de elementos innecesarios? C3. ¿En qué grado los diferentes colores empleados en la interfaz permiten descansar la vista? C4. ¿En qué grado los elementos están distribuidos de manera adecuada y consistente en la interfaz?

Tabla 1 – Criterios definidos.

Una vez cargados los cuatro atributos considerados y sus criterios asociados en el archivo de configuración se realizó la inspección de usabilidad sobre la herramienta de aprendizaje de programación LPP, obteniendo los resultados de la Figura 12.



Figura 12 – Resultados de la inspección al software LPP.

En la Figura 12 se aprecia que las heurísticas que mejor se cumplen son Facilidad de Aprendizaje y Satisfacción, lo anterior considerando que la herramienta es fácil de manejar y resulta intuitiva la primera vez que se accede a ella, aunque podrían incluirse los íconos de compilar, ejecutar y detener en la barra principal. Del mismo modo su interfaz descansa la vista y no está sobrecargada, aunque podría hacer uso de íconos y vistas más modernas. Por su parte la heurística que menos se cumple es la de Manejo de Errores, lo anterior teniendo en cuenta que si una vez ejecutado un programa se cierra la consola de ejecución el entorno también se cierra, por lo que si no se han guardado los cambios o no se ha guardado el programa se pierde la información. Del mismo modo al presentarse algún error de compilación, el entorno no es claro sobre la posible causa del mismo, problema que es manejado de mejor forma en otras plataformas de programación (Eclipse y Netbeans).

Lo anteriormente mencionado, puede apreciarse de mejor forma en el diagrama radial presentado en la Figura 13, en el cual se muestra el nivel de cumplimiento de las heurísticas en el software de aprendizaje de programación LPP. En este sentido a partir de la ejecución del presente caso de estudio, se puede evidenciar que el sistema propuesto permite realizar un análisis gráfico y estadístico que permite obtener información de valor agregado con respecto a las inspecciones de usabilidad y accesibilidad convencionales.

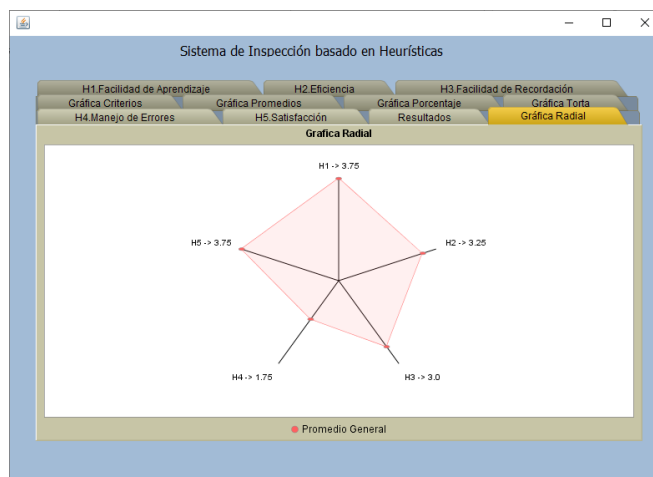


Figura 13 – Gráfica radial del software LPP.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo propuso como contribución la construcción de un sistema software para la automatización de inspecciones basadas en principios heurísticos (SIUSA). En este sentido este sistema puede ser usado para la configuración y ejecución de inspecciones en diferentes campos de aplicación (aplicaciones de propósito general, aplicaciones web, aplicaciones móviles, e-learning, etc.), permitiendo apoyar al coordinador de la prueba en cuanto a la obtención automática de los análisis estadísticos y gráficos.

Las inspecciones de usabilidad o accesibilidad basadas en principios heurísticos, corresponden a métodos sencillos de aplicar y que arrojan como resultado un conjunto de aspectos a mejorar en el software evaluado para propiciar el desarrollo centrado en el usuario final. A pesar de lo anterior, conducir estos estudios implica la realización de procesos separados por parte del coordinador de la prueba, los cuales pretenden ser automatizados a través del sistema SIUSA.

Uno de los principales aportes del sistema SIUSA propuesto, es la generación de gráficas radiales que permiten determinar el nivel de cumplimiento de las heurísticas de usabilidad o accesibilidad y los criterios asociados a cada heurística en el software evaluado. Así, las gráficas generadas por el sistema pretenden ser de apoyo al coordinador de la evaluación, en cuanto a la obtención de elementos funcionales que pueden ser mejorados en el software inspeccionado. A pesar de lo anterior una de las dificultades que se encontró en este trabajo fue la personalización de las gráficas de tipo radial, dado que estas no son gráficas muy comunes dentro de la librería JFreechart, por lo que conviene explorar también otras opciones a nivel de librerías gráficas.

El estudio de caso realizado permite comprobar la facilidad con la que el sistema SIUSA puede articularse en diferentes contextos de aplicación una vez configuradas las heurísticas y criterios asociados a dicho contexto. Así mismo, este estudio permitió comprobar que la heurística que menos se cumple es la de Manejo de Errores, la cual incluye la prevención y la respuesta a los errores por parte de la herramienta evaluada. Así, es necesario corregir dentro de la herramienta evaluada en el caso de estudio (LPP), el cierre inesperado del entorno al cerrar la consola y la información proporcionada por el entorno al detectar un error de compilación.

Como trabajo futuro derivado de la presente investigación, se propone la inclusión de conclusiones automáticas a partir de la clasificación mediante escalas de los resultados. Del mismo modo, se pretende aplicar técnicas de minería de datos con el fin de complementar el análisis de los resultados de las evaluaciones realizadas.

## Referencias

- Bevana, N., Kirakowskib, J., & Maissela, J. (1991, September). What is usability. In Proceedings of the 4th International Conference on HCI.
- Chanchí, G., Acosta, P., & Campo, W. (2019). Construcción de recursos educativos para la temática de accesibilidad en el curso de interacción humano computador. *RISTI(E23)*, 171-183.
- Chanchí, G., Campo, W., & Sierra, L. (2019). Estudio del atributo satisfacción en pruebas de usabilidad, mediante técnicas de análisis de sentimientos. *RISTI(E23)*, 340-352.
- Chanchí, G., Pérez, D., & Campo, W. (2019). Automation of Usability Inspections for Websites. *HCI-COLLAB 2019* (págs. 124-137). Puebla-México: Springer.
- Díaz, E., & Valderrama, C. (2018). Evaluación de la usabilidad de los EVA (entornos virtuales de aprendizaje) a partir de la experiencia de usuarios aplicando lógica difusa. *Revista Vínculos*, 15(2), 150-159.

- Enriquez, J., & Casas, S. (2013). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informe Científico UNPA*, 5(2), 25-47.
- Hurtado, S., Pimentel, J., & Chanchí, G. (2018). Estudio comparativo de métodos de evaluación de usabilidad para sitios web. *Ingenio 2018* (págs. 129-136). Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación.
- Manzari, L., & Trinidad-Christensen, J. (2006). User-centered design of a web site for library and information science students: Heuristic evaluation and usability testing. *Information technology and libraries*, 25(3), 163-169.
- Pérez, D., Chanchí, G., & Vidal, M. (2019). Propuesta de un test heurístico de accesibilidad para sitios web basados en la norma NTC 5854. *RISTI*(E17), 168-182.
- Pinelle, D., Wong, N., & Stach, T. (2008). Heuristic Evaluation for Games: Usability Principles for Video Game Design . *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 2008* (págs. 1453-1462). Florencia - Italia: ACM.
- Sanchez, W. (2011). La Usabilidad en Ingeniería de Software: definición y características. *Revista Ing-novación*(2), 7-21.
- Suárez, M. (2010). *SIRIUS: Sistema de Evaluación de la Usabilidad Web Orientado al Usuario y basado en la Determinación de Tareas Críticas*. Oviedo-España: Universidad de Oviedo. Obtenido de <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/12866>

# Smart tourism and the application of ICT: The contribution of digital tools

Ximena Morales-Urrutia<sup>1</sup>, Diana Morales-Urrutia<sup>2</sup>, Luis Simabaña-Taípe<sup>3</sup>,  
Christian Andrés Barragán Ramírez<sup>4</sup>

**ximenamoraless@uti.edu.ec, dc.moralesu@uta.edu.ec, lesimbania@espe.edu.ec,  
cbarragan@pucesa.edu.ec**

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Empresa, Sociedad y Tecnología, Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, Universidad Tecnológica Indoamérica, 180103, Ambato, Ecuador.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Administrativas, Universidad Técnica de Ambato, 180206, Ambato, Ecuador.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.

<sup>4</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, 180206, Ambato, Ecuador.

**Pages: 64–76**

**Abstract:** The objective of the research was to analyze the main conceptual contributions of intelligent tourism, offering an approximation to this phenomenon from the theoretical and empirical point of view. A review of the literature related to the conceptualization of smart cities and smart tourism was carried out. The use of Information and Communication Technologies in enterprises related to hospitality and food service activities under the ISIC4 classification was also analyzed based on official data from the Ecuadorian Institute of Statistics and Census (INEC) of the surveys corresponding to the 2012-2015 period. Based on this analysis, provisional conclusions were drawn about the role of information and communication technologies in activities related to the tourism sector and their possible contribution to the diversification of competitiveness in Ecuador.

**Keywords:** smart tourism; smart cities; digital tools.

## 1. Introduction

The current globalized world has been subject to constant and intense changes at the social, political and economic level (Porter and Heppelmann, 2014). In this sense, Dedehayir, Ortt and Seppanen (2014) state that the changes experienced in different aspects of society so far have been the result of more complex and challenging processes. In this context, for the business sector to be competitive, it requires the introduction of a series of models, technologies, techniques and instruments that generate a change in traditional paradigms.

In this respect, the application of Information and Communication Technologies (ICT) has served as an important tool to improve processes (Buhalis, 2015) and at the same time focuses on facing different social and global challenges that have triggered important

concepts such as *Smart Planet* (IBM, 2014), *Smart City* (Hollands, 2008) and, most recently, *Smart Tourism* (Buhalis and Amaranggana, 2014). Regarding the latter, they are intelligent concepts that have taken up the sociotechnical paradigm (Orlikowski, 1992), in which both technology and people are perceived as similar actors (Meijer and Bolívar, 2015) that co-create value in function of economic, social and environmental prosperity of the sectors involved (Boes, Buahalis and Inversini, 2016).

The relevance that smart technologies have acquired has meant that both current governments and the public and private agencies of cities and tourist destinations, begin a process of introducing the concept of smart technologies as a strategy or policy, in order to contribute to sustainable development and the economic growth of society (Nam and Pardo, 2011, Cocchia, 2014, Meijer and Bolívar, 2015). Vicini et al., (2012); Buhalis and Amaranggana (2014) agree that a city is considered smart when it incorporates the massive use of technology with the purpose of improving day-to-day activities, the management of information, the offer of services in real time, creates a connection between all local institutions and improves the efficiency in the services. According to Gretzel al. (2015) the term smart is used to describe technological, economic and social progress and development through the use of ICT, in a way that allows for cities to be identified at the international level as cities that apply a new approach that will enable them to provide solutions to the different needs of the urban areas.

ICTs are becoming increasingly necessary for the takeoff and development of smart tourism (Kuflik et al., 2015), in order that the new technologies are fully integrated so that they generate an influence on the visitor or tourist, in relation to tourism experiences, the competitiveness of the destination and tourism development projects (Buhalis and Amaranggana 2014; Presenza et al., 2014; Boes 2015). In order to make tourism smart, the use of an appropriate technological platform that integrates in an orderly and efficient way information from local natural and heritage resources, tourists, their actions and their consumption habits is required, thus making it possible for ICT to engage stakeholders into acting proactively and directly in the dynamic use of these technologies (Buhalis and Amaranggana 2014), through a smart approach in which tourists can participate with tourism service providers and collaborate in the joint creation of the tourism experience (Schaffers et al., 2011; Buhalis and Amaranggana 2014).

This study deals with the analysis of the conceptualizations of intelligent tourism, offering an approximation to this phenomenon from the theoretical and empirical point of view. The Ecuadorian territory is taken as an analytical framework, which has been selected due to statistical availability and novelty, and the analysis is made from a temporal perspective that includes the period 2012-2015.

This work is structured in four sections, in addition to the introduction and conclusions. In the second section a review of the literature is carried out. The third section deals with various methodological aspects (definition of variables) and the fourth section presents the results of the work, addressing the trends observed in the phenomenon studied.

### **1.1. Smart cities: main definitions**

The concept of smart cities, also known as digital cities, virtual cities, cities of information and cybernetic cities, has been approached since the 1960s, 1970s and 1980s (Angelidou,

2014). Likewise, Lazaroiu and Roscia (2012) stated that cities that are considered smart are those that use technology, are interconnected, sustainable, comfortable, attractive and reliable.

In this context, in 2015, the Program for Research and Development of Information Technologies and Networks (NITRD, 2015) launched the version of a Framework for Smart and Connected Communities. The main objective of this framework is for communities to have access to advanced technologies and services of cyber systems or Internet of Things (IoT), with the ultimate aim of improving the sustainability and overall quality of life of the population of different cities and communities (Sun et al., 2016).

Regarding IoT, authors such as Atzori et al. (2010) and Mingjun et al. (2012) show that in recent decades there has been a significant growth in the world of Information and Communication Technologies. The term IoT emerged in 1999 coined by Kevin Ashton, who defined it as a network that connects anything, anywhere, anytime in order to identify, locate, manage and monitor smart objects. The main use of IoT focuses on generating automatic real-time interactions between real-world objects that connect to the Internet, which implies a narrowing of the gap between the real world and the digital world (Erb, 2011). ICTs have also generated various applications and communication devices that have made an important contribution to the development of IoT (Borrego-Jaraba et al. 2011). The latter is of great help to both smart cities and smart tourism, since it creates platforms that allow different types of data to be transmitted through a participatory detection system (Gutiérrez et al., 2013).

Faced with this reality, Piro et al. (2014) state that the fundamental purpose of smart cities is to improve the quality of life of the population by offering them a variety of state-of-the-art, innovative and competitive services supported by ICTs (Caragliu et al., 2011; Buhalis and Amaranggana, 2014). In order to meet these goals, smart cities must have a continuous process based on the importance of people (Cohen, 2015), involving six dimensions (Figure 1) and incorporating technology and institutional logics in the form of dynamic leadership (Spencer, Buhalis and Moital, 2012; Vargo and Lusch, 2011).

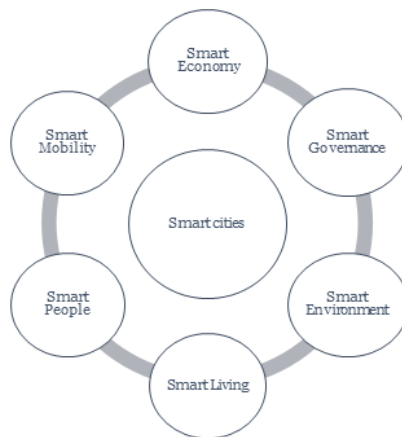


Figure 1 – Six dimensions of smart cities. Source: Cohen (2011:361).



## 1.2. Smart tourism: a theoretical and conceptual approach

The World Tourism Organization (WTO, 2017) defined Smart Tourism (ST) as the provision of clean, ecological, ethical and high-quality services at all levels. Similarly, Gretzel, Zhong and Koo (2016) consider that this type of tourism includes all types of experiences that allow tourists to generate closer communication and interaction with citizens, tourism organizations, local government and environment/tourist attractions in the areas visited.

On the other hand, Boes (2015), Presenza et al. (2014), Buhalis and Amaranggana (2014) consider that ST, with ICTs heavily involved, can promote the competitiveness of tourist destinations and generating new development and growth projects in the areas visited. Integrating the concept of smart into tourism requires the use of a technology platform that is made up of three fundamental components: cloud computing services, IoT and end-user devices (Wang et al., 2016; Guo, Liu and Chai 2014; Wang et al., 2013; Zhang et al., 2012). Along the same lines, Gretzel et al. (2015) agree that this type of tourism is considered as a phenomenon based purely on technology, because it relies on obtaining data and connectivity, sensors, near-field communication, intelligent telephones, mobile connectivity, radio frequency identification, sophisticated data warehouses and mining, technological infrastructure, among others. However, some studies suggest that smart tourism is only the use of the internet, social networks and smartphones (Brandt, Bendler and Neumann, 2017; Wang et al., 2016; Park et al., 2016; Chung, Tyan, and Han, 2016; Kladou and Mavragani, 2015; Tussyadiah and Zach, 2012; Noone, McGuire, and Rohlfs, 2011).

In this context, technology systems are very useful for ST, as they support tourism service companies through marketing, and provide a mechanism for converting things into products or services with an exchange value (Hunter, 2013). With respect to the latter, plane tickets, accommodation, car rental, tourist packages, among others, which are usually purchased through online purchases, are good examples (Kim et al., 2013).

## 1.3. Co-creation of Smart Tourism experiences

Authors such as Maglio and Spohrer (2012, p.666) argue that in order for there to be co-creation of value, the different actors that participate with the dynamic ecosystem must interact through operational resources (Prebensen et al., 2013; Wieland et al., 2012; Vargo and Lusch, 2011; Salvado et al., 2011). Today, tourists seek to establish a direct process with tourism companies in order to generate their own experiences based on existing resources at the destination; therefore, what visitors want is to meet their specific needs by interacting directly with the destination's supply system in order to create personalized experiences. Tourists also consider it important to share their experiences with other tourists, family members, friends and other users through the use of different social networks, the Internet and other digital tools (Brejla and Gilbert 2014; Neuhofer et al., 2012).

In this sense, Buonincontri and Micera (2016); Neuhofer et al. (2012) state that the tourist experience process consists of three phases. A first phase is the pre-trip phase, in which the tourist is still at home, searches for information from different sources and chooses and buys the tourist package offered; a second phase known as in situ phase, in



which the tourist visits the selected destination; and finally a post-trip phase, when the tourist shares their experiences (Figure 2).

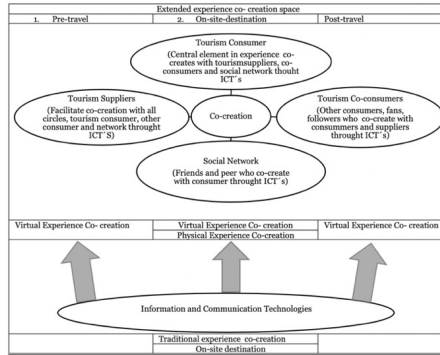


Figure 2 –Technology enhanced destination experiences. Source:Neuhofer et al. (2012, 293).

The joint co-creation of experiences reveals the important participation of ICT, in particular mobile technology (applications in smart phones and tablets), to improve competitiveness in the communication process between tourists and tourism organizations, in real time and anywhere (Neuhofer et al. 2012).

## 2. Methodology

The databases analyzed in this study are those elaborated by the Ecuadorian Institute of Statistics and Census (INEC), the data from the Module of Information and Communication Technologies (ICT), on the basis of the Surveys of Manufacturing and Mining, Internal Trade and Services, paying special attention to the sector of hospitality and food service related to the development of the tourism. In this way, it is possible to evaluate the use and impact of ICTs at the national level in this business sector, in the period 2012-2015.

In addition to the statistical sources analyzed in this research, the digital tool Geoport of Internal Tourist Visits (Geo- VIT) is examined in 2018. This tool has been created by the Market Intelligence Department of the Ministry of Tourism, for the use of data obtained from the movement of residents in the country with information from mobile phones. The purpose of this application is to quantify and study the patterns of internal tourist visits in Ecuador, using and analyzing Mobile Big Data. The data generated by the interaction between mobile phone users and base stations is recorded every 5 minutes in large data repositories. The amount of information is anonymized, aggregated and extrapolated in such a way that a representative sample is obtained at the cantonal level. The extrapolation of the sample includes the correction of bias based on the market share of the telephony operator, and the population estimates derived from the 2010 national census. The data is parameterized with the UNWTO tourist definitions for domestic tourism. By filtering the data, it is possible to reliably know the trends and behaviors of the crowds that make tourist visits at the cantonal level (MINTUR, 2017).

### 3. Results and discussion

In recent years, tourism in Ecuador has had an important boom, and there exists a vision to making it one of the main activities that generate foreign exchange income for the country. Several public policies have been proposed by the Ecuadorian government and support programs for this sector related to ICT and IoT, through the implementation and use of Internet networks, digital programs, applications in companies responsible for providing this type of service.

These actions have made it possible to introduce significant improvements by means of technological innovation, which has generated improvements in the processing and analysis of data that are open access, so that they are useful for economic, political and social decision-making.

Next, an analysis is made of the variables related to the study phenomenon. A first aspect to be addressed is the use of electronic devices that companies use to make direct contact with tourists in real time and quickly. The effective connection and the service received by the client depend to a large extent on these devices, however, the Ecuadorian companies in the analysis period show a reduced access to the use of said devices. This fact may be the result of tariff policies imposed by the current government towards the importation of this type of office equipment. In this context, companies that do not use technology are relegated to the immersion process of today's society in which technology is the main instrument of communication and interaction.

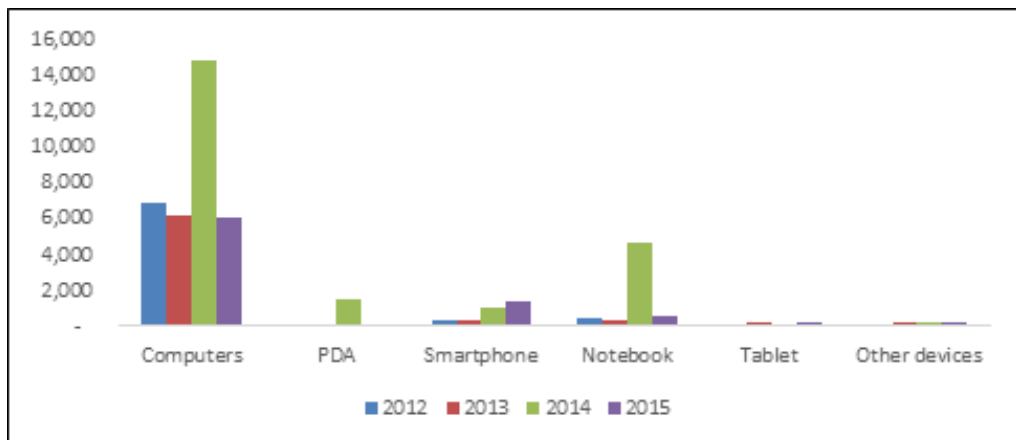


Figure 3 – Number of devices available to companies, by economic activity (ISIC4). 2012-2015.  
Source: ICT Module for industrial surveys 2012-2015.

Continuing with the analysis, the main purpose of the application of ICTs in companies in the tourism sector has been the adaptation of more operational business models in the quest to generate greater customer satisfaction; that is, for new participants in the tourism value chain, especially for “digital natives”, and therefore to obtain optimum operational performance (ILO, 2019). However, as shown in Table 1 and in coherence

with the results previously analyzed (figure 3), the companies in the Ecuadorian tourism sector are still in an incipient state, since over the years they have not been able to adapt to customer expectations and global trends. This means that technological breakthroughs must lead this sector to constantly innovate in order to remain competitive not only in a national but also in an international market.

Economic Activity	Year	Number of companies		
		Total Companies	Make transactions over the Internet	Use the Internet
<i>hospitality and food service activities</i>	2012	506	77	458
	2013	343	45	292
	2014	347	47	303
	2015	278	49	255

Table 1 – Number of companies that have access to the Internet and made commercial transactions through the Internet, according to economic activity (ISIC4). 2012-2015. Source: ICT Module for industrial surveys 2012-2015.

Smart tourism is the result of the right combination of the Internet and media. Figure 4 shows that the somewhat traditional digital media are those that predominate in this period of analysis, due to the fact that in this period of time social networks were not yet considered as a social phenomenon that allows both professionals and users to be connected in real time, exchange information and execute transactions. In this sense, the combination of digital platforms, user-generated content and comments, integration of social networks, global positioning services and the use of big data and artificial intelligence has transformed the way people experience, consume and share (OMT, 2019).

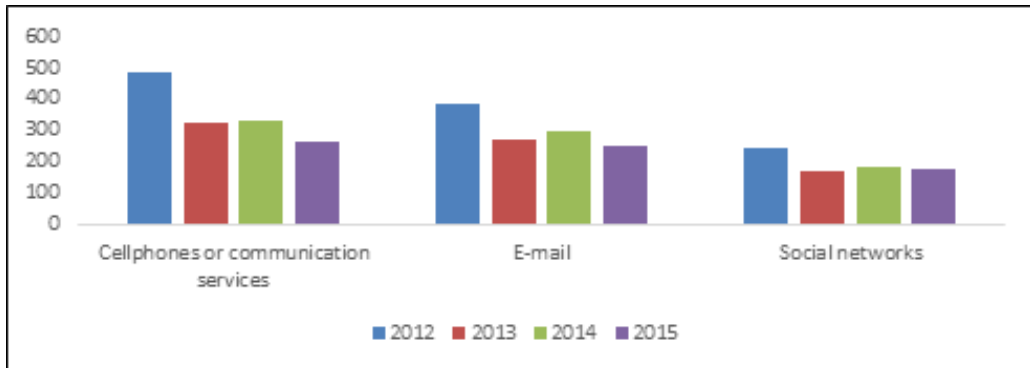


Figure 4 – Number of companies using media, by economic activity (ISIC4). 2012-2015. Source: ICT Module for industrial surveys 2012-2015.

Ecuador is a pioneer in the region in the use of Big Data, as it has created a data laboratory by incorporating statistical tools. Among these tools is the so-called Geoportal of Internal

Tourist Trips (GEO VIT), which has been developed with the purpose of providing tourist agents and the general public with information about where tourists travel to and what their consumption habits are. This helps in decision making when making investments and planning tourism activities.

Big Data today is useful to businesses because it provides benchmarks with a large amount of information, which can be molded and tested as the company sees fit. Big Data is mainly characterized by its unstructured data collection, generated by modern technologies that base their identification by radio frequency or by sensors incorporated in devices, laptops, smart phones and other mobile phones, GPS devices and call center records. The information can be analyzed to obtain ideas that lead to optimal decisions and strategic business movements within companies.

Aligned with technological trends, specifically in data analysis and cognitive technology, MINTUR innovated in the measurement of internal tourist mobility flows by using mobile phone data (Mobile Big Data), in order to have a general panorama of domestic tourism and strategically identify the main origins and destinations of the country. The system, called GEOVIT, allows to visualize movements based on: date, provinces (origin/destination), cantons (origin/destination), socioeconomic level and type of holiday, for each day of the year for more than 200 cantons in the country (figures 5 and 6). The data obtained from these tools will make it possible to propose comprehensive strategies for tourism in Ecuador.

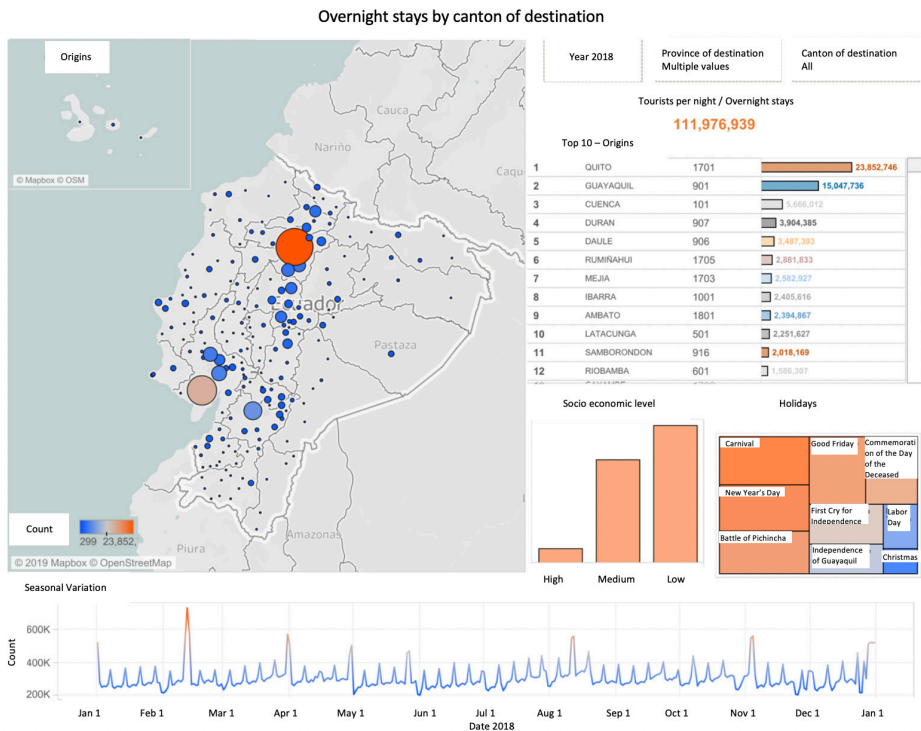


Figure 5 – Overnight stays by canton of destination, year 2018. Source: GEOVIT (2018).

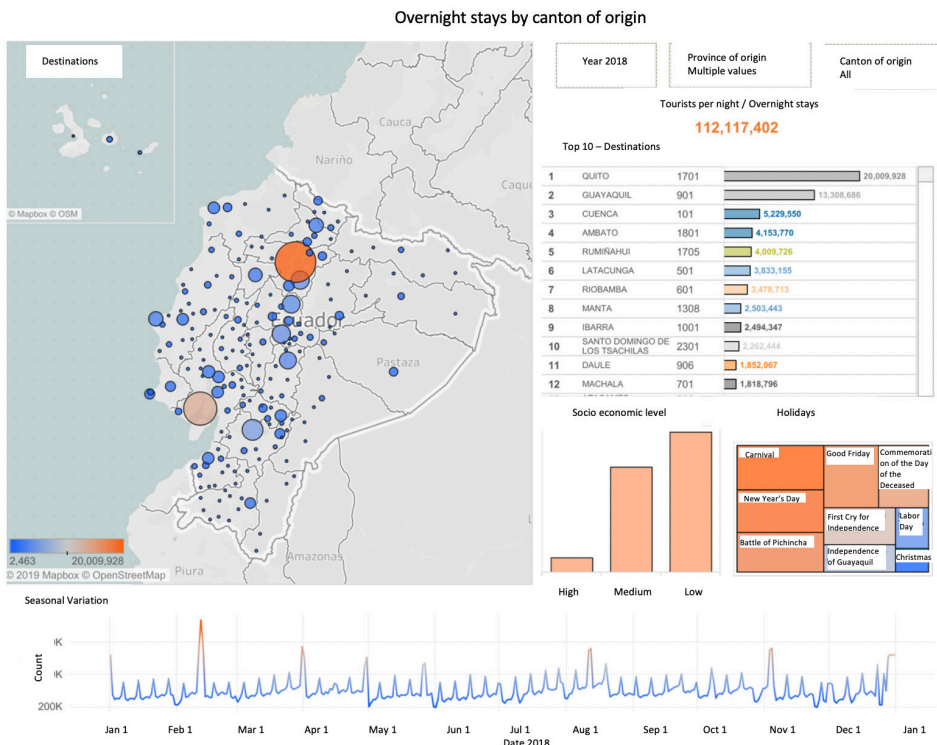


Figure 6 – Overnight stays by canton of origin, year 2018. Source: GEOVIT (2018).

#### 4. Conclusions

ICT and existing digital platforms can be considered as important tools for the development of the different economies. They can also overcome challenges related to management, productivity, competitiveness and efficiency and generate new opportunities for entrepreneurs by increasing their access to markets. However, in some economies, particularly developing ones, they have not yet been able to achieve the expected results as there is a lack of knowledge and practice in the use of this type of platform.

In recent years, the tourism sector has been considered one of the main axes of economies worldwide, so its development is largely due to the different technological changes that have been introduced in order to improve the management, logistics, distribution and marketing of various tourism products and services. Similarly, ICTs have promoted the creation of a series of digital tools that allow users, in this case tourists, to be the protagonists in the creation of the desired tourism experience.

As a potentially touristic country, Ecuador has been making use of different digital tools in order to improve business productivity through processed information that is available to the general public. However, it is in a relatively incipient state, since being

a developing economy, it still shows a certain technological backwardness applied in this sector of analysis. If there are no changes in the situation shown in this research, Ecuadorian tourism is far from achieving the development of an intelligent tourism that allows it to be competitive with the current demand of society.

## References

- Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, 3-11.
- Boes, K (2015) Smart tourism destinations: smartness as competitive advantage. In: ENTER2015 PhD workshop research proposals, 11–15.
- Boes, K., Buhalis, D., & Inversini, A. (2016). Smart tourism destinations: ecosystems for tourism destination competitiveness. *International Journal of Tourism Cities*, 2(2), 108-124.
- Borrego-Jaraba, F., Ruiz, I. L., & Gomez-Nieto, M. A. (2011). A NFC-based pervasive solution for city touristic surfing. *Personal and Ubiquitous Computing*, 15, 731–742.
- Brandt, T., Bendler, J., & Neumann, D. (2017). Social media analytics and value creation in urban smart tourism ecosystems. *Information & Management*, 54(6), 703-713.
- Brejla P, Gilbert D (2014) An exploratory use of web content analysis to understand cruise tourism services. *Int J Tour Res* 16(2):157–168.
- Buhalis, D. (2015). *Working Definitions of Smartness and Smart Tourism Destination*. Buhalis Blog. Retrieved from <http://buhalis.blogspot.co.uk/2014/12/working-definitions-of-smartnessand.html>
- Buhalis, D., & Amaranggana, A. (2014). Smart Tourism Destinations. In Z. Xiang & L. Tussyadiah (Eds.), *Information and Communication Technologies in Tourism*. Dublin: Springer.
- Buonincontri, P., & Micera, R. (2016). The experience co-creation in smart tourism destinations: a multiple case analysis of European destinations. *Information Technology & Tourism*, 16(3), 285-315.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82. doi:10.1080/10630732.2011.601117
- Chung, N., Tyan, I., & Han, H. (2016). Enhancing the smart tourism experience through geotag. *Information Systems Frontiers*, 19(4), 731-742.
- Cocchia, A. (2014). Smart and Digital City: A Systematic Literature Review. In R. P. Dameri & C. Rosenthal-Sabroux (Eds.), *Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*. Heidelberg: Springer International Publishing.
- Cohen, B. (2011). *Smart Cities Wheel*. Retrieved from <http://www.boydcohen.com/smartcities.html>

- Cohen, B. (2015). Dr. @BoydCohen at “Brussels Smart City Summit”: 3 generations of #SmartCities. Retrieved from <http://smartcities.i-ambiente.es/?q=blogs/dr-boydcohenbrussels-smart-city-summit-3-generations-smartcities>
- Dedehayir, O., Ortt, J. R., & Seppänen, M. (2014, June). Reconfiguring the innovation ecosystem: An explorative study of disruptive change. In *2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE)*. IEEE.
- Erb, Y. (2011). *Some aspects about the Internet of things, the advantages and challenges: Business aspects of the Internet of things*. Zurich: ETH Zurich.
- Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., & Koo, C. (2015). Smart tourism: foundations and developments. *Electronic Markets*, 25(3), 179-188.
- Gretzel, U., Zhong, L., & Koo, C. (2016). Application of smart tourism to cities. *International Journal of Tourism Cities*, 2(2).
- Guo, Y., Liu, H., & Chai, Y. (2014). The embedding convergence of smart cities and tourism Internet of Things in China: An advance perspective. *Advances in Hospitality and Tourism Research (AHTR)*, 2(1), 54-69.
- Gutiérrez, V., Galache, J. A., Sánchez, L., Muñoz, L., Hernández-Muñoz, J. M., Fernandes, J., et al. (2013). Smart Santander: Internet of things research and innovation through citizen participation. In A. Galis & A. Gavras (Eds.), *The future Internet*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3), 303-320. doi:10.1080/13604810802479126
- Hunter, W.C. (2013). China’s Chairman Mao: A visual analysis of Hunan Province online destination image, *Tourism Management*, 34(1), 101-111.
- IBM. (2014). *Smarter Cities*. Retrieved from [http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter\\_cities/overview/?lnk=fktsct?lnk=fkt-smci-uken](http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview/?lnk=fktsct?lnk=fkt-smci-uken)
- Kim, M.J., Lee, C.K., and Chung, N. (2013). Investigating the role of trust and gender in online tourism shopping in South Korea, *Journal of Hospitality and Tourism Research*, 37(3), 377-401.
- Kladou, S., & Mavragani, E. (2015). Assessing destination image: An online marketing approach and the case of TripAdvisor. *Journal of Destination Marketing & Management*, 4(3), 187-193.
- Kuflik T, Wecker AJ, Lanir J, Stock O (2015) An integrative framework for extending the boundaries of the museum visit experience: linking the pre, during and post visit phases. *Inf Technol Tour*, 15:17–47.
- Lazaroiu, G. C., & Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, 47(1), 326-332.
- Meijer, A., & Bolívar, M. P. R. (2015). Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*. doi:10.1177/0020852314564308



- Ministerio de Turismo del Ecuador (MINTUR 2017). Movimientos Internos: GEOVIT. Recuperado de <https://servicios.turismo.gob.ec/index.php/turismo-cifras/2018-09-19-17-01-51/movimientos-internos-geovit>
- Nam, T., & Pardo, T. a. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. Paper presented at the *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference on Digital Government Innovation in Challenging Times* - dg.o '11, New York.
- Networking and Information Technology Research and Development (NITRD) Program. (2015). *Smart and Connected Communities Framework*. [Online]. Available: <https://www.nitrd.gov/sccc/materials/scccframework.pdf>.
- Neuhofer B, Buhalis D, Ladkin A (2012) Conceptualising technology enhanced destination experiences. *J Destin Mark Manag* 1(1):36–46.
- Noone, B. M., McGuire, K. A., & Rohlfs, K. V. (2011). Social media meets hotel revenue management: Opportunities, issues and unanswered questions. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 10(4), 293-305.
- Orlikowski, W. J. (1992). The duality of technology: Rethinking the concept of technology in organizations. *Organization Science*, 3(3), 398-427.
- Park, J. H., Lee, C., Yoo, C., & Nam, Y. (2016). An analysis of the utilization of Facebook by local Korean governments for tourism development and the network of smart tourism ecosystem. *International Journal of Information Management*, 36(6), 1320-1327.
- Piro, G., Cianci, I., Grieco, L. A., Boggia, G., & Camarda, P. (2014). Information centric services in Smart Cities. *The Journal of Systems & Software*, 88, 169-188. doi:10.1016/j.jss.2013.10.029
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). *How Smart, Connected Products Are Transforming Competition*. Harvard Business Review, 92(11), 64-88.
- Prebensen NK, Vittersø J, Dahl TI (2013) Value co-creation significance of tourist resources. *Annal Tour Res* 42:240–261.
- Presenza A, Micera R, Splendiani S, Del Chiappa G (2014) Stakeholder e-involvement and participatory tourism planning: analysis of an Italian case study. *Int J Knowledge-Based Dev* 5(3):311–328.
- Salvado JOMG, Ferreira AMAP, Costa CMM (2011) Co-creation: the travel agencies' new frontier. *Tour Manag Stud* 1:229–244.
- Schaffers H, Komninos N, Pallot M, Trousse B, Nilsson M, Oliveira A (2011) Smart cities and the future internet: towards cooperation frameworks for open innovation. *Future Internet Assem*, 6656(31):431–446.
- Spencer, A. J., Buhalis, D., & Moital, M. (2012). A hierarchical model of technology adoption for small owner-managed travel firms: An organizational decision-making and leadership perspective. *Tourism Management*, 33, 1195-1208. doi:10.1016/j.tourman.2011.11.011



- Sun, Y., Song, H., Jara, A. J., & Bie, R. (2016). *Internet of things and big data analytics for smart and connected communities*. IEEE access, 4, 766-773.
- Tussyadiah, I. P., & Zach, F. J. (2012). The role of geo-based technology in place experiences. *Annals of Tourism Research*, 39(2), 780-800.
- UNWTO.(2017).Tourismresiliencemittedstressesneedfor“smarttourism”.Retrieved Feburary 4, 2017, from <http://sdg.iisd.org/news/unwto-tourism-resilience-committee-stresses-need-for-%E2%80%9Csmart-tourism%E2%80%9D/>
- UNWTO. (2019). WTD & Innovation > Tourism in the Digital Era. Retrieved June 29, 2019, from <http://wtd.unwto.org/content/wtd-2018-tourism-digital-era>
- Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2011). It's all B2B...and beyond: Toward a systems perspective of the market. *Industrial Marketing Management*, 40(2), 181-187. doi:10.1016/j.indmarman.2010.06.026
- Vicini, S., Bellini, S., & Sanna, A. (2012). *How to co-create Internet of things-enabled services for smarter cities*. Stuttgart: IARIA.
- Wang, D., Li, X., & Li, Y. (2013). China's "smart tourism destination" initiative: A taste of the service-dominant logic. *Journal of Destination Marketing and Management*, 2(2), 59-61.
- Wang, X., Li, X., Zhen, F., & Zhang, J. (2016). How smart is your tourist attraction? Measuring tourist preferences of smart tourism attractions via a FCEM-AHP and IPA approach. *Tourism Management*, 54, 309-320.
- Wieland, H., Polese, F., Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2012). Toward a Service (Eco) Systems Perspective on Value Creation. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 3(3), 12-25. doi:10.4018/jssmet.2012070102
- Zhang, J., Hu, Y., Xie, W., & Wang, X. (2012). Discussion on the development of organic products in China under the new situation. *Journal of Management of Agriculture Science and Technology*, 31(6), 1-3.

# Implementación de un sistema electrónico de seguridad portable para tarjetas bancarias *contactless*

Iván Ortiz-Garcés<sup>1</sup>, Diego Pérez<sup>1</sup>, Andrés Pozo<sup>1</sup>

ivan.ortiz@udla.edu.ec, diego.perez.real@udla.edu.ec, andres.pozo@udla.edu.ec

<sup>1</sup> Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.

Pages: 77–87

**Resumen:** Nuevas tecnologías como RFID y NFC permite a los usuarios realizar cualquier tipo de transacción de manera más rápida y ágil, sin necesidad de contacto físico con la tarjeta o firmas, RFID y NFC utilizan señales de onda corta de manera pasiva, mismas que pueden ser obtenidas de manera remota con diferentes técnicas. El presente artículo expone que hay diferentes formas de acceso a los datos a través equipos fáciles de conseguir en el mercado y que con apenas un poco de conocimiento permiten acceder a datos que deberían ser encriptados. El prototipo desarrollado permite asegurar la información mediante un prototipo electrónico y una aplicación haciendo que sea decisión de cada usuario cuando activar o desactivar el sistema. De las pruebas realizados con los equipos de ataque se logra determinar que la tecnología NFC tiene falencias en su cifrado haciendo que la transferencia de datos pueda ser en texto plano haciendo que la información quede accesible.

**Palabras-clave:** NFC; RFID; contactless; firewall; cifrado.

## *Implementation of a portable electronic security system for contactless bank cards*

**Abstract:** New technologies such as RFID and NFC allow users to carry out any type of transaction in a faster and more agile way, without the need for physical contact with the card or signatures. RFID and NFC use short wave signals passively, which can be obtained remotely with different techniques. This article explains that there are different forms of access to data through easily available equipment on the market and that with just a little knowledge they allow access to data that should be encrypted. The developed prototype allows information to be secured by means of an electronic prototype and an application, making it the decision of each user when to activate or deactivate the system. From the tests carried out with the attack teams, it is possible to determine that the NFC technology has flaws in its encryption, making the data transfer possible in plain text, making the information accessible.

**Keywords:** NFC; RFID; contactless; firewall; encryption.

## 1. Introducción

Las entidades financieras utilizan métodos de financiamiento económico con el fin de brindar comodidad a sus clientes obteniendo una comisión monetaria, es por esto por lo que las tarjetas bancarias son el medio mundial para obtener dinero de manera casi inmediata financiando o debitando el mismo. “A mediados del año 1914 las tarjetas eran utilizadas en ciertos establecimientos o utilizaban este método como una membresía a través de hojas impresas, en 1954 donde Frank McNamara implementa un método de financiamiento utilizando una sola tarjeta para varios establecimientos. Visa y MasterCard a la par, utilizando tarjetas plásticas que solo poseen números únicos y nombre del titular.” (BBVA, s.f.).

Las tarjetas de crédito han ido evolucionando de diferentes formas, aumentando sus funcionalidades y sus seguridades, esto se ve reflejada en la tabla 1.

Generación	Característica	Tecnología
Primera Generación.	Utilizan un código único para identificarlas.	Tres pistas o tracks.
Segunda Generación.	Tarjetas inteligentes o también llamadas Smart card, o TCI (tarjeta con circuito integrado).	Con circuitos integrados.
Tercera Generación.	Tarjetas contactless el sistema funciona gracias al NFC (near field communications).	tecnología deriva de las etiquetas RFID (identificación por radiofrecuencia), que son las que llevan los datos de transporte.

Tabla 1 – Generación de tarjetas y su evolución.

NFC trabaja a la misma frecuencia 13.56 MHz que etiquetas y lectores HF RFID, NFC toma ventaja de los reducidos rangos de lectura, para operar necesita estar a unos pocos centímetros, para su comunicación utiliza la característica peer to peer. NFC está basado en estándares de operación de RFID HF.

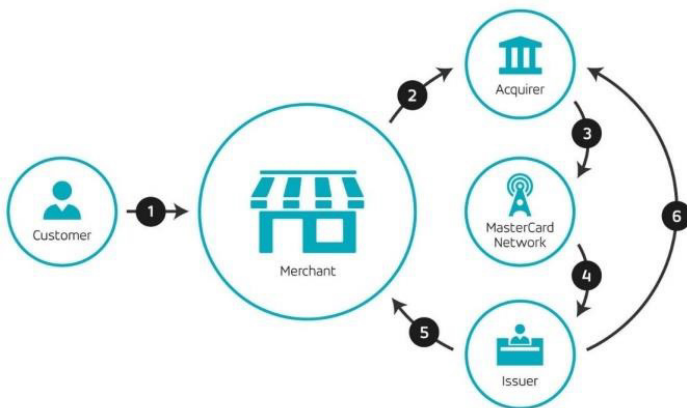


Figura 1 – Flujo de transacciones en tarjetas bancarias. Adoptado de MasterCard (2017).

La Figura 1 describe el funcionamiento de las tarjetas contactless emitidas por entidades financieras.

El switch transaccional hace referencia a un intermediario que comisiona por el servicio de transacciones, su función principal es interconectar a otras entidades financieras como Banred.

El desarrollo de un prototipo capaz de revelar cuando hay una alteración de estado en la tarjeta o un consumo no autorizado es algo muy necesario para poder evitar fraudes.

De esta forma se puede minimizar los diferentes problemas de seguridad, mismos que están identificados como escucha secreta, alteración de transmisión o ataques de retransmisión. (CCN-CERT, 2016).

## 2. Metodología de implementación del proyecto

### 2.1. Vulnerabilidades de tarjetas *contactless*

La extracción de información personal comúnmente es para el beneficio de compras en línea o duplicación de la información en compras físicas. Existen varios métodos identificados como principales vulnerabilidades de las tarjetas *contactless*.

- **Modificación de información:** Una vez que la tarjeta pudo ser leída o activada por un elemento activo, es posible modificar la información que se está transmitiendo.
- Las tarjetas *contactless* pueden sufrir ataques dentro de la modificación de servicios como la denegación de este, pues un atacante podría desvincular o comprometer la información original generando falsas lecturas.
- **Retransmisión:** La retransmisión o relay utiliza un canal de comunicación de retransmisión, pues de manera lógica, realiza un incremento de rango en la comunicación. Este tipo de ataque requiere un elemento que interactúe directamente con la tarjeta *contactless* emulando ser la tarjeta y otro emulando ser el lector. Este método se lo conoce como “mafia fraud” investigado por Y. Desmedt. Como se puede ver en la figura 2 el ataque se produce entre dispositivos con capacidad de leer NFC.

La vulnerabilidad en NFC reside en que para poder “escuchar” las emisiones de radiofrecuencia entre un dispositivo lector NFC y una tarjeta o tag estas deben estar lo suficientemente cerca como para detectar los paquetes enviados de información. La distancia normada para la comunicación por NFC son de 10 cm, pero se ha demostrado que bajo el estándar SO/IEC 14443-3A

Para probar dicho concepto se procede a realizar el ataque. Esta descripción de ataque y ejecución fue desarrollada únicamente con fines investigativos y cumpliendo con todos los permisos y autorizaciones de la entidad que permitió este ataque. El ataque no mostrara códigos completos.

Para el presente ataque se utilizarán lectores NFC de pruebas, mismos que brindan las capacidades de ser configurados en un dispositivo con Sistema Operativo Windows, el procedimiento de ataque se puede observar en la figura 3.

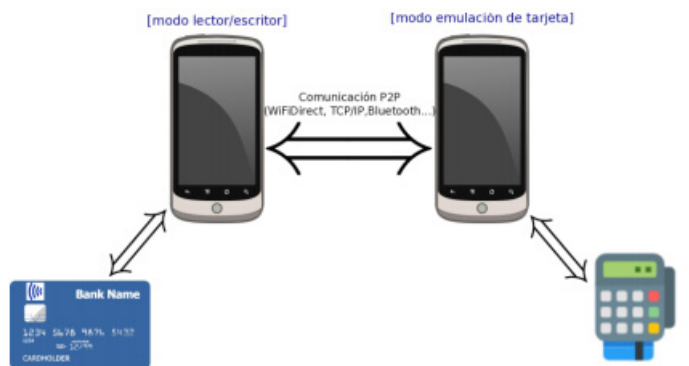


Figura 2 – Simulación de ataque mafia fraud. Adoptado de CN-CERT (2016).

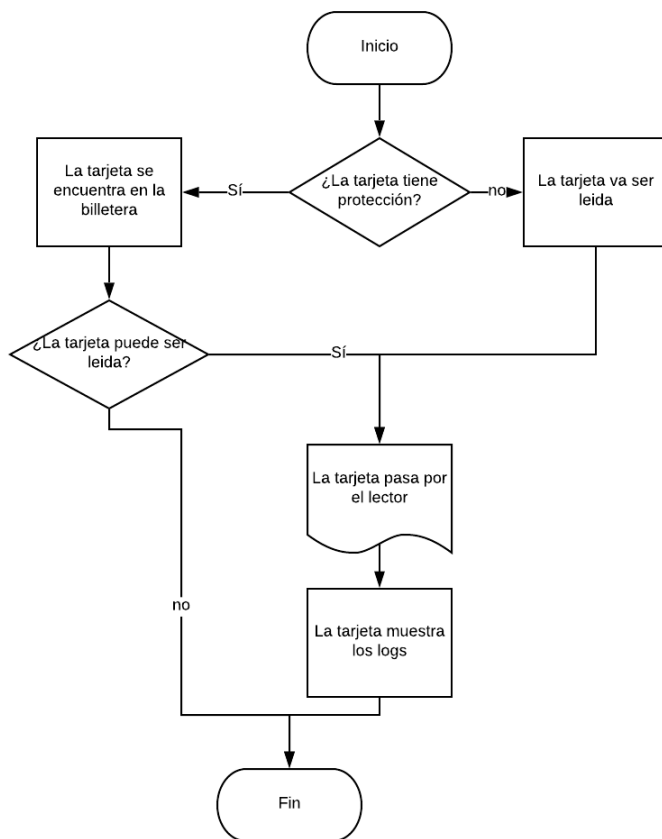


Figura 3 – Ataque a tarjeta Contactless. Elaboración propia.

El ataque únicamente se lo puede realizar solo si se mantiene una latencia baja en la red de comunicación. (CCN-CERT, 2016)

La fórmula de Frame Waiting Time (FWT), definida en ISO/IEC 14443-4 permite al configurar y delimitar el tiempo de respuesta entre dispositivos NFC.

Como se puede ver en la fórmula a continuación se delimita el tiempo de respuesta para mitigar problemas de ataque por retransmisión.

$$FWT = 256 \cdot \left( \frac{16}{fc} \right) \cdot 2^{FWT}, \quad 0 \leq FWT \leq 14, \quad (1)$$

donde  $fc = 13.56 \text{ MHz}$

Es decir, FWT varía entre  $500\mu\text{s}$  a  $5\text{s}$ , Un ataque de transmisión en NFC es posible cuando el retraso del canal de retransmisión es inferior a 5 segundos.

## 2.2. Detección de la tarjeta

El equipo desarrollado, permite bloquear y mostrar alertas tempranas para evitar posibles fraudes con el fin de cumplir las características que ofrece contactless.

El modelo utiliza los equipos:

- Raspberry.
- Modulo NFC PN532.
- Memoria 64Gb clase 10.
- Cables de conexión.
- Adaptador de energía.

Para implementar el modelo en primer lugar se procedió a descargar el software necesario de la página oficial: [https://downloads.raspberrypi.org/raspbian\\_full\\_latest.torrent](https://downloads.raspberrypi.org/raspbian_full_latest.torrent) y procediendo con la instalación de este en el raspberry.

Una vez realizado esto se procede con la programación en Thonny Python IDE que permite la gestión de los pines GPIO proporcionados en la misma placa, por defecto Python viene instalado en el sistema operativo Raspbian por lo que no hay que instalar nada adicional.

Como se observa en la Figura 4, esta puesta de manera general como esta enlazado el software con la nube y como va a dar las notificaciones a la aplicación móvil.

Localmente, el equipo tiene un interruptor de encendido o apagado del sistema y también se lo puede hacer remotamente a través del software móvil implementado, para esto se lo hace a través del pin GPIO20 configurado con pull up, con esto detecta cambios de estado de alta o bajo y de bajo a alto.

Remotamente esta función lo realiza a través de MQTT, la aplicación envía el mensaje activar sistema o desactivar sistema enviando un mensaje de confirmación hacia la aplicación.

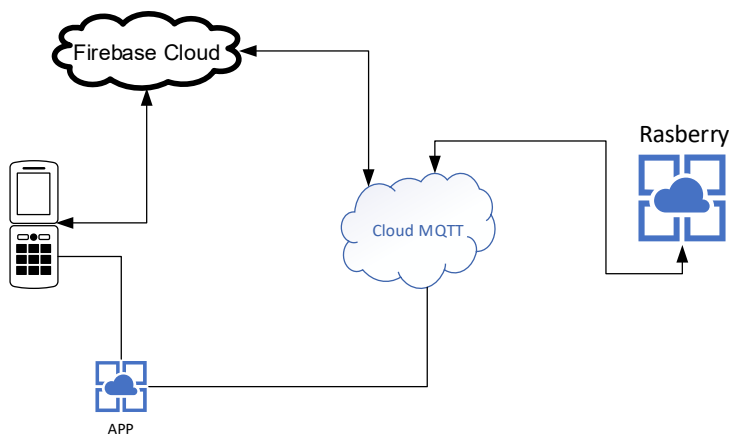


Figura 4 – Modelo de Conexión. Elaboración propia.

### 2.3. Incorporación de la tarjeta

Para que el sistema pueda leer la tarjeta primera hay que cumplir ciertas condiciones, las cuales son:

- Sistema prendido
- Cableado correctamente puesto y sujeto, evitando contactos falsos
- Que el sistema este activado de forma manual o remota.

Revisadas estas características se puede colocar la tarjeta en el módulo PN532 el cual lee la tarjeta, y muestra en notificación el resultado de la lectura.

En caso de alguna falla o retiro de esta mientras este en modo de seguridad, el software envía notificación en el celular que tenga la aplicación móvil.

Cuando un dispositivo externo al sistema intenta leer la tarjeta, el sistema bloquea el intento, lo registra y de igual forma notifica al usuario.

### 2.4. Aplicación móvil

Para su correcto funcionamiento, el software utiliza varias tecnologías como es MQTT, protocolo expandido rápidamente con un bajo consumo de ancho de banda, mediante el cual se utiliza para transporte de maquina a máquina.

La implementación realizada es tipo estrella ya que tendremos un servidor o nodo central que hace de bróker, a modo de pruebas nos creamos una cuenta en clodmqtt.com y al no ocupar más de 5 usuarios concurrentes el servidor permite crear una cuenta gratuita.

Otro protocolo utilizado es Firebase, el cual permite tener la aplicación móvil trabajando con datos de la nube y sincronizando con el bróker constantemente.

### 3. Resultados

A fin de llevar a cabo las pruebas se adquirió algunos equipos para lectura y escritura de tarjetas, los cuales permitieron leer información que es codificada, como se puede observar las tarjetas *contactless* pueden ser un problema de seguridad en caso de ser expuestas por el usuario, si no se tiene medidas de seguridad ni precaución de los establecimientos en los cuales son entregados, estos pueden ser vulnerados fácilmente sin ser un experto en el tema.

Varios estudios relacionados, demuestran que se debe poseer un ambiente propicio y adecuado para proceder con el ataque, en específico, la escucha oculta puede ser efectuada en presencia del usuario sin que este mismo se percate del fraude, como se demostró en el ataque efectuado.

En las pruebas desarrolladas se pudo constatar que existen equipos electrónicos que pueden leer información de tarjetas *contactless* que están encriptada y además poderlas pasar a otras tarjetas o un tag con otro equipo que permita la escritura.

Los servidores al estar implementados en la nube hacen posible que las notificaciones lleguen de una manera rápida y con los mensajes de alerta, tal y como se puede apreciar en la Figura 5.

Análisis del prototipo con sus resultados.

- Ventajas
  - El usuario protege sus datos e información.
  - Bloquea señales que puedan captar o distorsionar al momento de un ataque.
  - Permite alertar al usuario en caso de requerirlo
  - No permite manipular al atacante de manera física la tarjeta *contactless*.
  - Permite informar de manera oportuna a la institución financiera el ataque intentado.
  - Permite aprovechar de mejor manera la tarjeta *contactless*.
- Desventajas
  - No es de fácil de portar.
  - La batería tiene que ser recargada al día.
  - El equipo puede ser destruido en caso de robo para la obtención de los datos.
  - El equipo debe estar conectado a Internet.

Se tiene un historial de todos los mensajes, esto se logra ya que se guarda la información en SQLite, en la Figura 6 se puede observar un ejemplo de cómo se presentan las notificaciones móviles.



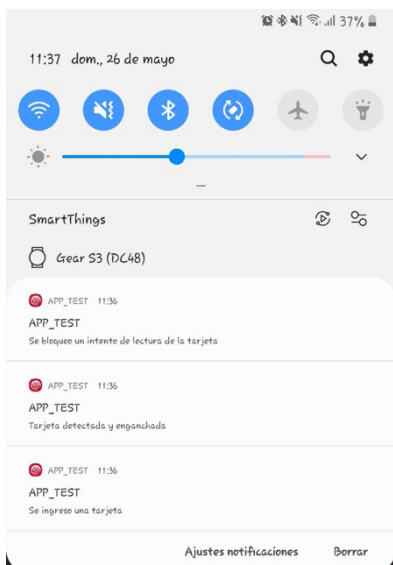


Figura 5 – Notificaciones aplicación móvil. Elaboración propia.



Figura 6 – Pantalla de historial de sucesos. Elaboración propia.

La implementación del prototipo hace posible que los datos y las tarjetas estén un poco más seguras, y además permite tener un control de cuando poder autorizar o no autorizar el uso de la tarjeta protegida.

Además de este método, hay que tener en cuenta que las medidas de seguridad físicas como es no dar la tarjeta en cualquier sitio, no dar los números en cualquier lugar hacen posible evitar posibles fraudes.

### 3.1. Tiempos detectados

Los tiempos detectados para el envío de información fueron observados de manera local hacia el aplicativo y de manera institucional, donde se validó en forma general los tiempos de confirmación de la transacción.

El equipo puesto en producción valida el tiempo final por el enlace dedicado de 41 ms con un jitter de 0.05 ms como se puede observar en la Figura 7.

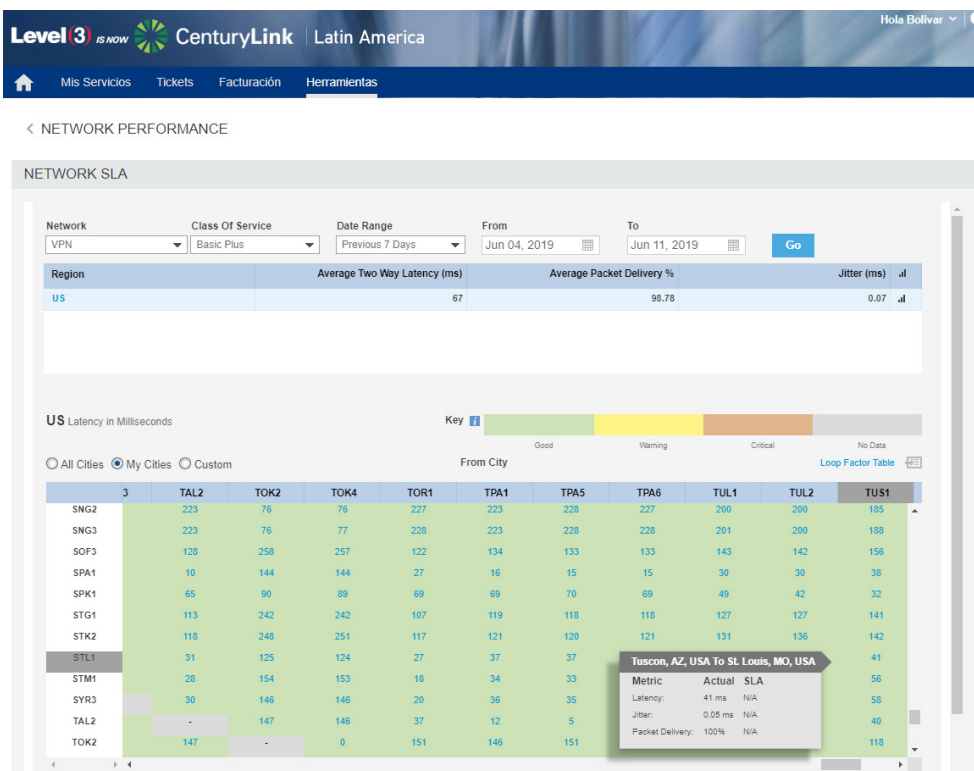


Figura 7 – Centurylink provider, Network Performance. Adoptado de Banco ProCredit Ecuador.

Este paquete fue enviado desde la matriz hacia el servidor principal en Alemania, como se puede observar en la Figura 8, los protocolos que más predominan es ESP y UDP en la transmisión de la prueba.

Carga de seguridad encapsulada (ESP):128 Kbyte utilizando el 27% de la red de prueba.

UDP:46 Kbyte utilizando un 10% de la red destinada para la prueba.

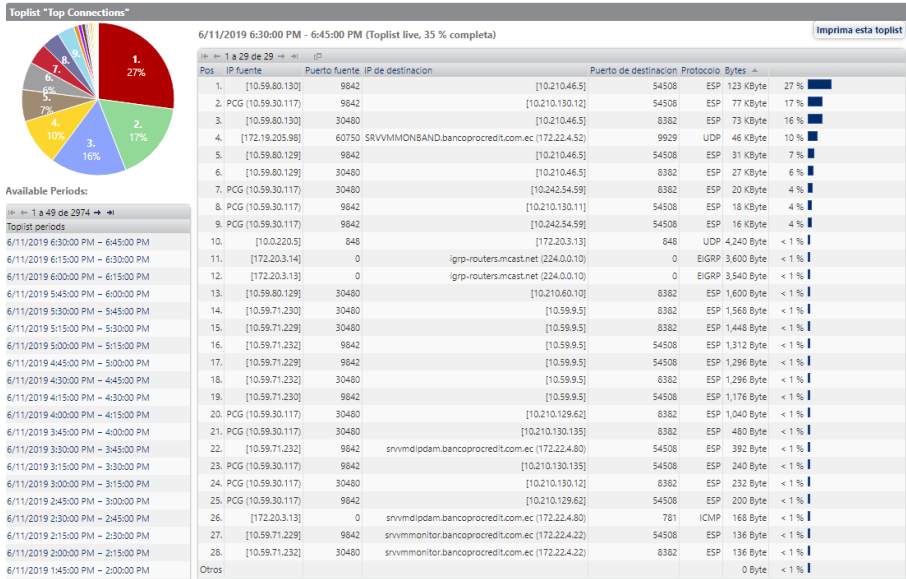


Figura 8 – PRGT, Network Performance. Adoptado de Banco ProCredit Ecuador.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

- El estándar ISO/IEC 14443 para tarjetas contactless muestra una grave falencia al momento de proteger los logs internos de la tarjeta que, si bien podrían estar enmascarados, no deberían ser mostrados en ninguna circunstancia.
- Los equipos y las tarjetas con las que se realizaron las pruebas de lectura, se logra determinar ciertas fallas en la seguridad específicamente de las tarjetas, lo que permite alertar a las entidades que presentan estos inconvenientes con el objeto de solventar una mayor seguridad para el usuario.
- El número de operaciones en transacciones de compra está delimitado por tiempo, y de acuerdo con la entidad bancaria que pertenezca la tarjeta, estos tiempos son transparentes para el usuario, permitiendo así mitigar posibles robos en sitios públicos, pero a pesar de esto como ya se comprobó hay que tener ciertas precauciones adicionales, ya que nada es infalible.
- El sistema desarrollado es un prototipo que podría ser miniaturizado en un futuro para así servir de alerta en caso de hurto de la tarjeta de crédito y también como detección temprana de fraude.
- De las pruebas realizadas con los equipos de escucha se logra determinar que no todos los equipos con tecnología NFC tienen un cifrado en el tráfico con sus transferencias en texto plano, lo que provoca inseguridad para el usuario y la posibilidad de que la información transmitida pueda ser interceptada.
- La autenticación de dos vías es algo que se debe activar para que toda transacción sea más segura y llegue cualquier notificación así será más difícil para cualquier persona no autorizada obtener la información y realizar compras.

## Referencias

- DLOGIC (2019) uFR para clonacion de tarjetas NFC, Recuperado el 20 de Octubre de 2018 de: <https://www.d-logic.net/nfc-rfid-readersdk/products/ufr-classic>
- CCN-CERT, España. “Informe de Amenazas CCN-CERT IA-05/16 Comunicación de campo cercano (Near Field Communication – NFC). Vulnerabilidades”
- Bbva. (s.f.). Nuevo estudio expone la vulnerabilidad de las tarjetas de débito y crédito. Recuperado el 18 noviembre de 2017 de: <https://www.bbva.com/es/tecnologia-contactless-pago-contacto/>
- M. Engelhardt, F. Pfeiffer, K. Finkenzerler, y E. Biebl. (2013). “Extending ISO/IEC 14443 Type A eavesdropping range using higher harmonics”. In Proceedings of 2013 European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech), pp. 1–8. IEEE.
- NFC Forum. Tag Type Technical Specifications. Internet: <http://nfcforum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/tagtype-technical-specifications/>, Febrero 2, (2014).
- Technical Reference Texas Instruments Tag-it HF-I Transponder Inlay Extended Commands and Options, Mayo 2002.
- Ramos-de-Luna, I., Montoro-Ríos, F., & Liébana-Cabanillas, F. (2016). Determinants of the intention to use NFC technology as a payment system: an acceptance model approach. *Information Systems and e-business Management*, 14(2), 293-314.
- ETEKJOY (2019) ETEKJOY para clonacion de tarjetas NFC Y RFID, Recuperado el 21 de Marzo de 2019 de: <https://guatemaladigital.com/Accesorios+-+teclados+de+control+de+acceso/ETEKJOY+Handheld+10-Frequency+RFID+NFC+Card+Reader+Writer+Copier+Duplicator+Programmer+for+ID+IC+Cards+w%2F+5X+125kHz+Cards%2C+5X+125kHz+k73eyfobs+%26+5X+13.56MHz+UID+Key+fobs/Producto.aspx?Codigo=4805915>
- Contactless (2019) Iso/iec 15693. Identification cards – contactless integrated circuit cards – vicinity cards. Recuperado el 9 de junio de 2019 de: <http://www.iso.org/>
- Landt Jeremy (2019) Shoruds of Time, The History of RFID an AIM Publication Tomado el 15 de Marzo del 2019 de: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjG7surmPTjAhXE1VkKHfOeCewQFjAcEgQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.transcore.com%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2017%2F01%2FHistory-of-RFID-WhitePaper.pdf&usg=AOvVaw1z9khT41JkiJyCqNglJeZz>
- Yassine Naija. (2019), Secured Digital Architectures for Low Cost Full-fledged HF RFID Tags Recuperado el 2 de Febrero de 2019 de: [https://www.researchgate.net/profile/yassine\\_naija/publication/330545779\\_secured\\_digital\\_architectures\\_for\\_low\\_cost\\_fullfledged\\_hf\\_rfid\\_tags/links/5c477f36299bf12be3dc651c/secured-digitalarchitectures-for-low-cost-full-fledged-hf-rfid-tags.pdf](https://www.researchgate.net/profile/yassine_naija/publication/330545779_secured_digital_architectures_for_low_cost_fullfledged_hf_rfid_tags/links/5c477f36299bf12be3dc651c/secured-digitalarchitectures-for-low-cost-full-fledged-hf-rfid-tags.pdf)

# Educación y TIC: El uso de la teoría de redes en el análisis de relaciones sociales y académicas en contextos educativos

Francisco Dillon<sup>1</sup>, Irina Freire<sup>1</sup>, David Rojas<sup>1</sup>, Diana Espinosa<sup>2</sup>

**franciscodillon@uti.edu.ec, irinafreire@yahoo.es, davidrojas@uti.edu.ec, dianaestefaniaespinosa@gmail.com.**

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Indoamérica, 170103, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Asesoramiento Psicológico, 170103, Quito, Ecuador.

**Pages: 88–97**

**Resumen:** El presente trabajo de investigación, se enfoca en analizar el uso de la teoría de redes sociales en el contexto educativo. Para esto se tomó como referencia tres investigaciones publicadas en diversas revistas indexadas donde, se ha descrito la metodología utilizada y las conclusiones a las que se llegaron luego de utilizar como marco metodológico esta propuesta. Los resultados obtenidos, han permitido evidenciar la incorporación de esta metodología en estos contextos, sin embargo, al no existir conocimiento detallado sobre esta temática y trabajo inter y multidisciplinario de los profesionales investigadores, se ha podido concluir que esta metodología de análisis propuesta, no siempre podrá ser susceptible de ser aplicada y replicada en otros contextos.

**Palabras-clave:** análisis de redes; educación; flujos de comunicación; TIC.

## ***Education and TIC: The use of network theory in the analysis of social and academic relationships in educational contexts***

**Abstract:** This research work focuses on analyzing the use of social network theory in the educational context. For this, three research published in various indexed journals were taken as a reference where the methodology used and the conclusions reached after using this methodological framework as a methodological framework have been described. The results obtained, have allowed to show the incorporation of this methodology in these contexts, however, as there is no detailed knowledge on this subject and inter and multidisciplinary work of the research professionals, it has been concluded that this methodology of the proposed analysis, it may not always be capable of being applied and replicated in other contexts.

**Keywords:** network analysis; education; communication flows; TIC.

## 1. Introducción

En las dos últimas décadas se han desarrollado varios estudios a cerca de topología y la dinámica de las redes del “mundo real” (Aguilar, 2005) (Barozet, 2002). Tales trabajos emplean técnicas provenientes de la física estadística, de la computación y de la matemática, básicamente (D Blondel, 2008) (Ribnikov, 1988) (Watts, 2006). Estos estudios tienen particular importancia para el entendimiento de sistemas complejos, los cuales están compuestos por muchos (y variados) componentes (agentes) que interactúan entre ellos. En dichos sistemas emergen propiedades que no pueden ser entendidas a partir del puro estudio de sus partes y es necesario emplear técnicas para las cuales el sistema completo es el objeto de estudio (Rizo, 2007).

Las redes son adecuadas porque permiten modelar de una forma natural a los agentes de un sistema y sus interacciones. En particular, una institución educativa, tomando como contexto de investigación cualquier nivel de formación académica, sea este inicial, primario, secundario o superior, es una organización compleja donde sus autoridades, profesores y estudiantes, interactúan formando un sistema cuyo objetivo consiste en cumplir con las directrices y metas educativas planteadas para cada uno de estos niveles, establecidos de forma estricta por los macro organismos educativos. En ese escenario, e idealmente hablando, la comunicación entre actores debe ser fluida y efectiva, en el sentido de que, la información relevante se transfiera a todo el sistema y contexto educativo. Las técnicas de análisis de redes proveen las herramientas para caracterizar esta red de comunicaciones, al hacerlo, es posible identificar cuál es la topología de la red y su relación con la propagación de información tanto social como académica, relacionada, por ejemplo, al rendimiento académico estudiantil (Dillon & Espinosa, 2019) (Dillon & Espinosa, 2020).

Otro factor fundamental del análisis de redes es el factor psicológico aplicado de manera fundamental para el proceso de enseñanza – aprendizaje, porque a través de este, se podrá entender cómo aprendemos, a través de cada una de las etapas de desarrollo, esta comprensión favorece a los criterios de comunicación de los actores, y la determinación de sus problemas o trastornos de aprendizaje que le permitan implementar las mejores estrategias metodológicas, didácticas y los recursos adecuados según las necesidades de cada contexto para facilitar la comunicación (González, J. A. G., Londoño, O. D. R., Vásquez, L. A. C., & Cerón, C. P. C., 2019).

El presente trabajo pretende evidenciar a través de un análisis descriptivo y exploratorios, el aporte de algunos estudios ya realizados en este campo, la integración de una herramienta de análisis utilizada por lo general en las tecnologías de la información y comunicación (TIC), al contexto educativo.

## 2. Metodología

La metodología de investigación se basó en un paradigma cuali-cuantitativo con un análisis de tipo descriptivo-exploratorio de los datos obtenidos a través del proceso de investigación de tres artículos indexados tomados como referencia en el análisis de este estudio (Hernández & Sampieri, 2010). Se debe mencionar que los mismos, han

tomado en contexto tres poblaciones distintas (estudiantes, docentes y autoridades-docentes de nivel básico y de bachillerato) en los cuales se han construido instrumentos de investigación (cuestionarios y una matriz de adyacencia) adaptados y aplicados siguiendo normas para la validación de los instrumentos (validación por juicio de expertos) y para la determinación de la confiabilidad de sus resultados (aplicación de Alfa Cronbach en una pequeña muestra de estudio) (Aguilar, 2005) (Bozeman & Corley, 2004) (George, 2003) (Henaio, 2012).

Además, se ha tomado como marco metodológico de análisis la teoría de redes sociales (correlacionando las medidas estadísticas de la topología de la red en cada una de las investigaciones) y, la teoría de sistemas sociales de Luhman (Luhman, 1984) para interrelacionar la información y obtener resultados, conclusiones y recomendaciones adaptadas a cada tema y contexto planteado (Henaio, 2012) (Hérrandez & Sampieri, 2018) (Padua, 2018).

Se utilizó las siguientes herramientas para el análisis de resultados obtenidos en cada una de las investigaciones:

- Software GEPHI.- para el análisis de la topología de la red y cálculo de algunas medidas estadísticas,
- Software PAJEK.- para el análisis de la topología de la red y cálculo de algunas medidas estadísticas,
- Software SOcNET.- para el análisis de la topología de la red y cálculo de algunas medidas estadísticas, y;
- Software ORANGE VERSIÓN 3.22.0.- para correlación de algunas medidas estadísticas calculadas dentro de la topología de la red de cada una de las investigaciones.

Las medidas estadísticas calculadas dentro de la topología de la red de cada una de las investigaciones tomadas como referencia para este análisis (Dillon & Espinosa, 2019), fueron las siguientes:

- Betweenness. – Esta medida estadística, muestra la posición intermediaria en las comunicaciones informales entre otras personas del mismo grupo que no se conocen entre sí. Aquellos con mayor intermediación se puede deducir que, controlan los flujos de comunicación en la red; y, (Blondel, 2008; Rubido, 2017).
- Eccentricity (Excentricidad). – se relaciona con el número de enlaces necesarios para conectar un nodo al nodo más lejano dentro de la red (número de pasos); (Rubido, 2017; Newman, 2004).
- Grado de centralidad (grado de entrada y salida). – existen dos medidas de centralidad; el grado de entrada (suma de las relaciones referidas hacia un actor por otros) y el grado de salida (es la suma de las relaciones que los actores dicen tener con el resto); (Rubido, 2017; Newman, 2004).
- Modularidad. – Medida estadística también denominada como estructura de comunidad, permite identificar sub redes dentro de la misma red, las cuales influyen en la manera de comunicarnos con nuestros pares, (D Blondel, 2008).
- Page rank. – Algoritmo que permite la clasificación de los nodos en un gráfico y la detección de los nodos más populares dentro de una red.



### 3. Análisis de resultados

Los resultados de los análisis de referencia utilizados para esta investigación, fueron los siguientes:

#### 3.1. Investigación de referencia nº 1

El tema de investigación planteado fue el siguiente: “Innovación y liderazgo educativo y su influencia en las relaciones sociales y académicas de estudiantes universitarios de posgrado”; esta investigación relacionó la influencia de la percepción estudiantil de un programa académico de posgrado en innovación y liderazgo educativo, en las relaciones sociales y académicas establecidas por sus estudiantes (ver Fig. 1); para esto; se utilizó un estudio cuantitativo con corte transversal y alcance descriptivo, exploratorio y correlacional. La población de estudio, fueron estudiantes con un perfil profesional educativo-docente, en un rango de edad entre 31-50 años. Se construyeron dos instrumentos para la recolección de la información, además, se utilizó el software Orange versión 3.22.0 para el análisis estadístico y el software GEPHI, para el análisis de las relaciones sociales y académicas establecidas por la población objetivo (Abad, 2017) (Ahumada, 2009) (Biggs, 2005) (Chalela, 2007) (Dillon & Espinosa, 2019).

La topología de la red estudiantil en este estudio es la siguiente:

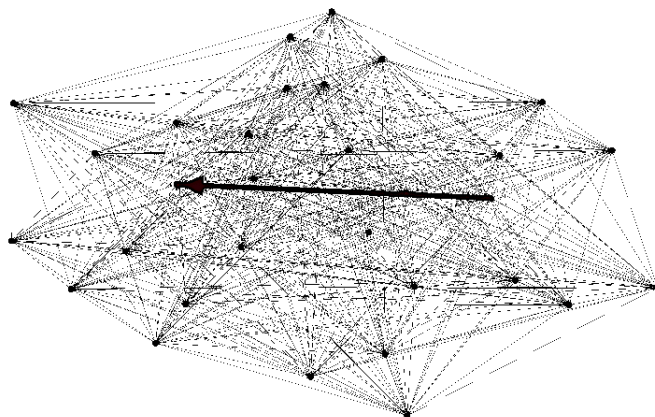


Figura 1 – Topología de la red del primer estudio.

Uno de los principales hallazgos al correlacionar las medidas estadísticas calculadas en la topología de la red (ver Fig. 2), fue el siguiente:

Se observa una relación estadísticamente significativa entre el grado de entrada en los nodos femeninos ( $r= 0.80$ ) de esta red y la medida eccentricity (ver Fig. 2), esto significa que, mientras mayor sea el grado de entrada menor serán los pasos que deban dar los nodos femeninos para comunicarse con los demás en la red.



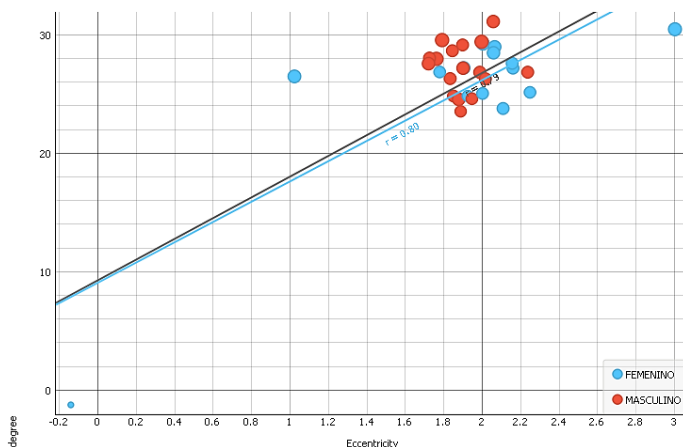


Figura 2 – Grado de entrada vs. Eccentricity del primer estudio.

Las conclusiones obtenidas en este estudio, fueron:

- Existen dos grupos identificados dentro de la topología de la red que no inciden de manera directa en los procesos comunicacionales, académicos y en la percepción de los estudiantes del posgrado en innovación y liderazgo educativo (Dillon, 2019).
- Se evidencia una tendencia marcada y diferenciada por género que asigna mayor poder en el manejo de la información a los nodos representados por el género masculino, en relación al femenino, sin embargo, aún bajo este considerante, se puede mencionar que, la mayoría sino todos los nodos en la red, se encuentran adecuadamente interconectados y esto da paso una comunicación efectiva en el trabajo académico y las relaciones sociales (Dillon, 2019) (Rivera, 2013).
- Un programa de posgrado que tiene procesos comunicacionales y académicos adecuados, propicia las relaciones de este tipo en sus estudiantes y más que nada, mejora significativamente la percepción que estos tienen de la formación académica que reciben (Chalela, 2007) (Osorio, 2010).

### 3.2. Investigación de referencia n° 2

El tema de investigación planteado fue el siguiente: “Interacciones de género en la actividad académica de estudiantes de psicología: revelaciones desde la Teoría de sistemas - RED”; la investigación utilizó un enfoque cuantitativo, de corte transversal y alcance exploratorio - descriptivo. Utilizó la categoría metodológica del sistema social de Niklas Luhman (Luhman, 1984) y la herramienta descriptiva de la teoría de redes. Los participantes fueron 34 estudiantes, 25 mujeres y 9 hombres con edades comprendidas entre los 17 y 22 años. El instrumento utilizado es INTRED1, validado en dos fases. Para el procesamiento de datos se utilizó el software GEPHI. El objetivo del estudio fue determinar las formas de interacción de género en la actividad académica, tomando

como referencia el rendimiento académico de la materia de Lenguaje y Comunicación en la carrera de Psicología en una universidad privada de la ciudad de Quito.

La topología de la red estudiantil (ver Fig. 3) en este estudio es la siguiente:

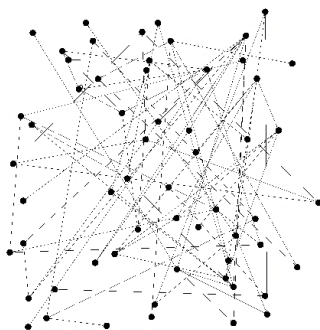


Figura 3 – Topología de la red del segundo estudio.

Las conclusiones obtenidas en este estudio, fueron:

- Existe una correlación entre el rendimiento académico con las habilidades sociales específicamente en las mujeres, pero como una asociación predicha, es decir, estereotipada del rol de género que implica a la mujer como portadora de dichas habilidades desde la adjudicación cultural del rol.
- También se demuestra en este estudio que en los hombres se encuentra una relación entre habilidades sociales y rendimiento académico mediadas por la aceptación del grupo. En este sentido es plausible destacar los resultados de la presente investigación, la cual indica tres factores de análisis. En primera instancia la comunidad de estudio (modularidad) para la actividad académica está conformada principalmente por grupos de mujeres. Luego se encontró que, respecto a la relación de entre la entrada y salida de la comunicación (interacción), son las mujeres quienes tienen el control y el poder en este proceso. Finalmente, sobre la popularidad o page rank, son las mujeres los puntos o nodos con mayor calidad e importancia en la interacción (Fries, 2005).
- Como conclusión general se manifiesta que, las interacciones que se suscitan en la actividad académica se estructuran como redes construidas culturalmente que, mediante la comunicación crean, re crean y adaptan roles, siendo el género femenino quien mantiene y controla dichas interacciones entre los diferentes miembros de la comunidad educativa.

### 3.3. Investigación de referencia n° 3

El tema de investigación planteado fue el siguiente: “Relaciones académicas y de género en docentes universitarios y su influencia en la publicación en revistas indexadas de alto impacto”; el objetivo de este estudio, fue determinar la influencia de estas relaciones académicas y de género en la autoría y la coautoría de publicaciones en revistas indexadas de alto impacto. La información utilizada, corresponde al número de publicaciones

indexadas en revistas de alto impacto diferenciado por género, tomando como marco metodológico y de análisis, la teoría de redes sociales (Dillon & Espinosa, 2020).

La topología de la red docente (ver Fig. 4) en este estudio es la siguiente:

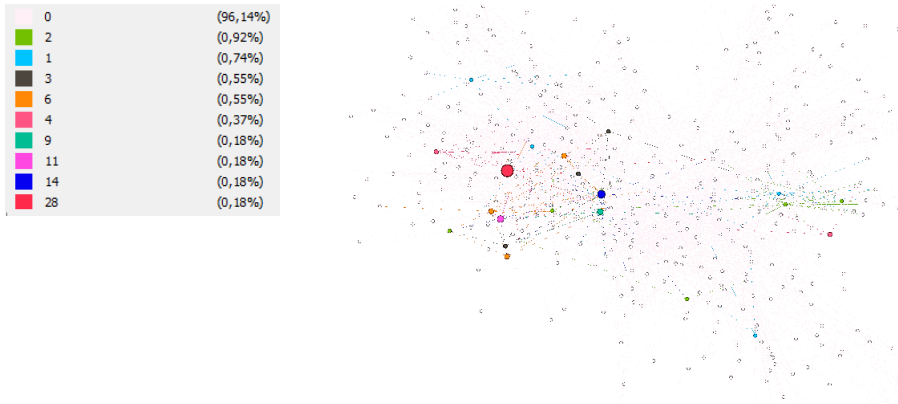


Figura 4 – Red de interacciones académicas por número de artículos de alto impacto (SCOPUS) publicado.

Uno de los principales hallazgos al correlacionar las medidas estadísticas calculadas en la topología de la red (ver Fig. 5), fue el siguiente: La correlación de esta medida estadística dentro de la red, arrojó una correlación altamente significativa en varones ( $r = 0.98$ ) y mujeres ( $r = 0.83$ ). Esta se relaciona a la influencia o popularidad que tiene un nodo dentro de la red y su relación con el grado de entrada; esto quiere decir que mientras mayor sea su popularidad, mayor será su probabilidad de formar un grupo académico que escriba de manera general un artículo, debido a que los procesos comunicacionales entre redes académicas, son fundamentales para la escritura de artículos de alto impacto.

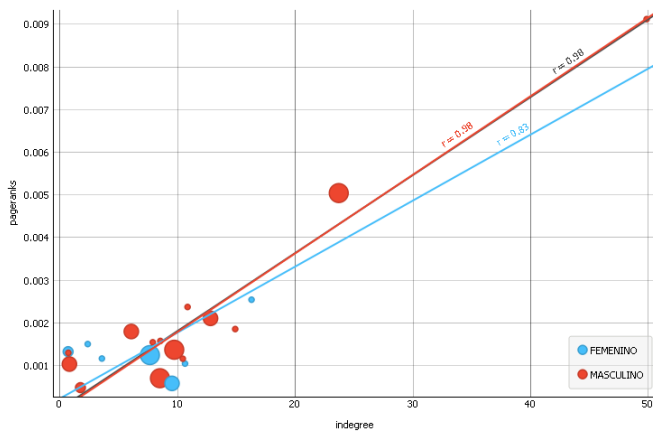


Figura 5 – Page rank y grado de entrada del tercer estudio.

Las conclusiones obtenidas en este estudio, fueron:

- La topología de la red, influye en la comunicación académica y las relaciones de género de docentes universitarios, además; se evidencian procesos discriminatorios en la escritura de artículos científicos de alto impacto publicados en revistas indexadas donde, la participación de docentes mujeres en la autoría y coautoría no es equitativa (Badar, Hite, & Badir, 2013) (Boschini & Sjogren, 2007) (Hernández, 2006).
- Las medidas estadísticas calculadas en la topología de la red, influyen en la autoría y coautoría de artículos científicos de alto impacto publicados en revistas indexadas diferenciados por género (Leahey, 2006) (Long, 1992) (Long, 1990) (Requena, 1998).

#### 4. Conclusiones

Debido a lo mencionado anteriormente, se puede mencionar que la teoría de redes sociales permite realizar análisis de tipo descriptivos, exploratorios y correlacionales (utilizando las medidas estadísticas calculadas en la red) del comportamiento de sus nodos (agentes-personas). Este análisis de las medidas estadísticas calculadas dentro de la topología de la red en las investigaciones de referencia presentadas en esta investigación, han permitido evidenciar la integración de las TIC en el análisis de factores educativos, como por ejemplo, las relaciones sociales de estudiantes y docentes diferenciadas por género, su rendimiento académico y los problemas de aprendizaje que se generan por una carencia de comunicación, la percepción frente a la formación académica que reciben en un programa de posgrado y además, la influencia de las relaciones sociales y académicas en docentes universitarios en la publicación diferenciada por género de artículos científicos SCOPUS de alto impacto académico.

Se debe mencionar, sin embargo, que los esfuerzos por integrar esta metodología en el ámbito educativo son muy escasos, esto debido a la dificultad en el manejo del software especializado en análisis de redes sociales y el acceso a la información académica o especializada que se pretende presentar como parte de la topología de la red que se quiere investigar. Los investigadores del área educativa, por ende, deberían sumar esfuerzos inter y multidisciplinarios para tratar de entender esta metodología y a través de ella, realizar investigaciones que aporten al análisis de factores educativos relacionados no solamente a los procesos de enseñanza y aprendizaje, sino, a las características intrínsecas (comportamiento, relaciones y flujos de información) que afectan a los factores de desarrollo psicoeducativo y que son esenciales al momento de tener una educación más cohesionada hacia indicadores de calidad académica, de los elementos que son investigados en los diferentes contextos y ámbitos de relación académica.

#### Referencias

- Abad Peña, G. L. (2017). El sistema de educación superior ecuatoriano visto desde los principios de pertinencia y calidad. 9(5), 46-53.
- Aguilar, N. (2005). Manual introductorio al análisis de redes sociales. *Revista Redes*, 16-43.

- Ahumada Figueroa, L. G. (2009). El funcionamiento del equipo directivo durante un proceso de autoevaluación institucional en el marco de políticas de aseguramiento de la calidad de la gestión escolar en Chile. *Universitas Psychologica*, 2(8), 353-370.
- Badar, K., Hite, J., & Badir, Y. (2013). Examining the relationship of co-authorship network centrality and gender on academic research performance: The case of chemistry researchers in Pakistan. *Scientometrics*, 755-775.
- Barozet, E. (2002). La teoría de Redes y sus Aplicaciones en Ciencia Política: Una herramienta Heurística. *Revista de Ciencia Política*, 17-38.
- Biggs, J. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Narcea.
- Boschini, A., & Sjogren, A. (2007). Is team formation gender neutral? Evidence from coauthorship patterns. *Journal of Labor Economics*, 325-365.
- Bozeman, B., & Corley, E. (2004). Scientists' collaboration strategies: Implications for scientific and technical human capital. *Research Policy*, 599-616.
- Chalela Salim, V. A. (2007). Motivaciones de los estudiantes universitarios para continuar su formación académica en programas de posgrado. *Revista Lasallista de investigación*, 160-170. doi: <http://dx.doi.org/10.22507/rli.v14n2a15>
- D Blondel, V. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*.
- Dillon, F., Freire, I., & Espinosa, D. (2019). Interacciones de género en la actividad académica de estudiantes de psicología: revelaciones desde la Teoría de sistemas – RED. *Wimblu*, 14(2), 7-25.
- Dillon, F., & Espinosa, D. (2019). Innovación y liderazgo educativo y su influencia en las relaciones sociales y académicas de estudiantes universitarios de posgrado. *SATHIRI*, 14(2), 138-150. doi:doi:10.32645/13906925.894
- Dillon, F., & Espinosa, D. (2020). Relaciones académicas y de género en docentes universitarios y su influencia en la publicación en revistas indexadas de alto impacto. *Ciencia y Educación*, 3(3), 7-20. doi:<https://doi.org/10.22206/cyed.2019.v3i3.pp7-20>
- Fries, A. F. (2005). Feminismo, género y patriarcado. *Revista sobre enseñanza del Derecho de Buenos Aires*, 259 - 294.
- Garzón González, J. A., Rojas Londoño, O. D., Cañizares Vasconez, L. A., & Culqui Cerón, C. P. (2019). El impacto de la psicología en el ámbito educativo. *RECIMUNDO*, 3(2), 543-565. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(2\).abril.2019.543-565](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(2).abril.2019.543-565)
- George, D. y. (2003). *Spss for Windows step by step: A Simple Guide and Reference. 11.0 Update*. Boston: Allyn & Bacon.
- Henao, D. (2012). La teoría de redes: aspectos claves para el análisis de “fuga de cerebros”. *Trans-pasando Frontera*, 97 - 109.

- Hernández Sampieri, R. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. México D.F.: Interamericana Editores S.A.
- Hernández, Y. (2006). Acerca del Género como categoría analítica. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 1 - 10.
- Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Leahey, E. (2006). Gender differences in productivity. Research specialization as a missing link. *Gender & Society*, 754-780.
- Long, J. (1990). The origins of sex differences in science. *Social Forces*, 1297-1315.
- Long, J. (1992). Measures of sex differences in scientific productivity. *Social Forces*, 159-178.
- Luhman, N. (1984). *Sistemas Sociales. Lineamientos para una teoría general*. México: Alianza Editorial.
- Newman, P. J. (2004). Statistical mechanics of networks. *Physical Review E*.
- Osorio, L. (2010). Características de los ambientes híbridos de aprendizaje: estudio de caso de un programa de posgrado de la Universidad de los Andes. *Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 1-9.
- Padua, J. (2018). *Técnicas de Investigación aplicadas a las ciencias sociales*. México: Fondo de cultura económica.
- Requena Santos, F. (1998). Género, redes de amistad y rendimiento académico. *Papers* 56, 233-242.
- Ribnikov, K. (1988). *Análisis Combinatorio*. Moscú: Mir Moscú.
- Rizo, M. (2007). Interacción y comunicación en entornos educativos: Reflexiones teóricas, conceptuales y metodológicas. *Revista Compós*, 2-16.
- Rubido N., G. C. (2017). *Understanding Information Transmission in complex networks*.
- Watts, D. (2006). *A seis grados de separación*. Barcelona, España: Paidós Ibérica S.A.

# Prototype of an Android mobile application for real time drowsiness detection and alertness applied in night driving

Erick P. Herrera-Granda<sup>1</sup>, Adriana L. Díaz-Chimbo<sup>1</sup>, Pedro Granda-Gudiño<sup>1</sup>,  
Marco R. Pusedá-Chulde<sup>1</sup>, Iván D. García-Santillán<sup>1</sup>

**aldiazc@utn.edu.ec, epherrera@utn.edu.ec, pdgranda@utn.edu.ec,  
mrpusda@utn.edu.ec, idgarcia@utn.edu.ec**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

**Pages: 98–112**

**Abstract:** Traffic accidents due to drowsiness and distraction are significant problems in Ecuador. In the present study, a prototype of an Android mobile application was developed, for the detection and alertness of sleepiness in night driving, in real time, through the use of artificial vision techniques. This project was carried out through the Android Studio Development IDE, OpenCV library, Haar-Like Cascade Classifiers and Template matching techniques under the XP development methodology. The mobile application detects the location and dimensions of a face, within the image acquired in the visible spectrum. Then, these values are used to obtain the region of interest that contains each eye, using geometric equivalences applied to the human face. Subsequently, the presence of pupils in the region of interest is detected, applying template matching techniques and the fast Fourier transform, to determine whether the driver's eyes are open or not. Finally, an audible alarm is issued if pupils are not detected in the ROI for a determined period of time. After a testing and configuring process, the developed application achieved an average detection rate of 32 fps, with a drowsiness detection accuracy of 91.46% and an AUC of 0.847.

**Keywords:** opencv; fast fourier transform; haar cascade; template matching; Viola-Jones.

## 1. Introduction

Traffic accidents are a phenomenon that occurs repeatedly, causing social, economic, institutional and technological problems. This problem occurs due to different causes, the most common are: fatigue or drowsiness, drunkenness, bad parking, bad maneuvers when passing, animals on the roads, not respecting traffic signal disrespect, speeding, driving under alcohol or narcotic substances influence, among others (Galarza et al., 2018). The World Health Organization (WHO, 2013), places Ecuador as the second country in South America with the highest rate of deaths caused by traffic accidents. Despite the existing maximum driving hours regulations, which establishes that none of



the drivers can exceed 12 accumulated hours of driving, fatigue accidents keep being a common reality in our environment (Ministerio de Relaciones Laborales, 2018).

In response to the previously described problem, we developed a mobile application prototype using Android Studio, that allows detecting and alerting the driver, when is entering sleepiness during night driving, by issuing a sound alarm on the smart phone, using computer vision techniques. The prototype presented in this work represents an alternative to solve driver drowsiness issue and its future publication on the app store could contribute to avoid material and human losses. Thus, the main objective of this research was, the development of an android application, that can detect drowsiness accurately in night driving, using few computational resources without the need of additional hardware, so it can be installed easily in most of existing android devices.

Some works existing in the literature that theoretically contributed the development of this study are detailed below:

### 1.1. Related works

In recent years, to analyze driver drowsiness several systems have been built. Usually, they require to simplify the problem in order to work partially or for specific environments. For example, for night light conditions, (Ji, 2002) and (Ji et al., 2004) presented a drowsiness detection system based on NIR illumination (near infrared) and stereo vision. This system locates the position of the eye using image differences based on bright pupil effect, which is characteristic in this type of images. The frequency of the blind eyelid and the gaze was calculated, in order to generate two drowsiness indices: PERCLOS (percentage of eye-lid closure over time) and AECS (average eye closure speed). In Orazio's work an eye detection algorithm was proposed, assuming that the iris is always darker than the sclera. The Hough transform for circles and geometric constraints, were used to locate the candidate points to be considered an eye (D'Orazio et al., 2004). (Wen-Bing Horng et al., 2004), developed a system that uses a skin color model on the HSV space for face detection, edge eye information location and dynamic template matching for eye tracking. This approach uses the color information of the eyeball, to identify the state of the eye and calculate the drowsiness state of the driver, which could be asleep or alert, so if the eyes are closed for five consecutive frames, the driver is considered under drowsiness. Brandt T. presented a system that detects driver drowsiness and distraction, by monitoring head movement and eye blink patterns. Some advantages of this work is the cost-performance ratio, runtime and possible measurement in the dark (Brandt et al., 2004). Another work, that uses infrared illumination is presented by Grace et al. to measure the slow eyelid closure with Perclos technique (Grace & Steward, 2017).

(Wijnands, Thompson, Nice, Aschwanden, & Steevenson, 2019) implemented a 3D dense neural network, based on MobileNetV2 using Android Studio, TensorFlow and Bazel, trained in a NVIDIA P100 GPU using the Driver Drowsiness Detection (DDD) dataset, over five conditions: without glasses, with glasses, with sunglasses, without glasses at night and with glasses at night. Results shown that 3D convolution operations performed better than frame-based methods when the driver uses sunglasses and the proposed method achieved an inference speed of 10 fps.



The study of (Abulkhair, Salman, & Ibrahim, 2015) details the development of an android drowsiness detector app called WakeApp, which was built using Snapdragon SDK libraries which allowed the developers implement Haar'Like Classifier Cascades and template matching algorithms in order, in android devices to perform tasks of blink detection, gaze tracking and face orientation. In this way this app was able to acquire de the image, preprocess the image, detect the driver's face, and count the eye blink in order to get the blinking speed which allows to determine whether the driver is awake or not, achieving a detection speed of 25 fps and a response time of 40 ms for the whole process.

In the study presented by (Kumar & Bhowmick, 2009) a drowsiness detection system was developed using IR camera, by means of simple computer vision techniques in order to detect and track pupils in the image by following the process: (1) the background of the image is removed by subtracting the mean of the grayscale image, (2) the image is binarized using dynamic threshold technique, (3) the face is detected by Template Matching algorithm, (4) pupils are detected over the 2/3 of the image using the Euler number, and finally (5) pupils are tracked by nearest neighborhood technique. This set of techniques constitute a simple solution that achieved a mean average precision of 88.6%.

(Jabbar, et al., 2018) developed an android application which detects drowsiness using neural networks techniques. This system used Dlib open source SDK which is built-in Haar feature-based cascades, that allows the system extract facial marks which are the inputs of a multilayer perceptron MLP, that was trained to classify whether the image correspond to a drowsy driver or not. The system was trained and evaluated using the DDD dataset of the National Tsuing Hua University and achieved a whole process speed of 7 fps and a mean accuracy rate of 81% for the five previously mentioned cases.

## 2. Materials and methods

Scheme presented in Figure 1a, shows the whole process from image acquisition to issuing a sound alarm, where all the steps are carried out in the mobile phone, so the user only needs to install the application which can be downloaded or transferred as an APK file. Then, the user must attach the cellphone in the car's sun visor as shown in Figure 1b.

### 2.1. Image acquisition and preprocessing

OpenCv library has a specific class called *CameraBridgeViewBase*, which allows interaction with the smartphone cameras, containing methods dedicated to the processing of obtained frames. For this purpose, this class was implemented in the project and the front camera was accessed using *setCameraIndex* method, which sets the parameter that defines the camera that will be used, in this case the value of one was used since it was necessary to interact with the front camera. The RGB acquired 1920 × 936 frames were resized to 640 x 480 and converted to grayscale using the *inputFrame.gray* function.

### 2.2. Face detection

Haar Cascade algorithms were used, to perform face detection since they are widely used due to their fast and light processing and low computational cost (Herrera, et al., 2019).

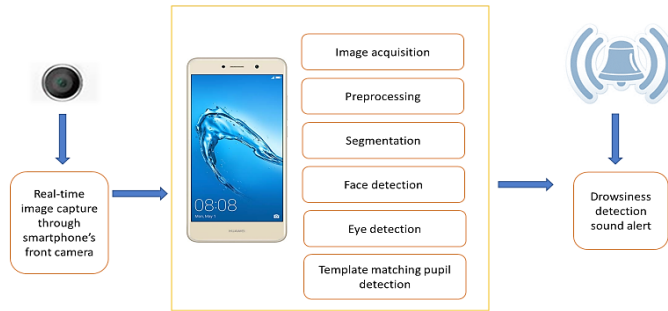


Figure 1 – Proposed prototype scheme & device attached in the car compartment.

OpenCv library has pre-trained classifiers, in this case *haarcascade\_frontalface\_default* face classifier was used. When using the algorithm, a rectangle, where the algorithm detected a face, is obtained, which is stored in a finite line  $\mathcal{L}$  that has four components: x position, y position, width and height. With these coordinates and the *Imgproc* function a rectangle, that contains the detected face, is drawn, with the desired color in the RGB space and a thickness of 3 pixels. Figure 2 shows the face detection obtained results.

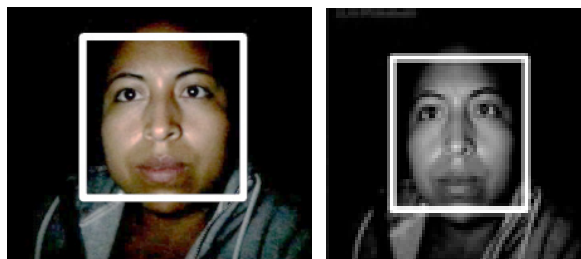


Figure 2 – Face Detection using the mobile application.

### 2.3. Eye detection

Each time a face is found, it is necessary to delimit the region of interest inside the face area (ROI), which contains eyes and pupils, in order perform further computations in

a smaller matrix, to save computational processing. For example, the eyes are always considered to be located in the upper part of the face. Once the  $\mathcal{E}$  finite line, which contains the location of the face, is found, the next step is to obtain a new  $\lambda$  finite line with the location of the right eye. For this purpose, operations in equations 1, 2, 3 and 4 were performed, in order to find the x value, y value, width and height of the right eye new ROI.

$$\lambda_x = \mathcal{E}_x + \frac{\mathcal{E}_{width}}{16} \tag{1}$$

$$\lambda_y = \mathcal{E}_y + \frac{\mathcal{E}_{height}}{4.5} \tag{2}$$

$$\lambda_{width} = \frac{\left( \mathcal{E}_{width} - 2 \cdot \frac{\mathcal{E}_{width}}{16} \right)}{2} \tag{3}$$

$$\lambda_{height} = \frac{\mathcal{E}_{height}}{3} \tag{4}$$

Figure 3 – a shows the results obtained by drawing the rectangle in the desired area.

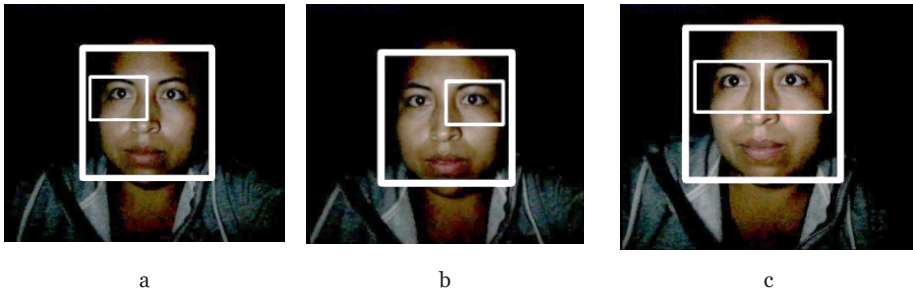


Figure 3 – a) Right eye, b) left eye and c) whole eye area detection.

In order to determine, the finite line of the left eye, a procedure similar to the applied on right eye was followed, as shown figure 3b, then the result for obtaining the pair of eyes ROI is shown in Figure 3c.

Once the eyes ROI is defined, and verified that it works correctly, the eyes were detected inside this area. For this task, OpenCv library has previously trained Haar Cascade algorithms, which are dedicated to the classification of the right and left eyes. For the implemented prototype, the *haarcascade\_eye\_right* and *haarcascade\_eye\_left* online xml files were used, which locate the detected eyes in new ROI matrices of the right and left eye, and the obtained new finite lines are drawn as rectangles above the image, as shown in Figure 4.

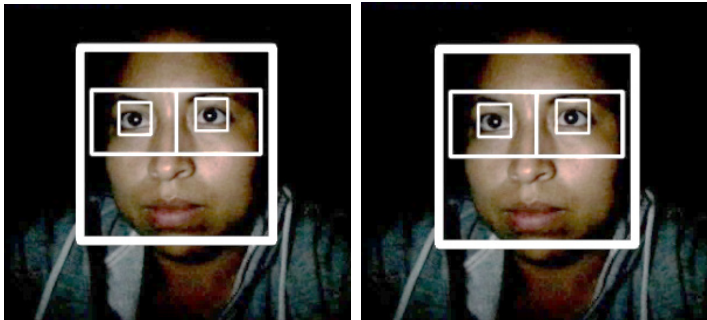


Figure 4 – Eye detection.

#### 2.4. Pupil detection

The developed prototype uses the template matching technique in order to perform an object search in the image. In this case the algorithm looks for the pupil in the region of interest matrixes, of the right and left detected eyes. This technique performs a pixel to pixel scan of the image, from left to right and from top to bottom, in order to calculate a metric that establishes whether the comparison is efficient or not, for each process.

The Template Matching algorithm slides through the image, comparing the Template (pattern) using an specific method, storing the available result which can be found as global minimums when using the *TM\_SQDIFF* method (this method is immersed in the methods that OpenCv offers to compare templates with regions of overlapping images using the *minMaxLoc* function) or global maximums when using the *TM\_CCORR* or *TM\_CCOEFF* methods (Ponce et al., 2018).

For the developed drowsiness detector, the *TM\_SQDIFF* method was used, in order to find global minimums and find the darkest point in the region of interest. The used template matching formula is shown in equation 5, where the T image is the template and R is the obtained result (Opencv\_tutorials.pdf, 2019).

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') - I(x + x', y + y'))^2 \quad (5)$$

It is necessary to mention that the operational calculations that the aforementioned techniques perform internally require the calculation of the Fast Fourier Transform, which is used due to its speed and precision, to find the frequency domain of each image, in this case the template and the actual image (Lucía, 2013). In this way, each image is stored in arrangements and each of its pixels stores a numerical value to the average brightness. Therefore, in the prototype, the application of these functions results in finding the darkest point of the eye, which corresponds to the location of the pupil in the desired ROI. Then the use of the *minMaxLoc* function facilitates the required calculations and decreases the use of computational resources, resulting in the location of the objective as shown in Figure 5.

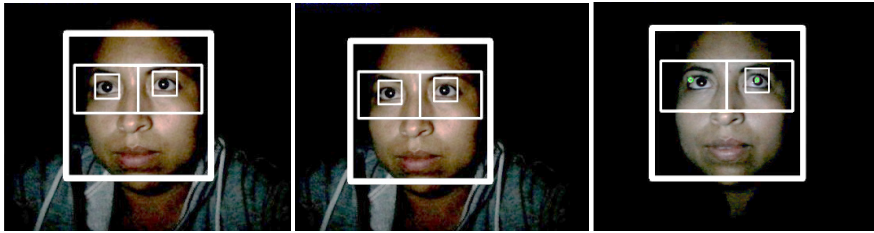


Figure 5 – Detected pupils in the region of interest.

### 2.5. Drowsiness Detection and sound alarm emission

In order to verify whether the user is drowsy or not, it was defined that, if the prototype detects two consecutive frames of closed eyes, a label alert will be displayed on the image indicating that the user is asleep, as shown in Figure 6.



Figure 6 – Drowsiness alert.

In the same way, if the prototype detects two consecutive closed eyes frames, the smartphone will activate a sound alert, which helps to prevent the driver fall asleep.

### 2.6. Low illumination problem in night driving

In order to solve brightness problems, several tests were carried out using various methods. However, the one that worked best on smartphones, was using light support provided by the LEDs of the screen leaving a white stripe on the right, left and bottom of the screen, as shown in Figure 7.

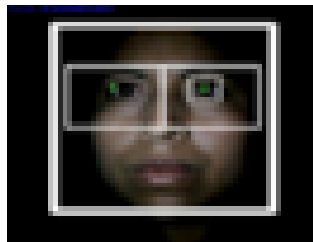


Figure 7 – Implemented solution to low illumination problem.

These white stripes provide illumination in a region of the face in order to ease face and eye detection, which is the main objective of the study. In the application code of the of the activity main, the layout width it is defined in 200 dp (pixels of independent density), the height is defined in 145 dp, and the start margin of the layout is 170dp.

### 3. Results and discussion

Unlike neural network based custom trained detectors like (Wijnands, et al., 2019) (Jabbar, et al., 2018), this prototype wasn't developed under a training process on a dataset like DDD, so, a sampling process had to be performed in order to select a set of people, that the detector have never seen before, large enough to have significance in the performance metrics. With the purpose of evaluating whether the mobile application prototype is working properly or not, several tests were done with different people, including students of Software Engineering career of the Universidad Técnica del Norte degree. To carry out the sampling, a T-family test was used, which is based on the T-student probability distribution and is recommended for 1 or 2 population groups that may be related in a certain way. For this case there is only one user group since it was not classified in any specific stratum. Table 1 shows the summary of the obtained results (Cárdenas Castro, 2014).

<b>t tests - Linear multiple regression: Fixed model, single regression coefficient</b>			
<b>Analysis:</b>	A priori: Compute required sample size		
	Tail(s)	=	One
	Effect size f <sup>2</sup>	=	0.2
<b>Input:</b>	$\alpha$ err prob	=	0.05
	Power (1- $\beta$ err prob)	=	0.95
	Number of predictors	=	4
	Noncentrality parameter $\delta$	=	3.3466401
	Critical t	=	1.675285
<b>Output:</b>	Df	=	51
	Total, sample size	=	56
	Actual power	=	0.951229

Table 1 – Parameters used on sampling trough multivariate regression.

A multivariate linear regression was chosen for the sampling process, because the experimental test present 4 explanatory variables also known as predictors, which in this case are the number of: True Positives, False Negatives, False Positives and True Negatives that occur in the detection applied over 400 images. In addition, there will exist a relationship between the variables of interest (precision, recall, F1, accuracy, specificity) and the explanatory variables. For the present work, the G \* Power software of the University of California in Los Angeles was used, table 1 shows a summary of the process carried out with their respective results, which shown that 56 tests had to be

performed in order to achieve a small effect size, 35 to 40 tests to achieve a medium effect size and 20 tests or less to achieve a large effect size. But in this case, it was possible to carry out tests with 58 people, so a small effect size was achieved. Figure 8 shows the regression graph obtained after applying the sampling model (Cárdenas Castro, 2014), and Figure 9 shows tests applied on people.

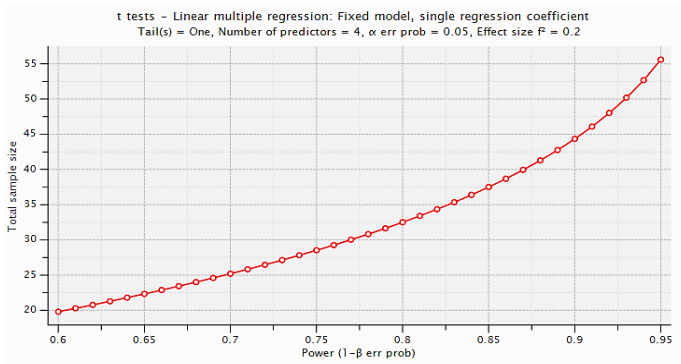


Figure 8 – Regression graph of the sampling process.

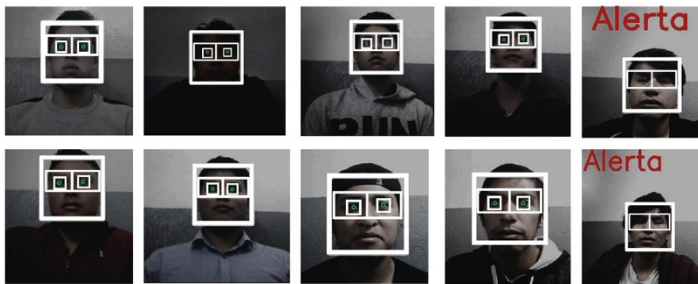


Figure 9 – Experimental detector tests applied in people.

The obtained data after applying experimental tests in 58 people, was treated by using the R Studio software, where the obtained data was validated. First, the Mahalanobis distances were obtained for each observation, which allowed to discard the outliers that are too far from the centroid of the data. In this way, a cut off score of 20.51 was set, based on the  $\chi^2$  distribution, for a quantile statistic of 0.999. Using this procedure, 4 outliers were found and removed from the database, and the final data set was made of 54 confusion matrixes.

Each confusion matrix was constituted of four variables: number of true positives, number of true negatives, number of false positives and the number of false negatives accounted in a set of 400 images of each of the 54 people. The structure of the confusion matrixes is presented in table2.



		Detector interpretation	
		Confusion matrix	
Real driver values		Positive (Drowsy driver)	Negative (Non-drowsy driver)
	Positive (Drowsy driver)	True positive (TP) 19687	True Negative (TN) 2440
	Negative (Non-drowsy driver)	False Positive (FP) 1112	False Negative (FN) 18360

Table 2 – Drowsiness detection confusion matrix.

Additionally, in order to visualize the correlation, histogram and density that exists between the 4 variables, a bivariate correlation matrix was obtained, using *pairs.panels* function in R Studio. In Figure 10, it can be seen that that true positive and true negative variables are very well correlated, with a near-perfect negative Pearson correlation close to -1 and a linearity is clearly observed, which was expected considering both variables are applied knowing the driver is asleep, same happens with false positives and false negatives. In addition, true and false elements do not correlate (p-values of the order of  $1,608e^{-12}$ ) since there is no relationship between them because they are belong to different driver states, drowsy and non-drowsy.

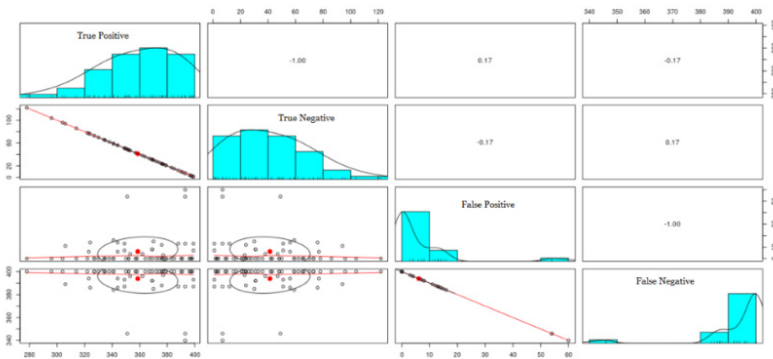


Figure 10 – Histogram density and correlation matrix.

As seen in figure 10, data obtained from experimental tests, present consistency showing the correct dependency and independency behavior for the different pairs of variables.

### 3.1. Detector performance metrics

Detector performance metrics of precision, accuracy, specificity, sensitivity and F1, were calculated based on the confusion matrix data. Equations 6 to 10 show the formulas used to calculate them.

**Precision:** This measure is known as positive predictive value since it calculates the relationship between the correct positive predictions and the total positive predictions.



$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{6}$$

**Accuracy:** This measurement calculates the total success rate and results in the effectiveness value of the algorithm.

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \tag{7}$$

**Specificity:** It is known as the true negative rate, which is the proportion of real negatives that are correctly identified since, the more true negatives the data has, the greater the specificity is.

$$specificity = \frac{TN}{TN + FP} \tag{8}$$

**Recall:** This measure calculates the true positive rate, because it identifies all true instances.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{9}$$

**F1:** Also known as harmonic mean precision and recovery measure, it calculates the balance between accuracy and recovery, which varies from 0 to 1.

$$F1 = \frac{2 \cdot precision \cdot recall}{precision + recall} \tag{10}$$

With the confusion matrices of the 54 people, each of the aforementioned metrics was calculated for each person and the average of each of the 54 measurements was calculated. Results are shown in Table 3.

Metric	Result
Precision	0.9465184
Accuracy	0.9146004
Specificity	0.6869372
Recall	0.5174398
F1	0.6690999

Table 3 – Calculation results of detector performance metrics.

Additionally, the reliability of the obtained data was verified. For this purpose, a reliability analysis was performed obtaining the Cronbach's alpha measure. To execute the analysis by Cronbach's alpha, the correlation sufficiency and sampling sufficiency assumptions were verified. The correlation sufficiency was verified by means of the Bartlett test where a p-value of  $2,54864e^{-26}$  was obtained, so correlation sufficiency was accepted. Sampling adequacy was verified by the Kaise-Meyer-Olkin test where a value of 0.73 was obtained, which falls in the category of acceptable. Finally, the result of Cronbach's alpha analysis gave a raw-alpha of 0.91 which shows the obtained measurements are reliable.

### 3.2. ROC curve

Finally, the ROC curve or receiver operating characteristic curve was obtained, in order to show the performance of the classification model in all the possible classification thresholds. For this purpose, a regression function  $f(x)$  was obtained based on the experimental data, which allowed to obtain the area under the curve (AUC).

$$f(x) = 0.04088 + 5.266725x - 14.4728x^2 + 15.15215x^3 - 5.703825x^4 \quad (11)$$

$$AUC = \int_0^1 f(x) dx \quad (11)$$

As a result, an AUC of 0.847 was obtained which is optimal since this value is close to 1. Figure 11 shows the ROC curve of the developed prototype.

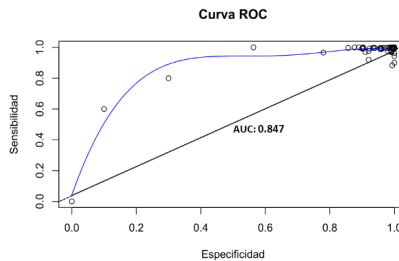


Figure 11 – ROC curve.

## 4. Discussion

The application developed in this study employs commonly used techniques but differs on the configuration. (Kumar & Bhowmick, 2009) detects the face using template matching and pupil is extracted using Euler's number, whereas in this work face detection is performed using the Haar cascade detector of OpenCV library, eyes ROI is extracted by simple algebraic operations and template matching is used for pupil detection. This configuration, let us achieve faster drowsiness detection of 32 fps and less computation average time of 31.25 ms for the whole process which includes: (1) image acquisition,

(2) preprocessing, (3) face Haar cascade face detection, (4) eye ROI extraction, (5) template matching pupil detection and tracking. Additionally, compared with the neural network based techniques, this solution keeps being acceptable since currently the deployment of complex neural networks structures keeps being limited by computational resources achieving drowsiness detection speeds in the order of 10 to 25 fps, while this prototype achieves faster detection with similar or higher mean precision and accuracy values of 94.65% and 91.46%. Finally, applications like the presented in (Abulkhair, Salman, & Ibrahim, 2015) were developed widely but some of them uses specific SDK's and depend on specific hardware, like Snapdragon or Microsoft Azure, which is not suitable for the majority of the existing devices. However, this application was developed based on a totally open sourced library which is OpenCV.

## 5. Conclusions

From this study it can be concluded that, the study of several techniques and methods of drowsiness detection, allowed us defining the technique to be used in the prototype and the type of software integration necessary, in order to develop the proposed mobile application.

The technique implemented in the drowsiness detection algorithm was template matching pupil detection because of its performance and speed. On the other hand, it was proven that led light illumination applied technique solved effectively the problem of low luminosity in night driving. Finally, the prototype is capable to emit an audible alert, in order to alert the drowsy drivers, so the main goals of this implementation were achieved.

By applying the multivariate linear regression model, the sample size was delimited in 58 person, the same value that served to carry out the prototype tests, followed by the calculation of performance metrics in each of them using RStudio, allowing to validate some of the most known metrics achieving excellent values which are: a 0.9465184 of precision, 0.9146004 of accuracy, 0.6869372 of sensitivity, 0.5174398 of specificity, a F1 of 0.6690999 and finally an AUC of 0.847.

The mobile application prototype works properly offering optimal results, however, the implementation of nighttime sleep detection with the support of infrared light or the adaptation of an external infrared camera is proposed as future work, in order to improve the prototype accuracy.

## References

- Brandt, T., Stemmer, R., & Rakotonirainy, A. (2004). Affordable visual driver monitoring system for fatigue and monotony. *2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No.04CH37583)*, 7, 6451-6456 vol.7. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2004.1401415>
- Cárdenas Castro, J. M. (2014). Potencia estadística y cálculo del tamaño del efecto en G\*Power: Complementos a las pruebas de significación estadística y su aplicación en psicología. *Salud & Sociedad*, 5(2), 210-244. <https://doi.org/10.22199/S07187475.2014.0002.00006>

- D’Orazio, T., Leo, M., & Distanto, A. (2004). Eye detection in face images for a driver vigilance system. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2004*, 95-98. <https://doi.org/10.1109/IVS.2004.1336362>
- Galarza, E., Egas, F., Silva, F., Velasco, P., & Galarza, E. (2018). *Real Time Driver Drowsiness Detection Based on Driver’s Face Image Behavior Using a System of Human Computer Interaction Implemented in a Smartphone* (pp. 563-572). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7_53)
- Grace, R., & Steward, S. (2017). *Drowsy Driver Monitor and Warning System*. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1010>
- Ji, Q. (2002). Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking for Monitoring Driver Vigilance. *Real-Time Imaging*, 8(5), 357-377. <https://doi.org/10.1006/rtim.2002.0279>
- Ji, Q., Zhu, Z., & Lan, P. (2004). Real-Time Nonintrusive Monitoring and Prediction of Driver Fatigue. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 53(4), 1052-1068. <https://doi.org/10.1109/TVT.2004.830974>
- Lucía, A. (2013). *FFT: Transformada Rápida de Fourier*. 3. *Opencv\_tutorials.pdf*. (s. f.). Recuperado 3 de febrero de 2020, de [https://docs.opencv.org/2.4/opencv\\_tutorials.pdf](https://docs.opencv.org/2.4/opencv_tutorials.pdf)
- Wen-Bing Horng, Chih-Yuan Chen, Yi Chang, & Chun-Hai Fan. (2004). Driver fatigue detection based on eye tracking and dynamic template matching. *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, 2004*, 1, 7-12. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2004.1297400>
- Herrera-Granda, E. P., Caraguay-Procel, J. A., Granda-Gudiño, P. D., Herrera-Granda, I. D., Lorente-Leyva, L. L., Peluffo-Ordóñez, D. H., & Revelo-Fuelagán, J. (2019). Drowsiness Detection in Drivers Through Real-Time Image Processing of the Human Eye. *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 626-637). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14799-0\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14799-0_54)
- Herrera-Granda, E. P., Herrera-Granda, I. D., García-Santillán, I., Lorente-Leyva, L. L., Granda-Gudiño, P. D., & Caraguay-Procel, J. A. (2019, abril). Implementación de un Sistema de Visión Artificial y Seguimiento de Objetivos Humanos, utilizando un cuadricóptero. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, E19, 198-211.
- Abulkhair, M., Salman, H., & Ibrahim, L. (2015). Using Mobile Platform to Detect and Alerts Driver Fatigue. *International Journal of Computer Applications*, 123(8), 27-35. doi:10.5120/ijca2015905428
- Jabbar, R., Al-Khalifa, K., Kharbeche, M., Alhajyaseen, W., Jafari, M., & Jiang, S. (2018). Real-time Driver Drowsiness Detection for Android Application Using Deep Neural Networks Techniques. *Procedia Computer Science*(130), 400 - 407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.060>

- Kumar, C., & Bhowmick, B. (2009). An Application for Driver Drowsiness Identification based on Pupil Detection using IR Camera. Proceedings of the First International Conference on Intelligent Human Computer Interaction (págs. 73-82). Allahabad, India: Springer.
- Wijnands, J., Thompson, J., Nice, K., Aschwanden, G., & Steevenson, M. (2019). Real-time monitoring of driver drowsiness on mobile platforms using 3D neural networks. *Neural Computing and Applications*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1007/s00521-019-04506-0>

# Selección de un material de cambio de fase mediante el uso del método de selección multicriterio para su uso en un sistema de almacenamiento térmico automotriz

Andrés Méndez<sup>1</sup>, Javier Martínez-Gómez<sup>1, 2</sup>, Francisco Rodríguez<sup>3</sup>,  
Juan Francisco Nicolalde<sup>1</sup>

amendez.mdm@uisek.edu.ec, javiermtnezg@gmail.com, agostoclavijo@gmail.com,  
jnicolalde.mdm@uisek.edu.ec

<sup>1</sup> Universidad internacional SEK, Quito Albert Einstein s/n and 5th, Ecuador.

<sup>2</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 170143, Quito, Ecuador.

**Pages: 113–125**

**Resumen:** La temperatura que un automóvil puede alcanzar en su interior es de entre 25°C hasta 40°C en ciertas circunstancias ambientales, por esta razón se han efectuado estudios en el campo de la ciencia de materiales que permitan controlar el ambiente interior de un auto. Este estudio propone el uso de materiales de cambio de fase mediante la selección multicriterio con el fin de aplicarlos en aislamiento térmico, para controlar la temperatura interior del vehículo cuando este se encuentre estacionado. Partiendo de una lista de materiales candidatos, mediante el análisis multicriterio se determina el mejor material que cumpla con el objetivo de controlar constantemente la temperatura interior de un automóvil. Teniendo en cuenta que el material de cambio de fase no se requiere de un sistema de control eléctrico que elevaría el costo de un automóvil. Se determinó que el material de cambio de fase ideal para esta aplicación es la parafina, dado su punto de fusión que es de 37°C

**Palabras-clave:** automóvil; métodos de análisis multi-criterio; almacenamiento térmico; eficiencia térmica.

***Phase change material selection by using the multi-criteria selection method for use in an automotive thermal storage system***

**Abstract:** The temperature that a car can reach inside is between 25 °C to 40 °C in certain environmental circumstances, for this reason, studies has been carried out in the field of materials science that allows to control the interior environment of a car. This study proposes the use of phase change materials chosen through multicriteria selection in order to apply them in thermal insulation, to control the interior temperature of the vehicle when it is parked. Starting from a list of candidate

materials, the best material that meets the objective of constantly controlling the interior temperature of a car is determined by multicriteria analysis, taking into account that when using a thermal insulation based on a phase change material, heat electric control systems that raises the cost of a car are no longer needed. It was determined that the ideal phase change materials for this application is paraffin, given its melting point that is 37 °C.

**Keywords:** car; multi-criteria analysis methods; thermal storage; thermal efficiency.

## 1. Introducción

El almacenamiento de energía térmica es un método de acumulación de energía que aprovecha el calor, subiendo o bajando la temperatura de una sustancia y cambiando su fase, el calor que se usa para este efecto se puede aprovechar al devolverlo en el momento necesario (Godoy-Vaca et al., 2017; Villacís et al., 2015).

Los materiales de cambio de fase o PCM, según sus siglas inglesas de “Phase Change Materials”, son sustancias que absorben una gran cantidad de energía térmica para experimentar un cambio de estado y almacenan esta energía en forma de calor latente (Acurio et al., 2018; Martínez et al., 2017).

Estos materiales en la actualidad poseen una gran aceptación en campos alimenticios, transporte, automotriz, medica, textil; gracias a sus grandes propiedades del almacenamiento térmico (Martínez-Gómez, Guerrón, & Riofrio, 2017), (Kastillo et al., 2017). Esto se debe principalmente a que han sido desarrollados para evitar la pérdida de calor mediante la absorción o desprendimiento del mismo, teniendo la capacidad de absorber calor durante cierto tiempo y eliminar calor dentro de rangos de temperatura específicos (Gaona et al. 2017). Siendo estos desarrollados para las aplicaciones de media y baja temperatura, donde los materiales de cambio de fase tienen la capacidad de almacenar 5-14 veces más calor por unidad de volumen de almacenamiento que los demás materiales de almacenamiento de calor sensible (Acurio et al., 2018). Los materiales de cambio de fase deben cumplir con características termodinámicas, cinéticas, químicas y económicas para ser viable.

Los materiales de cambio de fase se dividen principalmente en dos categorías; Materiales orgánicos e inorgánicos. Se conocen más de 500 PCM naturales y sintéticos, que incluyen hidratos de sal, metales, aleaciones, polialcoholes, eutécticos y parafina (Muñoz et al. 2012). Estos materiales difieren entre sí en sus rangos de temperatura de cambio de fase y sus capacidades de almacenamiento de calor.

Por otro lado, la selección inadecuada de un material podría afectar negativamente la productividad, la rentabilidad y la reputación de una organización debido a las crecientes demandas de responsabilidad extendida del productor (Aldás et al., 2019; Villacreses et al., 2017). Se observa que los objetivos y criterios en el proceso de selección de materiales a menudo están en conflicto e implica compensaciones entre factores decisivos, como propiedades deseadas, entorno operativo, proceso de producción, costo, valor de mercado, disponibilidad de fuentes de suministro y rendimiento del producto (Llanes et al., 2018; Martínez et al., 2017).

Los métodos de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) son herramientas analíticas empleadas para juzgar la mejor alternativa de un conjunto de posibilidades. MCDM es un instrumento en diseño de ingeniería debido a su adaptabilidad para diferentes aplicaciones y su capacidad de solución. La evaluación de este MCDM compara el comportamiento de los elementos de acuerdo con sus propiedades características (densidad, calor específico, costo, permeabilidad magnética, difusividad térmica, etc. en el caso de los materiales) para seleccionar la mejor alternativa para una aplicación de ingeniería dada, (Espinoza, Guayanlema, & Martínez-Gómez, J., 2018), (Rodríguez et al., 2019). Por lo tanto, los esfuerzos deben extenderse para identificar los criterios que influyen en una aplicación de ingeniería dada para eliminar alternativas inadecuadas y seleccionar la opción más adecuada utilizando un método simple y lógico (Villacreses et al., 2017).

Esta investigación desarrolla el uso de materiales de cambio de fase elegidos mediante la selección multicriterio con el fin de aplicarlos en aislamiento térmico, para controlar la temperatura interior del vehículo cuando este se encuentre estacionado. Partiendo de una lista de materiales candidatos, mediante el análisis multicriterio se determina el mejor material que cumpla con el objetivo de controlar constantemente la temperatura interior de un automóvil, teniendo en cuenta que al usar un aislamiento térmico basado en un PCM no se requiere de un sistema de control eléctrico que elevaría el costo de un automóvil. Se determinó que el PCM ideal para esta aplicación es la parafina, dado su punto de fusión que es de 37°C.

## **2. Materiales y métodos**

La condición en la cual se analizará el aislamiento térmico es en el estado de un automóvil estacionado debido a que este evento ocurre 80% del tiempo en el uso diario promedio, siendo expuesto a condiciones atmosféricas y ambientales que provocan calentamiento o enfriamiento en el interior del vehículo, reduciendo el confort de los ocupantes y provocando la demanda del uso de dispositivos de climatización del vehículo.

### **2.1. Definición del problema de toma de decisiones y MCDM**

Para poder realizar la selección de materiales mediante el método multicriterio de selección, se toma en cuenta los siguientes puntos:

- Alto calor latente, alto calor específico y alta conductividad.
- Punto de fusión en el intervalo de temperatura entre los 15°C y 40°C.
- Poco sub-enfriamiento.
- Cambios de volumen pequeños en la transición de fase.
- Estabilidad, no inflamable ni explosivo.
- Disponibilidad en grandes cantidades y a bajo costo.

Los materiales que se analizarán pertenecen a las familias de materiales orgánicos e inorgánicos, en la tabla 1 se muestran los materiales que se evaluarán con sus características principales. A los materiales de la tabla 1 se les asigna un código, con la letra M y un número respetando el orden. De igual forma a los criterios se les asigna la letra C y un número de igual forma, donde se obtendrá una matriz X.



<b>Materiales (M)</b>	<b>Conductividad térmica W/mK (C1)</b>	<b>Punto de fusión °C (C2)</b>	<b>Calor latente KJ/kg (C3)</b>	<b>Calor específico KJ/kg.k (C4)</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup> (C5)</b>
<i>Parafina (M1)</i>	30	37	70	2.5	900
<i>Parafina cera (M2)</i>	16.6	37	127	1.98	789
<i>Na2SO4 (M3)</i>	0.5	32.4	254	0.80	2660
<i>CaHPO4 (M4)</i>	0.5	25	127	0.78	2930
<i>MgSO4 (M5)</i>	0.5	30	136	0.95	2660
<i>Compuesto de grafito (M6)</i>	0.29	0.185	44	1.98	789
<i>Parafina/espuma de cobre (M7)</i>	0.2	180	37	42	400

Tabla 1 – Matriz de materiales y criterios a ponderar.

El problema de la selección de un material se resolverá mediante la utilización del método multicriterio para la selección de materiales, donde se utilizarán métodos de evaluación cualitativos y cuantitativos, siendo los cuantitativos aquellos que tomarán una realidad objetiva y estática estudiando las relaciones entre las variables existentes que pueden ser cuantificadas, mientras que los cualitativos estudiarán la parte cualitativa de las variables y permitirán obtener información sobre distintos juicios de los materiales (Moreno et al. 2019).

Existen varios métodos multicriterio de acuerdo a varios autores, y cada uno se aplica a una situación distinta y particular, para este estudio se van a aplicar los métodos que brindan una mejor respuesta al momento de seleccionar materiales para una aplicación determinada.

## 2.2. Método de Desviación estándar

Una vez obtenida la matriz de decisión se realizará el cálculo de la desviación estándar, toda la información de este método viene explicada en Villacreses et al. (2019).

## 2.3. Método VIKOR

El método VIKOR considera la cercanía a la solución ideal para clasificar el método alternativo. El valor más cercano a cero corresponde a la mejor alternativa. Toda la información sobre la metodología VIKOR puede encontrarse resumida en Beltrán & Martínez-Gómez (2019).

## 2.4. Método TOPSIS

Este método se enfoca en identificar la alternativa correcta de acuerdo con la distancia entre las soluciones ideales y anti-ideales. El porcentaje más alto corresponde a la mejor alternativa. La metodología TOPSIS se estructura y se explica en Villacreses et al. (2017).

## 2.5. Método COPRAS-G

El método COPRAS-G es un método MCDM que aplica números grises para evaluar varias alternativas de una aplicación de ingeniería. Los números grises son una sección de la teoría gris para confrontar información insuficiente o incompleta. El nivel de incertidumbre se puede expresar mediante tres números: blanco, gris y negro. La mejor alternativa se asigna de acuerdo con el valor máximo del 100%. Toda la información sobre el método puede encontrarse en Chingo & Martínez-Gómez (2020).

## 2.6. Método PROMETHEE II

Dentro de los métodos de relación de superación, ocupan un lugar muy destacados los métodos PROMETHEE II (Prereference Ranking Organisation Methods for Enrichment Evaluations en inglés) para la ayuda de la decisión multicriterio. El método PROMETHEE II resuelve el problema dando una solución completa en orden de jerarquía de solución. La metodología PROMETHEE II se estructura y se explica en Martínez-Gómez, J. (2018).

## 2.7. Coeficiente de Correlación de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman, es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias (tanto continuas como discretas). Evalúa qué tan bien se puede describir la relación entre dos variables usando una función monótona. Si no hay valores de datos repetidos, se produce una correlación perfecta de Spearman de +1 o -1 cuando cada una de las variables es una función monótona perfecta de la otra. La correlación de rango de Spearman se calcula mediante la ecuación (1).

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

Donde:

$R_s$  : Es el coeficiente de correlación de Spearman

$d_i$  : Diferencia entre los rangos de cada caso.

$n$  : Número de pares de valores.

## 3. Resultados y discusión

Siguiendo los pasos descritos en la metodología se presentan los resultados de cada método y se realiza el análisis respectivo.

### 3.1. Resultados del método de Desviación Standard

En la tabla 2 se muestran los resultados intermedios del cálculo de desviación estándar.

En la tabla 3 se muestran los pesos de la desviación estándar, tras realizar los cálculos de la metodología.

Desviación (numeral)	Valor
$\sigma_1$	7.493
$\sigma_2$	23.384
$\sigma_3$	107.500
$\sigma_4$	1.511
$\sigma_5$	1436.429

Tabla 2 – Resultados intermedios del cálculo de la desviación estándar.

W1	W2	W3	W4	W5
10.949	54.830	68.854	14.187	10.187

Tabla 3 – Pesos del método de desviación estándar.

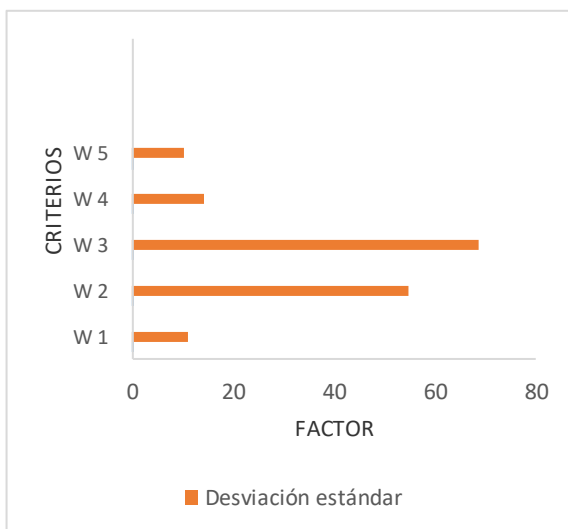


Figura 1 – Resultados de los métodos de ponderación.

En la figura 1 se muestra la gráfica de los pesos de la desviación estándar, donde se observa que los criterios de conductividad térmica (W1), punto de fusión (W2), calor latente (W3), calor específico son los más importantes, mientras que el calor específico (W4) y densidad (W5) son superiores tienen una menor importancia. Esto es debido a que la parafina tiene un alto calor específico.

### 3.2. Resultados del método VIKOR

Con los pesos calculados se realizan las operaciones para obtener la matriz normalizada del método VIKOR tabla 4 y la matriz estandarizada de pesos tabla 5.

<b>Código</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<i>M1</i>	0.87	0.19	0.19	0.05	0.18
<i>M2</i>	0.48	0.19	0.36	0.04	0.15
<i>M3</i>	0.01	0.16	0.73	0.01	0.53
<i>M4</i>	0.01	0.29	0.36	0.01	0.58
<i>M5</i>	0.01	0.15	0.39	0.23	0.53
<i>M6</i>	0.008	0.001	0.12	0.04	0.15
<i>M7</i>	0.006	0.91	0.10	0.99	0.08

Tabla 4 – Matriz normalizada de VIKOR.

<b>Código</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<i>M1</i>	0.07	0.003	0.002	0.004	0.008
<i>M2</i>	0.04	0.003	0.005	0.003	0.007
<i>M3</i>	0.001	0.003	0.10	0.001	0.05
<i>M4</i>	0.001	0.002	0.05	0.001	0.06
<i>M5</i>	0.001	0.002	0.05	0.001	0.05
<i>M6</i>	0.008	0.000	0.001	0.003	0.002
<i>M7</i>	0.005	0.016	0.001	0.07	0.001

Tabla 5 – Matriz estandarizada de VIKOR.

Luego se presenta la matriz calculada de soluciones óptimas y se presentan en las tablas  $U_i$  y  $R_i$  en la tabla 6.

<b>Solución <math>U_i</math></b>	<b>Valor</b>	<b>Solución <math>R_i</math></b>	<b>Valor</b>
$U_1$	983.41	$R_1$	817.18
$U_2$	1004.11	$R_2$	861.86
$U_3$	246.06	$R_3$	108.68
$U_4$	113.03	$R_4$	47.26
$U_5$	226.38	$R_5$	108.68
$U_6$	1057.13	$R_6$	861.68
$U_7$	1165.72	$R_7$	1018.45
$U_i$ máximo	$U_i$ mínimo	$R_i$ máximo	$R_i$ mínimo
1165.72	113.03	1018.45	47.26

Tabla 6 – Soluciones óptimas  $U_i$  y  $R_i$ .

Por último, se calcularon las soluciones  $V_{ij}$  y se las clasificó en el ranking VIKOR de la tabla 7.

Material	$V_i$	Ranking
$M_1$	0.81	2
$M_2$	0.84	3
$M_3$	0.09	6
$M_4$	0.00	7
$M_5$	0.09	5
$M_6$	0.87	4
$M_7$	1.00	1

Tabla 7 – Ranking del método VIKOR.

El método VIKOR al utilizar una secuencia de operaciones matemáticas, otorga un grado de preferencia al material que tiene las cualidades que más se aproximan a la solución ideal. En la aplicación de este método el material óptimo encontrado es el fosfato mono acido de calcio trihidratado.

### 3.3. Resultados del método TOPSIS

Ya que el método TOPSIS utiliza las matrices de VIKOR, a partir de la matriz estandarizada de pesos VIKOR se calculó la matriz de soluciones ideales que se muestra en la tabla 8.

Código	Distancia hacia la solución positiva ideal	Distancia hacia la solución negativa ideal
$M_1$	3.587	0.134
$M_2$	3.584	0.164
$M_3$	3.588	0.160
$M_4$	3.593	0.123
$M_5$	3.565	0.528
$M_6$	3.611	0.012
$M_7$	3.524	0.568

Tabla 8 – Matriz de distancias entre soluciones ideales positivas y negativas del método TOPSIS.

Por último, se realiza la matriz de ranking TOPSIS con los valores C obtenidos, los cuales se presentan en la tabla 9.

Código	Solución ideal positiva	Ranking
$M_1$	0.036	3
$M_2$	0.043	5
$M_3$	0.042	4
$M_4$	0.033	2
$M_5$	0.129	7
$M_6$	0.003	1
$M_7$	0.138	6

Tabla 9 – Ranking de soluciones del método TOPSIS.

En este caso se pudo ver que los resultados fueron casi los mismos que en la aplicación del método VIKOR, esto se debe a que estos dos métodos aplican las mismas funciones matemáticas, a pesar de esto hay una variación en el resto de posiciones de los otros materiales candidatos, esto se debe a que el método TOPSIS analiza la eficiencia de cada alternativa, lo que provoca que la calificación de los criterios varíe ligeramente, y en este caso la eficiencia del fosfato mono ácido de calcio trihidratado resulta más alta que la de los demás materiales.

### 3.4. Resultados del método COPRAS-G

Con la matriz normalizada VIKOR se realizó la matriz estandarizada para el método COPRAS-G como se muestra en la tabla 10.

Código	C1	C2	C3	C4	C5
M1	9.576	10.446	13.171	0.840	183.501
M2	5.299	10.446	24.885	0.665	160.870
M3	0.159	9.147	49.770	0.269	542.350
M4	0.159	7.058	24.885	0.262	597.400
M5	0.159	8.470	26.648	0.319	542.350
M6	0.092	0.052	8.621	0.6665	160.870
M7	0.063	50.812	7.250	14.121	81.556

Tabla 10 – Matriz estandarizada para el método COPRAS-G.

Posteriormente se obtuvo el cálculo de pesos normalizados positivos y negativos que se muestran en la tabla 11.

Código	S+	S-
M1	229.699	9.576
M2	223.413	5.299
M3	617.313	0.159
M4	670.007	0.159
M5	614.423	0.159
M6	193.264	0.092
M7	169.916	0.063

Tabla 11 – Pesos normalizados positivos y negativos.

Con la cual se calcularon las prioridades relativas que se ven en la tabla 11. A Continuación se realizó el cálculo por rendimiento y se agrupó los resultados en la tabla 12 de ranking COPRAS-G.

El material más adecuado es una sal hidratada, el fosfato mono ácido de calcio trihidratado. La razón por la cual se obtiene este resultado se debe a que el método

COPRAS utiliza umbrales ideales y no ideales para encontrar la solución óptima, y dentro de este aspecto influye mucho el valor de los pesos ponderados.

Código	Qi	Valores	Ranking
M1	229.73	37.260	4
M2	223.48	36.246	3
M3	619.45	100.468	6
M4	672.14	109.015	7
M5	616.56	100	5
M6	196.94	31.943	2
M7	175.25	28.423	1

Tabla 12 – Resultados de las prioridades relativas y del ranking COPRAS-G.

De esta forma, el peso más fuerte es el C5, que corresponde a la densidad del material, en el cual el valor más alto lo tiene el CaHPO4, lo que ubica este material en la primera posición.

### 3.5. Resultados del método PROMETHEE II

El método PROMETHEE II compara un par de alternativas, de las cuales obtiene una preferencia, la misma que es comparada con la preferencia de otra comparación, de un modo secuencial y ordenado, al final.

Código	Flujo positivo	Flujo negativo
M1	406.8	1022.8
M2	721.6	635.1
M3	434.6	1368.4
M4	1536.4	691.6
M5	2231.6	250.6
M6	89.7	1817.2
M7	561.2	196.1

Tabla 13 – Resultados de los flujos para el método PROMETHEE II.

Para el método PROMETHEE II se calcularon los flujos de positivos y negativos y se agruparon en la tabla 13 Para al final utilizar el flujo neto en el ranking PROMETHEE II como se ve en la tabla 14 y el ranking de resultados para el método PROMETHEE II. Los resultados muestran como material ideal a la sal hidratada, ya que es el material que coincide en el número de veces que ha logrado valores más altos en un número de comparaciones finitas con el resto de los materiales.

Código	Flujo neto	Ranking
<i>M1</i>	-616.02	3
<i>M2</i>	86.47	4
<i>M3</i>	-933.86	2
<i>M4</i>	844.76	7
<i>M5</i>	181.03	5
<i>M6</i>	-1727.42	1
<i>M7</i>	365.05	6

Tabla 14 – Resultados de los flujos para el método PROMETHEE II.

### 3.6. Resultados del coeficiente de correlación de Spearman

Después de aplicar el método de correlación de Spearman a los resultados de los MCDM en forma emparejada, se obtuvieron los datos de la tabla 15.

	VIKOR	PUGH	TOPSIS	PROMETHEE II	COPRAS-G
<i>TOPSIS</i>	0.607	0.843	-	-	0.910
<i>PROMETHEE II</i>	0.714	0.843	0.857	-	0.892
<i>COPRAS</i>	0.607	0.910	0.892	0.785	0.785
<i>PROMETHEE</i>	0.725	0.874	0.798	0.814	8.825

Tabla 15 – Resultados del coeficiente de correlación de Spearman.

Se observó que las combinaciones de los métodos mostraron resultados positivos ascendentes, teniendo su valor más bajo en 0.607 y el más alto 0.910, esto quiere decir que existe una correlación positiva entre los resultados de los métodos, lo que a su vez significa que los distintos métodos le otorgan el mejor resultado al mismo material. Esta correlación entre los métodos indicó que los resultados de los métodos multicriterio son consistentes en el material seleccionado como material ideal, que para el presente estudio es la parafina.

## 4. Conclusiones

Al hacer uso de los métodos de selección de desviación estándar, VIKOR, TOPSIS, COPRAS-G PROMETHEE II y validados por la correlación spearman, cómo una selección multicriterio se hizo uso de una herramienta poderosa al momento de tomar decisiones sobre la selección de un material en una lista de posibles candidatos, mediante un análisis matemático entregaron una respuesta de cuál es la mejor opción, misma que cumple con los parámetros de conductividad térmica, punto de fusión, calor latente, calor específico



y densidad buscados en la aplicación determinada. En este estudio; el material que presenta las mejores características de los métodos multicriterio fue la parafina, con un valor de 0.81 otorgado en el método VIKOR, una solución ideal positiva de 0.036 en TOPSIS, un valor de 37.26 en COPRAS-G, un flujo neto de -616.02 en PROMETHEE II y una correlación Sperman positiva indicando a la parafina como el material ideal ya que esta posee las mejores propiedades para ser usada en un sistema de aislamiento térmico automotriz.

Los materiales de cambio de fase como la parafina tienen grandes posibilidades de uso en distintas industrias de nuestro país como la construcción y el transporte, ya que la implementación de estos materiales dentro de la estructura de vehículos representa una reducción de la necesidad de usar constantemente los sistemas de aire acondicionado.

Con este método de selección matemático, se obtiene un resultado que sobrepasa al criterio subjetivo, no deja espacios a la mala interpretación y puede ser verificado por quien dude de su veracidad, dando así una selección óptima entre muchos criterios tomados en cuenta.

## 5. Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto “Selección, caracterización y simulación de materiales de cambio de fase para el confort térmico, enfriamiento y almacenamiento de energía”. Este proyecto forma parte de la convocatoria INEDITA para proyectos de investigación de I + D en el campo de la energía y los materiales. Esta investigación forma parte del proyecto P121819, “Parque de Energías Renovables” fundado por la Universidad International SEK.

## Referencias

- Acurio, K., Chico-Proano, A., Martínez-Gómez, J., Ávila, C. F., Ávila, Á., & Orozco, M. (2018). Thermal performance enhancement of organic phase change materials using spent diatomite from the palm oil bleaching process as support. *Construction and Building Materials*, 192, 633-642.
- Aldás, P. S. D., Constante, J., Tapia, G. C., & Martínez-Gómez, J. (2019). Monohull ship hydrodynamic simulation using CFD. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 15(4), 417-433.
- Beltrán, R. D., & Martínez-Gómez, J. (2019). Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment. *Journal of Building Engineering*, 24, 100726.
- Chingo, C., & Martínez-Gomez, J. (2020). Material selection using multi-criteria decision making methods for geomembranes. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 16(1), 24-52.
- Espinoza, V. S., Guayanlema, V., & Martínez-Gómez, J. (2018). Energy Efficiency Plan Benefits in Ecuador: Long-range Energy Alternative Planning Model. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 52-54.

- Gaona, D., Urresta, E., Marínez, J., & Guerrón, G. (2017). Medium-temperature phase-change materials thermal characterization by the T-History method and differential scanning calorimetry. *Experimental Heat Transfer*, 30(5), 463-474.
- Godoy-Vaca, L., Almaguer, M., Martínez, J., Lobato, A., & Palme, M. (2017). Analysis of solar chimneys in different climate zones - case of social housing in Ecuador. Paper presented at the IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 245(7) doi:10.1088/1757-899X/245/7/072045 Retrieved from www.scopus.com
- Kastillo, J. P., Martínez-Gómez, J., Villacis, S. P., & Riofrio, A. J. (2017). Thermal Natural Convection Analysis of Olive Oil in Different Cookware Materials for Induction Stoves. *International Journal of Food Engineering*, 13(3).
- Martínez-Gómez, J., Guerrón, G., & Riofrio, A. J. (2017). Analysis of the “Plan Fronteras” for clean cooking in Ecuador. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(1), 135-145.
- Martínez, J., Martí-Herrero, J., Villacís, S., Riofrio, A. J., & Vaca, D. (2017). Analysis of energy, CO<sub>2</sub> emissions and economy of the technological migration for clean cooking in Ecuador. *Energy Policy*, 107, 182-187.
- Martínez-Gómez, J. (2018). Material selection for multi-tubular fixed bed reactor Fischer-Tropsch reactor. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 13(1), 1-29.
- Moreno Jiménez, G. A., Martínez-Gómez, J., Gómez Rosero, S. V., & Bustamante Villagómez, D. F. (2019). Behavioral effects on the participation of students in research projects at the area of mechanical engineering *ESPACIOS*, 40, 22-30.
- Muñoz, A., Martínez, J., Monge, M. A., Savoini, B., Pareja, R., & Radulescu, A. (2012). SANS evidence for the dispersion of nanoparticles in W-1Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and W-1La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> processed by hot isostatic pressing. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 6-9.
- Villacís, S., Martínez, J., Riofrio, A. J., Carrión, D. F., Orozco, M. A., & Vaca, D. (2015). Energy efficiency analysis of different materials for cookware commonly used in induction cookers. *Energy Procedia*, 75, 925-930.
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286.
- Villacreses, G., Martínez-Gómez, J., & Quintana, P. (2019). Geolocation of electric bikes recharging stations: City of Quito study case. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 14(4), 495-516.
- Villacreses, G., Salinas, S. S., Ortiz, W. D., Villacís, S., & Martínez-Gómez, J. (2017). Environmental Impact Assessment of Internal Combustion and Electric Engines for Maritime Transport. *Environmental Processes*, 4(4), 907-922.

# Análisis del uso de los recursos en la plataforma virtual de enseñanza aprendizaje

Kerly Ordóñez-Almeida<sup>1</sup>, Javier Guaña-Moya<sup>2</sup>, Darwin García-Herrera<sup>3</sup>,  
Darwin Naranjo-Villota<sup>4</sup>, Christian Bonilla-Morales<sup>5</sup>, Jaime Cajamarca-Yunga<sup>5</sup>

kerly.ordonez@ucacue.edu.ec, eguana953@puce.edu.ec, dggarciah@ucacue.edu.ec,  
andres.darwin@educacion.gob.ec, christian.bonilla@akroscorp.com,  
jaimecajamarca@hotmail.com

<sup>1</sup> Universidad Católica de Cuenca-Posgrado, 010103, Cuenca, Ecuador.

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170525, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Católica de Cuenca-Posgrado-Educación, 030102, Azogues, Ecuador.

<sup>4</sup> Ministerio de Educación Zona 1, 04D30, Carchi, Ecuador.

<sup>5</sup> Akros Cía. Ltda., 170606, Quito, Ecuador.

**Pages: 126–136**

**Resumen:** En el presente documento se analiza el uso de los recursos disponibles en la Plataforma Virtual de Enseñanza Aprendizaje EVEA, en el nivel docente que está designado con el rol: Profesor, en los ciclos 2018-1 (septiembre 2018– febrero 2019) y 2018-2 (marzo 2019 – agosto 2019), donde se muestra las actividades y recursos que más han sido utilizados y, sobre todo, el valor que generan en las modalidades existentes: presencial y semipresencial. Se analiza también el nivel de participación de la planta docente en el uso de tecnologías de la información provistas en la plataforma, que respalden la cátedra. Se demuestra mediante seis análisis cómo ha evolucionado el uso de la plataforma en los semestres detallados, estos fueron basado en: mayor uso, uso por actividad y recurso, uso por sedes y extensiones institucionales, uso por unidad académica, uso por carrera; y, uso por docente y carrera. Se evidencia que a mediano plazo la plataforma EVEA requerirá de mayores recursos tanto humanos como de infraestructura tecnológica, ya que el mismo crece de una manera sostenible.

**Palabras-clave:** universidad; EVEA; plataforma; moodle.

***Analysis of the use of resources in the virtual teaching-learning platform of the Universidad Católica de Cuenca during the 2018-2019 semesters of the Professor role***

**Abstract:** This document analyzes the use of the resources available in the Virtual Teaching Learning Platform EVEA, at the teaching level that is designated with the role: Professor, in the 2018-1 cycles (September 2018– February 2019) and 2018- 2 (March 2019 - August 2019), which shows the activities and

resources that have been used the most and, above all, the value they generate in the existing modalities: face-to-face and blended. The level of participation of the teaching staff in the use of information technologies provided on the platform, which support the chair, is also analyzed. It is demonstrated through six analyzes, how the use of the platform has evolved in the detailed semesters, these were based on: greater use, use by activity and resource, use by headquarters and institutional extensions, use by academic unit, use by career; and, use by teacher and career. The hypothesis is that in the medium term the EVEA will require greater resources both human and technological infrastructure, as it grows in a sustainable way.

**Keywords:** university; EVEA; platform; moodle.

## 1. Introducción

La incorporación de la tecnología en el medio social ha impactado de manera progresiva en la experiencia, desarrollo e innovación, tanto así que en Latinoamérica cada día se obtiene un aprendizaje significativo, mejorando continuamente la calidad en las instituciones de Educación Superior, gracias a las nuevas modalidades de aprendizaje y actividades académicas que se llevan a cabo día a día, esto conlleva a impulsar a los usuarios en este caso docentes y estudiantes a que siempre se encuentren en constantes actualizaciones, para así estar a la vanguardia y acorde a las nuevas tecnología (Aguaded & Almenara, 2014), (Guaña-Moya, 2015).

Por la década de los años setenta en escala mundial, se produjo un cambio significativo en la educación, al insertarse el uso intensivo de las metodologías de enseñanza aprendizaje en niveles educativos superiores, esto se llevó a cabo mediante un modelo unimodal semipresencial público (Moya, 2016), (Moya E. J., 2017). La educación semipresencial asumió el beneficio que aporta las nuevas metodologías haciéndolas significativas, explorando por medio de materiales didácticos escritos; sin embargo, ya se escuchaba el cambio de nombre a los profesores de aquella época como tutores. Los mismos se encontraban distribuidos en todo el país, por lo que, aparte de impartir las clases, realizaban evaluaciones de los aprendizajes, ya que los exámenes se estructuraban para su realización presencial bajo este modelo educativo. La educación virtual universitaria de aquellos años no requirió de exámenes de selección como en las universidades presenciales.

De los estudiantes que eran excluidos del acceso público a la educación, la gran mayoría son de bajo nivel económico, limitándolos a acceder al modelo de tipo dual, dividido por un sector público con examen de ingreso y otro privado con matrícula arancelada.

Por otra parte, en la época de los años noventa en Latinoamérica, un nuevo escenario se planteaba en la educación a partir de la innovación de nuevas tendencias tecnológicas de información y comunicación que permitía la educación *virtualizada*, llevando a nuevas modalidades más complejas y diversas. Gracias a la nueva educación que se encontraba en aceptación, las instituciones educativas particulares cada vez afloraban con más auge en el medio social permitiendo al usuario tener elección, ya que los costos se abarataban de manera acelerada obteniendo la motivación al estudiante a la educación (Rama, 2012).

En Ecuador, actualmente se desarrollan políticas que permiten la incorporación de las tecnologías de la información y comunicación en el área educativa, de esta forma la infraestructura, el equipamiento de laboratorios informáticos con software educativo e implementación de aulas virtuales se ve incrementado, por lo que la capacitación y actualización docente es una prioridad latente para toda Institución Educativa (Gonzales Prado, Trelles Zambrano, & Mora Oleas, 2017).

En la Universidad Católica de Cuenca situada en la Ciudad de Cuenca se trabaja apegado a las políticas gubernamentales y acorde al contexto nacional, en la actualidad se cuenta con una plataforma virtual educativa personalizada basada en la Moodle.

El objetivo del presente trabajo investigativo es conocer cuáles son las actividades y recursos más utilizados por los tutores en el EVEA y el uso que le dan a la herramienta virtual tanto en la modalidad presencial como a distancia.

## **2. Métodos y metodología**

La investigación realizada fue de tipo exploratorio, descriptiva y de corte longitudinal, la principal vertiente de la cual se extrajo la información fue la plataforma Moodle y los reportes que trae implícitos la misma.

Los semestres analizados fueron: 2018-2019 (2018-1) y 2019-2019 (2018-2), donde a través de los datos disponibles en la Jefatura de Acreditación y Calidad de la Universidad Católica de Cuenca, se conoce que un total de 878 docentes laboraron en los semestres 2018-2019 (2018-1) y 2019-2019 (2018-2) de los cuales 39.93% son mujeres y el 60.07% son hombres, el número de alumnos en el semestre (2018-1) es de 14.035 y en el semestre (2018-2) es de 14.250 obteniendo un total entre los dos semestres de 28.285 estudiantes.

Una vez obtenida la información de los dos semestres (2018-1 - 2018-2) se unificó la misma en una sola hoja de cálculo de Microsoft Excel para el análisis de la información. El análisis estadístico descriptivo fue el principal instrumento para la formulación de resultados y el establecimiento de conclusiones.

## **3. Resultados**

Para la realización del análisis se consideró al EVEA de nivel Grado, la misma es una personalización del sistema Moodle, de código abierto, el mismo que opera de forma conjunta con el sistema de gestión académico institucional. Mediante el acceso y consulta a la base de datos del EVEA Grado Historial, como se muestra en la figura 1, se obtiene los registros de los tutores que han participado con la configuración de las actividades y recursos.

La plataforma EVEA, al tomar las mismas características de Moodle, cuenta con Categorías, Cursos, Actividades, Recursos y Roles para su funcionalidad.

Una Actividad en el EVEA, es una característica propia de un Curso, donde el usuario con rol de Estudiante y otro con el rol de Profesor, tienen una participación definida y obligatoria por calificación.

Un Recurso en el EVEA, es una característica propia de un Curso, la misma que le permite a un usuario con rol de Profesor, publicar contenido que otro usuario con rol de Estudiante, puede consumir sin obligatoriedad de calificación.

The screenshot shows the 'Reporte de Actividades' interface in the EVEA system. At the top, there is a navigation bar with 'EVEA' and 'Recursos Moodle' menus. The main content area is titled 'Reporte de Actividades' and contains several form fields: 'Categoría' (set to 'Miscelánea'), 'Dirección de correo' (empty), 'Actividades' (set to 'Todas las actividades'), 'Fecha desde' (1 marzo 2018), and 'Fecha hasta' (30 agosto 2018). There are also checkboxes for 'Habilitar' next to the date fields. A 'Descargar' button is located at the bottom of the form.

Figura 1 – Reporte de actividades.

Dentro de las actividades disponibles en el EVEA, se tiene: base de datos, wikis, y glosarios, como actividades activas; si se trata de herramientas de comunicación asíncronas presenta los chats, foros y herramientas de autoevaluación. También cuenta con herramientas de evaluación por rúbrica como los cuestionarios, tareas y talleres.

Para actividades de colaboración instantánea mediante video llamadas o video conferencia, se tiene al servicio Zoom Meeting, permitiendo la interacción entre los diferentes usuarios conectados. Por otra parte, los paquetes Scorm permiten al usuario compartir un modelo de referencia de objetos de contenidos, los cuales pueden ser documentos, audios, videos o presentaciones.

También se tiene el paquete de actividades h5p que permiten crear materiales interactivos educativos tales como: presentaciones interactivas, videos interactivos, líneas de tiempo, grabaciones de audio y gráficas, pudiendo también crear actividades como juegos y ejercicios con preguntas de todo tipo como: acertijos de preguntas y respuestas de aritmética, juegos de memoria, ejercicios de arrastrar y soltar palabras o imágenes, rellenar, marcar palabras, selección múltiple y verdadero/falso (Léris López, Veá Muniesa, & Velamazán Gimeno, 2015). En la Tabla 1. se muestra las actividades y los recursos disponibles en la plataforma.

La figura 2, muestra los recursos empleados por los tutores. Recordando, que un recurso es un objeto que un tutor puede usar para asistir el aprendizaje de sus alumnos y pueden ser: carpetas, etiquetas, libros, páginas, paquete de contenidos y URL.

En la figura 3, se aprecia el análisis de los dos semestres, donde el 2018-1 se encuentra a lado izquierdo y 2018-2 a lado derecho. Se visualiza que en el semestre 2018-2 hay un incremento en el total de actividades utilizadas en un 48.52%. Llama la atención que la Actividad Cuestionario aparentemente se reemplaza con la Actividad Lección de un semestre a otro, que tienen una parecida utilidad, pero una configuración diferente.

<b>Actividades</b>		
Base de datos		
Chat		
Consulta		
H5p		
Cuestionario		
Tarea antiplagio Turnitin		
Módulo de encuestas		
Encuestas predeterminadas	Las actividades son elementos que el tutor solicita que realice el estudiante, como puede ser algún trabajo basado en recursos que haya utilizado	
Foro		
Glosario		
Lti		
Lección		
Paquete Scorm		
Zoom meeting		
Taller		
Wiki		
<b>Recursos</b>		
Página		Los recursos son elementos que contiene información que puede ser leída, vista o bajada de la red o usada de alguna forma para extraer información de ella
Carpeta		
Etiqueta		
Libro		
Página		
Paquete de contenido IMS		
Url		

Tabla 1 – Actividades y recursos disponible en la plataforma.

En la misma medida, el uso de paquetes Scorm en la plataforma para el segundo semestre es significativo, sin duda, fruto de las capacitaciones sobre objetos de aprendizaje que se prestó en dicho semestre. Para los siguientes análisis se consolida los datos disponibles de ambos semestres para verificar el uso por unidad académica, carrera y sede.

Del total de tutores participantes se analiza el porcentaje de cuatro de las actividades más destacadas. El resultado muestra que la Actividad Tarea es la más utilizada por su sencillez de configuración y usabilidad. Continúa la Actividad Foros con un 20.06 %, la Actividad Scorm con el 18.85 % y por último la Actividad Lección, que se encuentra con un 12.5%, tal como se evidencia en la figura 4.

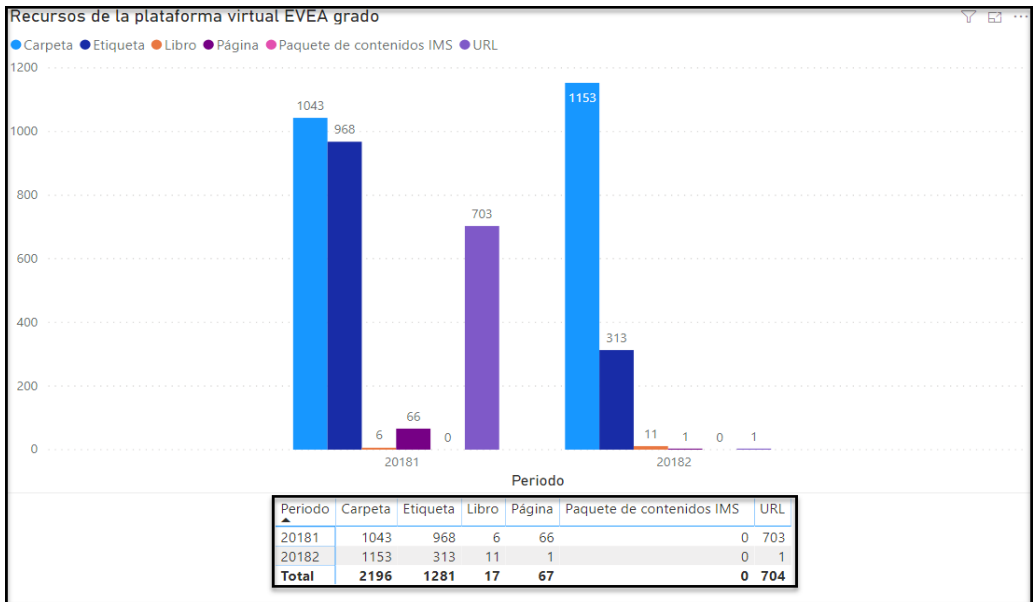


Figura 2 – Recursos que han sido empleados por los tutores.

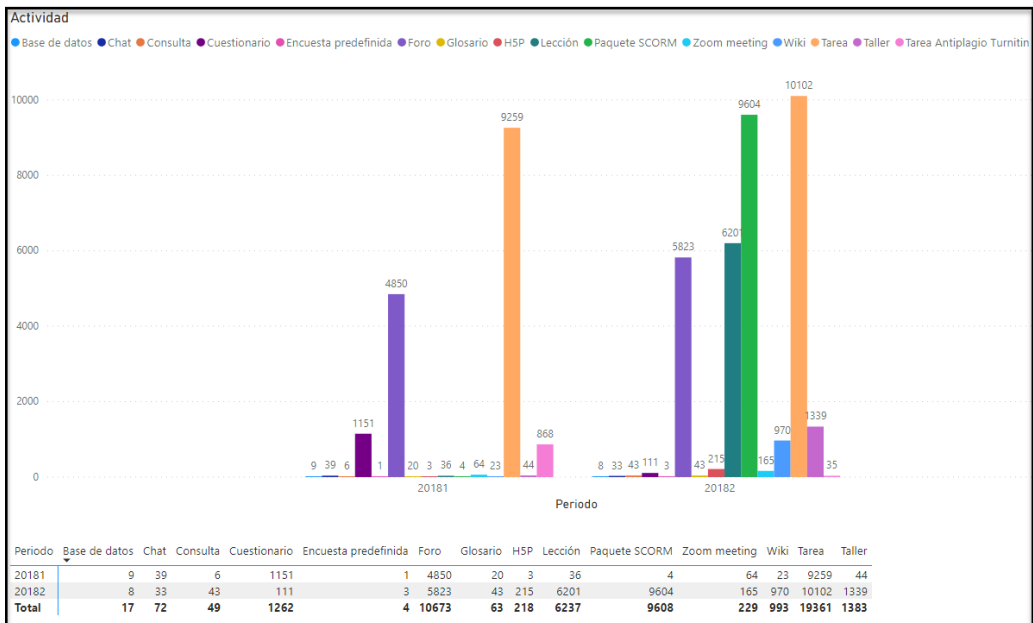


Figura 3 – Total, actividades y periodos académicos.



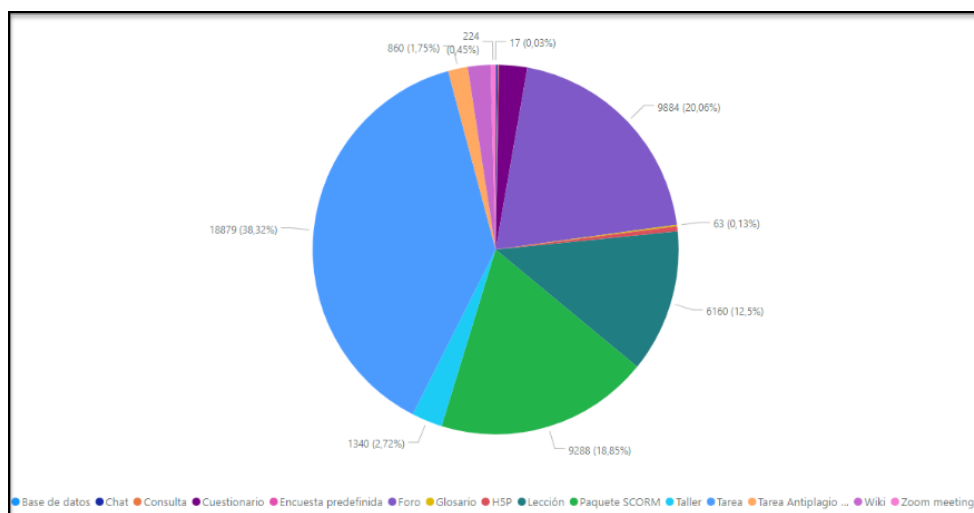


Figura 4 – Uso de actividades destacadas.

Las sedes y extensiones de la Universidad Católica de Cuenca que hacen uso de la plataforma EVEA, y que, son parte del análisis son: Matriz Cuenca, Sede Azogues y Macas, Extensión Cañar y San Pablo de La Troncal.

La figura 5 nos detalla que los docentes de Matriz son quienes más utilizan el sistema en términos de cantidad, aunque no necesariamente en términos de densidad, principalmente se debe a que concentra la mayor cantidad de docentes. Le sigue la Sede Azogues con un 17.69 % y Macas con el 3.08 %. Respecto a las extensiones se tiene que San Pablo de la Troncal se encuentra con un porcentaje del 2.93% y Cañar con 1.23%.

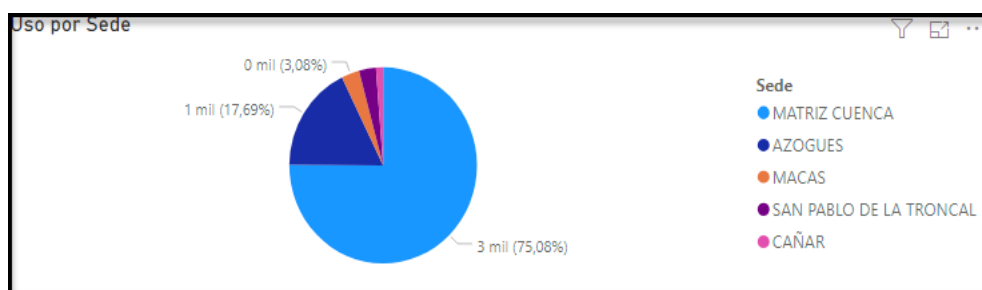


Figura 5 – Total de actividades por sedes.

El 57.15% de los tutores que utilizan las actividades disponibles están en la Unidad Académica de Salud y Bienestar, seguido por la U.A de Administración con el 12.93%, la U.A de Educación con un 8.17% y la U.A de Ciencias Sociales con el 7.83%. El detalle se visualiza en la figura 6.

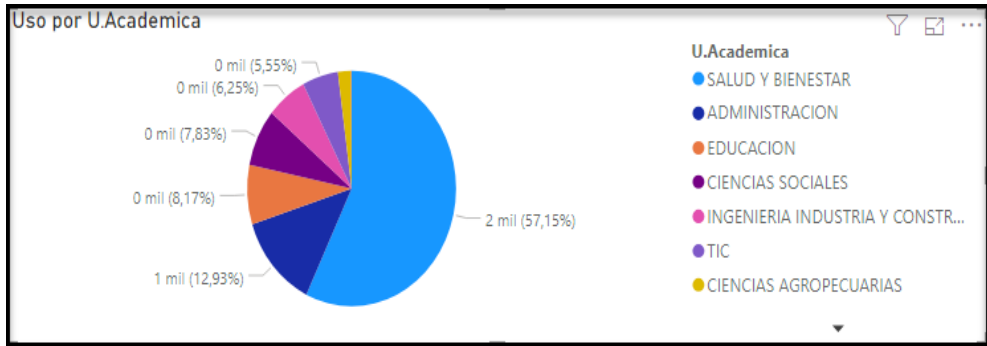


Figura 6 – Total de actividades por unidades académicas.

En la figura 7 se indica el uso de actividades por carreras, se mencionará las cinco principales; la carrera de enfermería se encuentra con el 18.58% de utilidad, seguida por medicina con el 12.86%, continúa la carrera de odontología con el 11.87%, del mismo modo se tiene a educación en línea con el 5.89 % y la carrera de tic con el 5.55%. cabe mencionar que en los semestres (20181-20182) en la carrera de enfermería existían 3.425 estudiantes matriculados mientras que en el mismo semestre la carrera de tic se encontraba con 605 estudiantes matriculados, claramente se puede notar el gran uso de las actividades por la carrera de tic aun así teniendo un menor número de estudiantes matriculados.

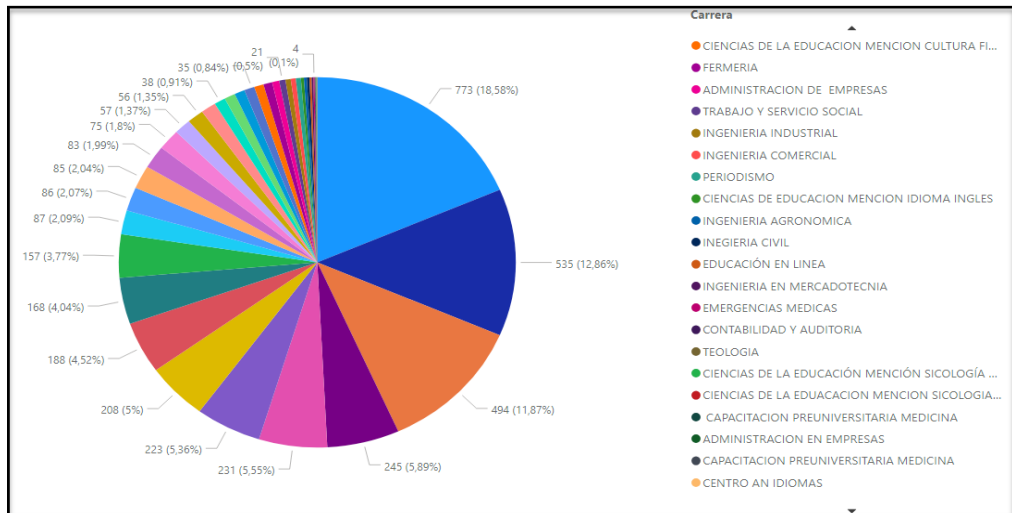


Figura 7 – Uso de actividades por carrera.

Por otra parte, se obtiene el análisis de mayor uso de actividades por tutores de acuerdo a cada carrera, la figura 8 muestra que los tutores que más han utilizado las actividades,

son de medicina con un 14.99%, seguido por los tutores de odontología con un 11.48%, en tercer lugar, se encuentran los tutores de derecho con el 9.49%, de igual forma está enfermería con el 8.27% y sicología clínica con 5.02%.

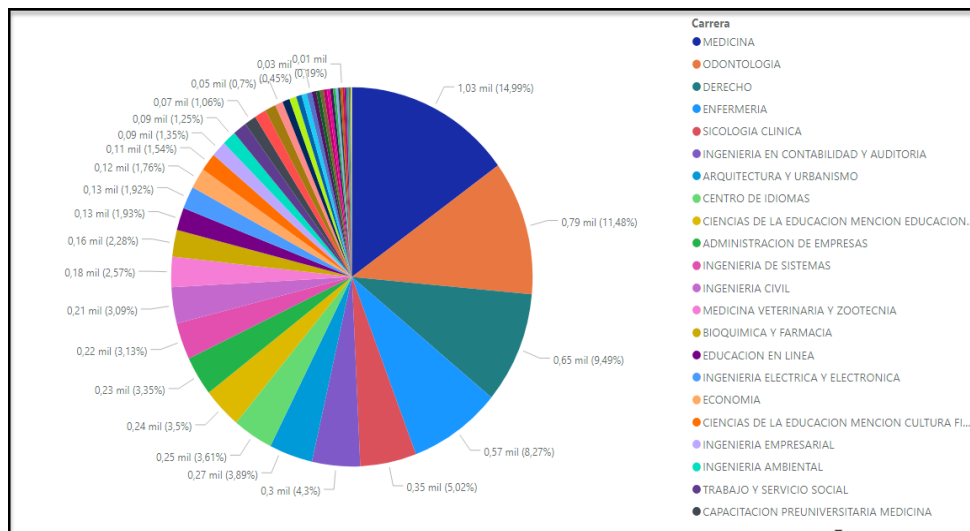


Figura 8 – Uso de actividades por tutores de acuerdo a cada carrera.

#### 4. Conclusión

Los docentes de la Universidad Católica de Cuenca incrementan y diversifican el uso de la plataforma en general.

La actividad más destacada es la Tarea, con el 38.32 % del total de actividades por su facilidad de uso e interacción directa entre estudiante – tutor. Por otra parte, los tutores que más uso le dan a las actividades virtuales están en la Matriz Cuenca con el 75.08%, cabe mencionar que este análisis es ya evidente antes de obtener el resultado por el mismo hecho de tratarse del campus con mayor presencia docente.

En el caso de las extensiones, San pablo de la Troncal con 1,020 estudiantes matriculados, la utilización de la plataforma es menor en términos de densidad que la extensión Cañar con 1,543 estudiantes matriculados en los semestres (20181-20182).

Por otra parte, la Unidad Académica de Salud y Bienestar, evidencia un 57.15% de utilización en comparación con el total; y dentro de esta Unidad Académica la carrera que más utiliza la plataforma es Enfermería con el 18.58%, resultado bastante lógico si se toma en consideración las gráficas expuestas en la sección de resultados, donde se evidencia que el mayor porcentaje de utilización se genera en las carreras de salud.

En el análisis de uso por parte de los tutores por carrera, prevalece Medicina con el 14.99% siendo la carrera con mayor número de estudiantes en toda la Institución.

Con estos criterios, el presente trabajo investigativo ha podido demostrar que la plataforma virtual EVEA de la Universidad Católica de Cuenca, aumenta progresivamente su uso en cada semestre, por lo que es probable la necesidad de contar con mayores recursos tanto humanos como tecnológicos, para atender y mantener el servicio estable, así como la necesidad de capacitar permanentemente a los actores del triángulo educativo.

## Referencias

- Aguaded , I., & Almenara, J. (2014). Avances y retos en la promoción de la innovación didáctica con las tecnologías emergentes e interactivas. *Raco*, 67,69.
- Correa. (2018). La integración de plataformas de e-learning en la docencia universitaria: Enseñanza, aprendizaje e investigación con Moodle en la formación inicial del profesorado. *Latinoamericana de tecnología educativa*, 10.
- Domínguez, L. C., Vega, N. V., Espitia, E. L., & Sanabria, Á. (2015). Impacto de la estrategia de aula invertida en el ambiente de aprendizaje en cirugía; una comparación con la clase magistral. *redalyc*, 10.
- Genet, M. L., & Lic. Daniel Eugenio Fonseca Quant; Lic. Carlos Ant. (2013). Impacto del uso de la Plataforma Virtual Moodle en la Carrera de Informática Educativa ofrecida por el Departamento de Informática Educativa de la Facultad de Educación e Idiomas, UNAN - Managua en la Modalidad de Profesionalización en el periodo 2008 – 2. *Revista de informática educativa*, 14.
- Gonzalez. (2006). B-Learning utilizando software libre, una alternativa viable en Educación Superior. *Universidad Autónoma de Tamaulipas. Mexico*, 5.
- Gonzales Prado, N. N., Trelles Zambrano, C. A., & Mora Oleas, J. C. (2017). Manejo Docente de las Tecnologías de la Información y Comunicación. *UIDE*, 62.
- Griffiths, L., Villarroel, R., & Ibacache, D. (2016). Implementación del modelo de aula invertida para el aprendizaje activo de la programación en ingeniería. Congreso Chileno de educación en ingenierías, 3.
- Guaña-Moya, E. J., del Rosario Llumiquinga-Quispe, S., & Ortiz-Remache, K. J. (2015). Caracterización de entornos virtuales de enseñanza aprendizaje (EVEA) en la educación virtual. *Ciencias Holguín*, 21(4), 1-16.
- Guncay, A. X. (2016). Aplicación del modelo flipped classroom para el aprendizaje de guitarra complementaria nivel 1. 132.
- Hilera & Hernández. (2006). Hacia la creación de campus virtuales accesibles. *Universidad de Alcalá*, 13.
- Léris López, D., Vea Muniesa, F., & Velamazán Gimeno, Á. (2015). Aprendizaje adaptativo en moodle: tres casos prácticos. *Redalyc*, 141, 142.
- Lorca Velueta, E. M. (2015). Propuesta de implementación de aulas virtuales, utilizando moodle como una estrategia de complemento de las clases presenciales en el Instituto Tecnológico Superior de Centla.

- Martínez. (2008). Aula Invertida o Modelo Invertido de Aprendizaje: Origen, Sustento e Implicaciones. 149.
- Moya, E. J. G., Herrera, D. G. G., & Arequipa, E. E. Q. (2017). Utopía o realidad de aplicaciones informáticas en la educación. Caso Universidad Ecuatoriana. *Revista Publicando*, 3(9), 119-137.
- Moya, E. J. G., Altamirano, J. C. V., Gualotuña, D. R. T., & Fabara, M. A. P. (2016). El analfabetismo digital en docentes limita la utilización de los EVEA. *Revista Publicando*, 3(8), 24-36.
- Muñoz Morejón, M., & Vidal Ledo, M. (2018). Proyecto Aula invertida para el desarrollo de aprendizaje significativo en la. *Convención Internacional de Salud, Cuba Salud*, 8.
- Olaizola. (2014). La clase invertida: usar las TIC para "dar vuelta" a la clase. *Facultad de Diseño y Comunicación - Universidad de Palermo*, 3.
- Pelaez & Rojas & Pérez & Torres. (2014). Las aulas virtuales: una opción para el desarrollo de la Educación Médica. *Scielo*, 1.
- Rama, C. (2012). Los caminos de las reformas. La virtualización universitaria en América Latinax. *historia de la educación latinoamericana*, 3.
- Rojas Machado, N., Clemente, F. P., Torres Milord, I., & Gómez, E. P. (2014). Las aulas virtuales: una opción para el desarrollo de la Educación Médica. *Revista Educación Médica del Centro*, 6(2), 231-247.
- Salinas. (2004). Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. *Redalyc*, 14.
- Sampedro, Marín & Ramírez &. (2011). *Moodle y estudiantes Universitarios dos nuevas realidades de IEEE*. España: Profesorado.
- Sams & Bergman . (2017). Flipped classroom en el aula de matemáticas. *Universidad de Almería*, 5.
- Serrano. (2017). Diseño de un ambiente virtual como apoyo al aprendizaje de operadores mecánicos en el grado 5° del Colegio General Santander. 14.
- Vialart, V. &. (2016). Aula invertida, nueva estrategia didáctica. *Scielo*, 1.

# Selección de material para menaje de cocina mediante métodos para la toma de decisiones multi-criterio

Francisco Rodríguez<sup>1</sup>, Javier Martínez-Gómez<sup>2,3</sup>, Ricardo A. Narváez C.<sup>3,4</sup>, Gonzalo Guerrón<sup>4,5</sup>

agostoclavijo@gmail.com, javier.martinez@uisek.edu.ec, ricardo.narvaez@geoenergia.gob.ec, gonzalo.guerron@geoenergia.gob.ec

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170143, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad internacional SEK, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), Quito, Ecuador.

<sup>4</sup> Universidad Central del Ecuador (UCE-GIIP,) 170521, Quito, Ecuador.

<sup>5</sup> Universidad UTE, 170147, Quito, Ecuador.

**Pages: 137–150**

**Resumen:** Los métodos de toma de decisiones con multi-criterio consideran diferentes parámetros característicos y criterios cualitativos para asignar importancia a cada alternativa. Esto nos ayuda a seleccionar la mejor opción para una determinada aplicación. Esta investigación estudia la aplicación de diferentes métodos de análisis multi-criterio para la clasificación de un material preferencial de la base de un utensilio de cocina de inducción. Esto es necesario para mejorar la eficiencia de la cocina de inducción con el utensilio. Esta eficiencia se mide con la eficiencia energética, el ahorro de costos, mejora de la tasa de calentamiento y la “trabajabilidad” del material. Los métodos de análisis multi-criterio implementados fueron Copras-G, Ocra, Vikor Y Topsis. La ponderación de criterios se realizó mediante un método de ponderación compuesto AHP y entropía. Con estos análisis de métodos, se obtiene una lista de todas las opciones posibles de materiales. Según los resultados, Permalloy sería el mejor material.

**Palabras-clave:** métodos de toma de decisiones con criterios múltiples; MCDM; calentamiento por inducción; Ecuador; programa de eficiencia energética para cocción.

## *Material selection for cookware by multi-criteria decision-making methods (MCDM)*

**Abstract:** Multi-criteria decision-making methods considers characteristic parameters and qualitative criteria to assign importance to each alternative in order to select the best option between all the preselected choices. This paper reports of the application of different preference ranking-based MCDM methods for the

base of an induction cookware. Selection of an appropriate material is necessary for improve the efficiency in the system cookware-induction cooker. This efficiency is measured with the energy efficiency, cost saving, high heating rate, and workability. The MCMD methods implemented are COPRAS-G, OCRA, VIKOR and TOPSIS methods. The criteria weighting was performed by compromised weighting method composed of AHP and Entropy methods. Using these methods, a list of all the possible choices from the best to the worst suitable materials is obtained taking into account different material selection criteria. According to the results, Permalloy would be the best material for the base of an induction pot.

**Keywords:** multi-criteria decision-making methods, MCDM, induction cookware, national efficient cooking program, Ecuador.

## 1. Introducción

El éxito del diseño y desarrollo de nuevos productos, el éxito y la competitividad de las organizaciones depende de los materiales seleccionados en sus operaciones (Martínez-Gómez, 2018). La cantidad de materiales con diferentes propiedades disponibles para proporcionar diferentes soluciones de diseño al ingeniero es enorme. En este sentido es importante la correcta selección de los materiales para no generar un producto de mala calidad (Acurio et al., 2018). La aplicación de enfoques matemáticos sistemáticos como los métodos de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) (MCDM se debe a siglas en inglés Multiple-criteria decision-making) pueden lograr la evaluación, selección y clasificación de los materiales alternativos para una aplicación de ingeniería dada de forma eficiente (Aldas et al. 2019).

La selección inadecuada de un material podría afectar negativamente la productividad, la rentabilidad y la reputación de una organización debido a las crecientes demandas de responsabilidad extendida del productor (Aldas et al. 2019). Se observa que los objetivos y criterios en el proceso de selección de materiales a menudo están en conflicto e implica compensaciones entre factores decisivos, como propiedades deseadas, entorno operativo, proceso de producción, costo, valor de mercado, disponibilidad de fuentes de suministro y rendimiento del producto.

Los MCDM son herramientas analíticas empleadas para juzgar la mejor alternativa de un conjunto de posibilidades. MCDM es un instrumento en diseño de ingeniería debido a su adaptabilidad para diferentes aplicaciones y su capacidad de solución (Llanes et al. 2018). La evaluación de este MCDM compara el comportamiento de los elementos de acuerdo con sus propiedades características (densidad, calor específico, costo, permeabilidad magnética, difusividad térmica, etc. en el caso de los materiales) para seleccionar la mejor alternativa para una aplicación de ingeniería dada, (Villacreses et al. 2019). Por lo tanto, los esfuerzos deben extenderse para identificar los criterios que influyen en una aplicación de ingeniería dada para eliminar alternativas inadecuadas y seleccionar la opción más adecuada utilizando un método simple y lógico (Villacreses et al. 2017).

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 1,5 millones de muertes prematuras al año están directamente asociadas con el uso de combustibles

sólidos para actividades de cocina (Martínez et al., 2017). Este problema es especialmente dañino para los niños, las personas mayores y las mujeres que pasan más tiempo cerca de las cocinas (Martínez-Gómez, Guerrón, & Riofrio, 2017). Como consecuencia, se han llevado a cabo varios programas para mejorar las técnicas de cocina en el mundo. En el caso de China, se han tomado diferentes iniciativas para cocinas nuevas más eficientes desde la década de 1980 (Rodríguez et al., 2019). En las zonas rurales de la India, se ha estudiado que alrededor del 80% del consumo total de energía es para cocinar (Martínez et al., 2017). En relación con ellos, se han llevado a cabo programas para mejorar la eficiencia y el efecto sobre las personas de las cocinas de biomasa, también se han desarrollado cocinas solares y cocinas de inducción (Martínez et al., 2017).

Sin embargo, los gobiernos de los países en desarrollo no han dedicado mucho esfuerzo a introducir la electricidad como una opción de combustible para cocinar en sus programas, lo que también estaría relacionado con el desarrollo sostenible. Recientemente en India, se realizó un estudio para introducir 4000 cocinas inducción en un área rural (Espinoza, Guayanlema, & Martínez-Gómez, J. (2018). Además, las cocinas de inducción tienen ventajas relacionadas con la seguridad, el tiempo de cocción, la limpieza después del uso y la eficiencia energética en comparación con las estufas de biomasa, las cocinas de bobina eléctrica o el GLP (Kastillo et al., 2017).

El programa más desarrollado para la cocción limpia con cocinas de inducción fue Programa de Cocción Eficente (PEC) en América del Sur. Este programa tuvo como objetivo cambiar alrededor de tres millones de cocinas basadas en GLP a estufas de inducción, como el primer programa de política energética para un país entero. El ECP está vinculado al cambio de la combinación energética, que busca la soberanía energética y el acceso a la energía limpia para Ecuador (Kastillo et al., 2017). Para todos estos cambios, el gobierno está invirtiendo US \$ 11,62 mil millones en nuevas centrales hidroeléctricas e infraestructura de transmisión para 2022. Esto representa el 11% del PIB nacional (Villacis et al., 2015). El gobierno de Ecuador promueve cocinas de inducción como una iniciativa para reducir el consumo de GLP subsidiado.

Esta investigación se centra en seleccionar un material alternativo que mejor se adapte a los requisitos tecnológicos para fabricar utensilios de cocina inducción de alta eficiencia y que tenga un buen precio para el consumidor. Típicamente un material de uso es el acero inoxidable convencional 430, y se busca un material para mejorar la eficiencia general de la cocina de inducción con el útil de cocina. Esta investigación resuelve el problema de seleccionar el material para la base usando los MCDM evaluación proporcional compleja de alternativas con relaciones grises (COPRAS-G), análisis de calificación de competitividad operativa (OCRA), solución de optimización y compromiso multicriterio (VIKOR en serbio) y métodos de orden de preferencia por similitud con la solución ideal denominado (TOPSIS). Para ello se realizó una clasificación previa de diferentes materiales alternativos para la base de un utensilio de inducción. La ponderación de criterios de selección se realizó mediante un método de ponderación compuesto por métodos de análisis jerárquico AHP y Entropía. Para estos métodos, se obtiene una lista de todas las opciones posibles, desde los mejores hasta los peores materiales adecuados, teniendo en cuenta diferentes criterios de selección de materiales.



## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Definición del problema MCDM

El calentamiento por inducción se basa en el principio del campo magnético. La cocción por inducción calienta un recipiente de cocción por inducción magnética, en lugar de por conducción térmica desde una llama o un elemento de calentamiento eléctrico. En una cocina de inducción, se coloca una bobina de alambre de cobre debajo de la olla y se pasa una corriente eléctrica alterna a través de ella. El campo magnético oscilante resultante induce un flujo magnético se induce repetidamente en la base de la olla. Esto produce grandes corrientes de Foucault en los utensilios de cocina, que, debido a la resistencia de la olla, la calienta por el efecto Joule. Para conseguir el calentamiento deseado, los materiales deben tener algunas propiedades específicas para mantener su función durante el calentamiento. Un recipiente de cocción debe estar hecho o contener un metal ferromagnético como el hierro fundido o algunos aceros inoxidable. Sin embargo, los recipientes de cobre, aceros inoxidable no magnéticos y aluminio se pueden colocar en un disco de interfaz ferromagnética que mejora la difusividad térmica de una placa calefactora convencional. Para cumplir con todos estos requisitos, se considera que la propiedad material más importante es el costo (\$/Kg), cuyos valores bajos se desean para proporcionar una ventaja competitiva entre los fabricantes. La segunda propiedad requerida es valores altos de permeabilidad relativa ( $\mu$ ) debido a magnetizar la base de la olla. Es importante una alta difusividad térmica ( $\alpha$ ), que indica qué tan rápido se transfiere el calor a través y fuera del material (Gaona et al. 2017). El límite de elasticidad ( $Y$ ) para los utensilios de cocina trabajables se desea para disminuir la energía requerida para construir los utensilios de cocina y ser un buen utensilio de cocina. La conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) es importante para la corriente de Foucault generada en la base de la olla. La densidad ( $\rho$ ) es importante para reducir el peso de la base de la olla. Conductividad térmica ( $\lambda$ ) para transferir calor de una parte de la sartén a otra de manera muy rápida y eficiente. Finalmente, el calor específico ( $C_p$ ) es importante para la transferencia de energía térmica. Entre estos ocho criterios, el costo, el límite elástico, la conductividad eléctrica y la densidad son propiedades no beneficiosas. Se tomaron en consideración ocho alternativas para la base de un utensilio de cocina de inducción: Permalloy 80, acero eléctrico sin orientación ASTM A677, Mumetal, acero inoxidable AISI 430, acero inoxidable AISI 410, hierro fundido, Co y Ni. Las propiedades requeridas para la base de una alternativa de utensilios de cocina de inducción con sus datos cuantitativos se dan en la tabla 1 y se usaron sus valores promedio.

### 2.2. MCDM

#### 2.2.1. Pesos de los criterios

Los pesos de los criterios se calculan utilizando un método de ponderación comprometido, donde se combinaron los métodos AHP y Entropía, para tener en cuenta los pesos subjetivos y objetivos de los criterios y obtener coeficientes de peso más razonables. El peso de síntesis para los criterios  $j$ th es:

Material	Coste del material [USD\$/Kg] (\$/ Kg)	Permeabilidad relativa ( $\mu$ )	Difusividad térmica [ $\cdot 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s] ( $\alpha$ )	Límite elástico [MPa] (Y)	Conductividad Eléctrica [ $\cdot 10^7$ Sm <sup>-1</sup> ] ( $\sigma$ )	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ] ( $\rho$ )	Conductividad térmica [W/mK] ( $\lambda$ )	Calor específico [kJ/kg K] ( $C_p$ )
(1) Permalloy 80 (80 % Ni, 4 % Mo, 16 % Fe)	37,5	190000	7,9	321	1,71	8,24	32,5	0,50
(2) ASTM A677 Steel M-47 No oriented Electrical Steel	0,975	11550	18,2	300	2,7	7,75	65	0,46
(3) Mumetal (77 % Ni, 4 % Mo, 14 % Fe, 5 % Cu)	38	127500	7,65	715	1,695	8,74	33,5	0,495
(4) AISI 430	1,5	850	6,95	513,5	1,6	7,8	24,9	0,46
(5) AISI 410	2	850	6,9	1180	1,7	7,8	24,7	0,46
(6) Cast Iron	0,125	425	7,4	385	9	7,18	26,6	0,505
(7) Co	30	155	21,85	225	1,6	8,8	84,6	0,44
(8) Ni	18	670	19,85	52	1,125	8,89	79	0,455

Tabla 1 – Propiedades de los materiales para la base de una cocina de inducción.

$$w_j = \frac{\alpha_j x \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j x \beta_j} \quad j = 1, \dots, n \tag{1}$$

Donde  $\alpha_j$  son los pesos de los criterios  $j$ th obtenidos vía método AHP, y  $\beta_j$  son los pesos de los  $j$ th criterios obtenidos a través del método Entropía.

### 2.2.2. Método AHP

El AHP es una técnica estructurada para tratar con decisiones complejas. En vez de prescribir la decisión «correcta», el AHP ayuda a los tomadores de decisiones a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y a su comprensión del problema. Este método establece los pesos de una alternativa sobre otros. El modelo matemático puede encontrarse desarrollado en Villacreses et al. (2017).

### 2.2.3. Método Entropía

La entropía mide la incertidumbre en la información formulada usando la teoría de la probabilidad. La entropía explica la descripción del método en y todo el desarrollo del método puede encontrarse en Martínez-Gómez (2018).

#### **2.2.4. Método COPRAS-G**

El método COPRAS-G es un método MCDM que aplica números grises para evaluar varias alternativas de una aplicación de ingeniería. Los números grises son una sección de la teoría gris para confrontar información insuficiente o incompleta. El nivel de incertidumbre se puede expresar mediante tres números: blanco, gris y negro. La mejor alternativa se asigna de acuerdo con el valor máximo del 100%. Toda la información del método puede encontrarse en Beltrán, & Martínez-Gómez (2019).

#### **2.2.5. Método OCRA**

OCRA utiliza un método intuitivo para incorporar las preferencias del tomador de decisiones sobre la importancia relativa de los criterios. En el método OCRA, en el primer paso, se determinan las calificaciones de preferencia con respecto a criterios no beneficiosos o, de entrada; en el segundo paso, se determinan las calificaciones de preferencia de los criterios de salida y en el último paso, se evalúan las calificaciones de preferencia generales de las alternativas disponibles donde se utilizan los datos cardinales y ordinales. El procedimiento general de OCRA se puede encontrar desarrollado en Villacreses et al. (2019).

#### **2.2.6. Método VIKOR**

El método VIKOR considera la cercanía a la solución ideal para clasificar el método alternativo. El valor más cercano a cero corresponde a la mejor alternativa. Toda la información sobre la metodología VIKOR puede encontrarse en Beltrán, & Martínez-Gómez (2019).

#### **2.2.7. Método TOPSIS**

Este método se enfoca en identificar la alternativa correcta de acuerdo con la distancia entre las soluciones ideales y anti-ideales. El porcentaje más alto corresponde a la mejor alternativa. La metodología TOPSIS se estructura y se explica en Martínez-Gómez (2018).

#### **2.2.8. Coeficiente de Spearman**

El coeficiente de correlación de Spearman, es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias (tanto continuas como discretas). Evalúa qué tan bien se puede describir la relación entre dos variables usando una función monótona. Si no hay valores de datos repetidos, se produce una correlación perfecta de Spearman de +1 o -1 cuando cada una de las variables es una función monótona perfecta de la otra. La correlación de rango de Spearman se calcula mediante la ecuación (2).

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

Donde:

$R_s$  es el coeficiente de correlación de Sperman,

$d_i$ : diferencia entre los rangos de cada caso.

$n$ : Número de pares de valores.

### 3. Resultados

Los resultados para los pesos de cada criterio se calcularon mediante el método AHP y el método Entropía. Los resultados alcanzados con los métodos COPRAS-G, OCRA, VIKOR y TOPSIS se comparan para determinar su convergencia y sensibilidad mediante el coeficiente de correlación de rango de Spearman.

#### 3.1. Resultados de los pesos de los criterios

El peso de cada alternativa se asignó de acuerdo con el método AHP. La comparación entre las propiedades de cada alternativa se encuentra en la tabla 1. La identificación de las propiedades aparece bajo el nombre de cada propiedad como as ( $\$/Kg$ ), ( $\mu$ ), ( $\alpha$ ), ( $Y$ ), ( $\sigma$ ), ( $\rho$ ), ( $\lambda$ ), and ( $C_p$ ), en la tabla 2 se muestra la escala de importancia relativa utilizada en el método AHP. En la Tabla 3, se muestra la matriz de decisión generada que tiene en cuenta la importancia de cada criterio. Se consideraron por los expertos, los criterios más importantes para generar la matriz ( $C$ ); se tomó un poco más importante ( $\mu$ ); se consideró fuertemente más importante ( $\alpha$ ) e ( $Y$ ); demostrablemente más importantes se tomaron ( $\sigma$ ) y ( $\rho$ ); Se consideraron los más importantes ( $\lambda$ ) y ( $C_p$ ). Los coeficientes se asignaron según el principio de calentamiento en cocinas de inducción. Los resultados son consistentes debido al valor del índice de consistencia ( $CI = 0,0489$ ) y la relación de consistencia ( $CR = 0,0347$ ) que son inferiores al límite 0,1.

Definición	Intensidad de la importancia
Importancia Igual	1
Importancia moderada	3
Importancia fuerte	5
Importancia más fuerte	7
Importancia extrema	9
Importancias intermedias	2, 4, 6, 8

Tabla 2 – Escala de la importancia relativa.

$\$/Kg$	$(\mu)$	$(\alpha)$	$(Y)$	$(\sigma)$	$(\rho)$	$(\lambda)$	$(C_p)$
1	3	5	5	7	7	9	9
0,333	1	3	3	5	5	7	7
0,2	0,333	1	1	3	3	5	5

(\$/Kg)	( $\mu$ )	( $\alpha$ )	(Y)	( $\sigma$ )	( $\rho$ )	( $\lambda$ )	( $C_p$ )
0,2	0,333	1	1	3	3	5	5
0,143	0,2	0,333	0,333	1	1	3	3
0,143	0,2	0,333	0,333	1	1	3	3
0,111	0,143	0,2	0,2	0,333	0,333	1	1
0,111	0,143	0,2	0,2	0,333	0,333	1	1

Tabla 3 – Comparación entre criterios para método AHP con balance de pesos.

En el paso final, los pesos de los criterios ( $w_j$ ) se calcularon utilizando la ecuación. (1) En la tabla 4, el coeficiente de peso de cada criterio se determinó en función de los resultados de los métodos AHP y Entropía. Por un lado, los valores más representativos son la permeabilidad relativa 46,1% y el costo 28,4%. Por otro lado, menos del 30% del peso total se distribuye en as ( $\alpha$ ), (Y), ( $\sigma$ ), ( $\rho$ ), ( $\lambda$ ), and ( $C_p$ ).

	(\$/Kg)	( $\mu$ )	( $\alpha$ )	(Y)	( $\sigma$ )	( $\rho$ )	( $\lambda$ )	( $C_p$ )
$\alpha_j$	0,401	0,225	0,111	0,111	0,051	0,051	0,024	0,024
$\beta_j$	0,096	0,278	0,105	0,048	0,021	0,173	0,104	0,174
$w_j$	0,285	0,463	0,087	0,039	0,008	0,066	0,019	0,031

Tabla 4 – Criterio de ponderación por los métodos AHP ( $\alpha_j$ ), balanza equilibrada entropía ( $\beta_j$ ), y ponderación comprometida ( $w_j$ ).

### 3.2. Resultados del método COPRAS-G

Para la aplicación del método COPRAS-G para resolver el problema de selección de material, la matriz de decisión relacionada se desarrolló primero a partir de los números grises aplicados en COPRAS-G que se resumen en la tabla 5. Se calculó la matriz de decisión que luego se pondera y normaliza, como se muestra en la tabla 6. Más tarde, la matriz normalizada y el peso se desarrollan en la tabla 7 donde se muestran los valores de prioridad ( $Q_i$ ) y los valores de utilidad cuantitativa ( $U_i$ ) para las alternativas candidatas. La tabla 7 también muestra la clasificación del material alternativo para la base de una olla de inducción como 1-3-2-6-4-5-8-7, lo que sugiere que Permalloy y Mumetal, obtengan la primera y segunda opción respectivamente, y Co y Ni tienen el último rango.

Material	(\$/Kg)		( $\mu$ )		( $\lambda$ )		(Y)		( $\sigma$ )		( $\rho$ )		( $\alpha$ )		(Cp)	
1	30	45	80000	300000	7,3	8,5	304	338	1,61	1,81	8,23	8,25	30	35	0,49	0,51
2	0,85	1,1	6800	16300	16	20,4	269	331	2,5	2,9	7,7	7,8	60	70	0,45	0,47
3	31	44	35000	220000	7,3	8	530	900	1,67	1,72	8,73	8,75	32	35	0,49	0,5
4	1	2	600	1100	6,85	7,05	496	531	1,55	1,65	7,75	7,85	24,85	24,95	0,455	0,465
5	1,7	2,3	700	1000	6,7	7,1	1155	1225	1,65	1,75	7,75	7,85	24,5	24,9	0,455	0,465

Material	(\$/Kg)		( $\mu$ )	( $\lambda$ )		(Y)		( $\sigma$ )		( $\rho$ )		( $\alpha$ )		(Cp)		
6	0,12	0,13	100	750	3,2	11,6	276	494	8	10	7,14	7,24	11,3	41,9	0,5	0,51
7	25	35	60	250	18	25,7	221	231	1,5	1,7	8,79	8,81	69,2	100	0,42	0,46
8	17	19	100	1240	17	22,8	45	59	1	1,25	8,83	8,95	67	91	0,45	0,46

Tabla 5 – Matriz de decisión normalizada.

Material	(\$/Kg)		( $\mu$ )	( $\lambda$ )		(Y)		( $\sigma$ )		( $\rho$ )		( $\alpha$ )		(Cp)		
1	0,067	0,100	0,111	0,417	0,007	0,008	0,003	0,004	0,001	0,001	0,008	0,008	0,002	0,002	0,004	0,004
2	0,002	0,002	0,009	0,023	0,014	0,018	0,003	0,003	0,001	0,001	0,008	0,008	0,003	0,004	0,004	0,004
3	0,069	0,098	0,049	0,305	0,007	0,007	0,006	0,009	0,001	0,001	0,009	0,009	0,002	0,002	0,004	0,004
4	0,002	0,004	0,001	0,002	0,006	0,006	0,005	0,006	0,001	0,001	0,008	0,008	0,001	0,001	0,004	0,004
5	0,004	0,005	0,001	0,001	0,006	0,006	0,012	0,013	0,001	0,001	0,008	0,008	0,001	0,001	0,004	0,004
6	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,010	0,003	0,005	0,003	0,004	0,007	0,007	0,001	0,002	0,004	0,004
7	0,056	0,078	0,000	0,000	0,016	0,023	0,002	0,002	0,001	0,001	0,009	0,009	0,004	0,005	0,003	0,004
8	0,038	0,042	0,000	0,002	0,015	0,021	0,000	0,001	0,000	0,000	0,009	0,009	0,003	0,005	0,004	0,004

Tabla 6 – Matriz de decisión normalizada de los números grises.

Material	Pi	Ri	Qi	Ui	Rank
1	0,277	0,096	0,291	100,000	1
2	0,040	0,014	0,137	47,011	3
3	0,190	0,100	0,203	69,887	2
4	0,012	0,017	0,093	31,811	5
5	0,012	0,026	0,067	22,867	6
6	0,013	0,015	0,105	35,990	4
7	0,028	0,079	0,045	15,588	8
8	0,027	0,050	0,054	18,628	7

Tabla 7 – Valores Pi, Ri, Ui y rankind de resultados del método COPRAS-G.

### 3.3. Resultados del método OCRA

El rendimiento agregado de las alternativas con respecto a todos los criterios de entrada se calcula a partir de los datos de la Tabla 1. Se determinó la sumatoria de resultados de todas las alternativas con todos los criterios beneficiosos se determina y posteriormente, se calculan las clasificaciones de preferencia lineal para los criterios de salida. Finalmente, la calificación de preferencia general para cada material alternativo se determinó según la metodología OCRA. Los cálculos detallados de este método se ilustran en la Tabla 8.

En este método, la clasificación de las alternativas materiales se obtiene como 8-4-7-2-3-1-6-5, lo que sugiere que Ni alcanza el rango más alto. AISI 430 es la segunda mejor opción y AISI 410 tiene el último rango y el hierro fundido es el segundo último rango. Estos resultados son diferentes a los otros MCDM como método COPRAS-G.

Material	$\bar{I}_i$	$\bar{I}_i$	$\bar{O}_i$	$\bar{O}_i$	$P_i$	Rank
1	2,054	0,000	0,956	0,947	0,000	8
2	615,645	613,591	0,056	0,047	612,691	4
3	186,508	184,454	0,712	0,702	184,209	7
4	646,296	644,242	0,016	0,006	643,301	2
5	644,660	642,606	0,026	0,016	641,676	3
6	650,724	648,669	0,010	0,000	647,722	1
7	583,586	581,532	0,155	0,145	580,730	6
8	609,479	607,425	0,094	0,085	606,562	5

Tabla 8 – Detalle de los valores computacionales para el método OCRA.

### 3.4. Resultados del método VIKOR

El mejor y el peor de todos los criterios se determinaron a partir de la matriz de decisión dada en la tabla 1. Luego, los valores de  $E_i$ ,  $F_i$  y  $P_i$  se calcularon usando las ecuaciones de la metodología VIKOR como se muestra en la tabla 9. El material con el valor  $P_i$  más bajo recibió el mejor rango. De acuerdo con la clasificación de alternativas por el método VIKOR presentado en la tabla 9, los materiales de clasificación para la base de una olla de inducción son 1-5-2-7-6-8-3, lo que indica que Permalloy y Mumetal obtienen el primero y segundos rangos respectivamente, y el hierro fundido tiene el último rango.

Material	$E_i$	$F_i$	$P_i$	Rank
1	0,166	0,081	0,021	1
2	0,841	0,433	0,902	5
3	0,133	0,152	0,093	2
4	0,933	0,459	0,993	7
5	0,906	0,459	0,977	6
6	0,940	0,460	0,999	8
7	0,596	0,461	0,787	3
8	0,694	0,460	0,846	4

Tabla 9 – Detalle de los resultados computacionales del método VIKOR.

### 3.5. Resultados del método TOPSIS

La matriz de decisión dada en la Tabla I se normalizó usando la ecuación (30) para la aplicación del método TOPSIS y esto se multiplicó por los pesos comprometidos

obtenidos. En la tabla 10 se muestra la matriz de decisión ponderada y normalizada  $V_{ij}$ . Las soluciones ideales y nadir ideales, determinadas por la metodología TOPSIS se presentan en la tabla 11. Las distancias desde las soluciones ideales ( $S_i^+$ ) y nadir ideales ( $S_i^-$ ) y la cercanía relativa a la solución ideal ( $C_i$ ) se midieron. Los resultados globales se ilustran en la Tabla 12. Los materiales para la base de una batería de inducción podrían clasificarse según el grado relativo de aproximación y la clasificación se muestra en la Tabla 12. Se descubrió que las mejores alternativas como material para la base de una olla de inducción son Permalloy y luego Mumetal and Co tiene el último rango.

Material	(\$/Kg)	( $\mu$ )	( $\alpha$ )	(Y)	( $\sigma$ )	( $\rho$ )	( $\lambda$ )	(Cp)
1	0,587	0,829	0,206	0,201	0,168	0,357	0,220	0,374
2	0,015	0,050	0,474	0,187	0,266	0,335	0,441	0,344
3	0,595	0,556	0,199	0,447	0,167	0,378	0,227	0,370
4	0,023	0,004	0,181	0,321	0,157	0,338	0,169	0,344
5	0,031	0,004	0,180	0,737	0,167	0,338	0,168	0,344
6	0,002	0,002	0,193	0,241	0,885	0,311	0,180	0,378
7	0,470	0,001	0,569	0,141	0,157	0,381	0,574	0,329
8	0,282	0,003	0,517	0,032	0,111	0,385	0,536	0,341

Tabla 10 – Pesos y matriz de decisión normalizada.

	(\$/Kg)	( $\mu$ )	( $\alpha$ )	(Y)	( $\sigma$ )	( $\rho$ )	( $\lambda$ )	(Cp)
$V^+$	0,001	0,382	0,050	0,001	0,001	0,021	0,011	0,012
$V^-$	0,169	0,000	0,016	0,029	0,007	0,025	0,003	0,010

Tabla 11 – Soluciones ideales y Nadir.

Material	$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i$	Ranking
1	0,169	0,383	0,693	1
2	0,359	0,170	0,321	3
3	0,213	0,257	0,546	2
4	0,382	0,163	0,299	5
5	0,383	0,160	0,295	6
6	0,383	0,170	0,307	4
7	0,404	0,055	0,120	8
8	0,389	0,098	0,201	7

Tabla 12 – Detalle de los resultados computacionales del método TOPSIS.



### 3.6. Resultados del Coeficiente de correlación de Spearman

En la tabla 13 se presentan los resultados del coeficiente de correlación de Spearman. Estos representan la correspondencia mutua entre los métodos MCDM. La magnitud de este parámetro excede 0,57 para la relación de COPRAS-G, VIKOR y TOPSIS. Los métodos COPRAS-G y TOPSIS tienen los mismos resultados. No obstante, la correlación entre OCRA-VIKOR, OCRA-VIKOR, OCRA-TOPSIS, es 0.238, respectivamente.

	OCRA	VIKOR	TOPSIS
COPRAS	0,238	0,571	1,000
OCRA	-	0,238	0,238
VIKOR	-	-	0,571

Tabla 13 – Resultados del coeficiente de correlación de Sperman.

## 4. Discusión

Los MCDM son una herramienta importante para reconocer e identificar la mejor alternativa en muchos de ellos. Estos métodos pueden adaptarse a diferentes tipos de entornos y condiciones que afectarían el resultado final y es por eso que estos enfoques se aplican en diferentes áreas de la ciencia, la ingeniería y la gestión. En este caso, aprovechamos los métodos MCDM para conocer la mejor alternativa para los materiales de la base en un utensilio de inducción. En la Figura II se resume el rango general de cada método MCDM. Se ha observado que COPRAS-G, VIKOR y TOPSIS, la mejor alternativa y la segunda mejor alternativa corresponden con Permalloy y Mumetal debido a su alta permeabilidad magnética. La validación del método se correlacionó con los coeficientes de Spearman. La mayoría de los métodos son equivalentes entre ellos, a menos que OCRA se deba a la magnitud de la alta permeabilidad magnética de Permalloy, que es hasta tres órdenes de magnitud que otros cinco materiales propuestos.

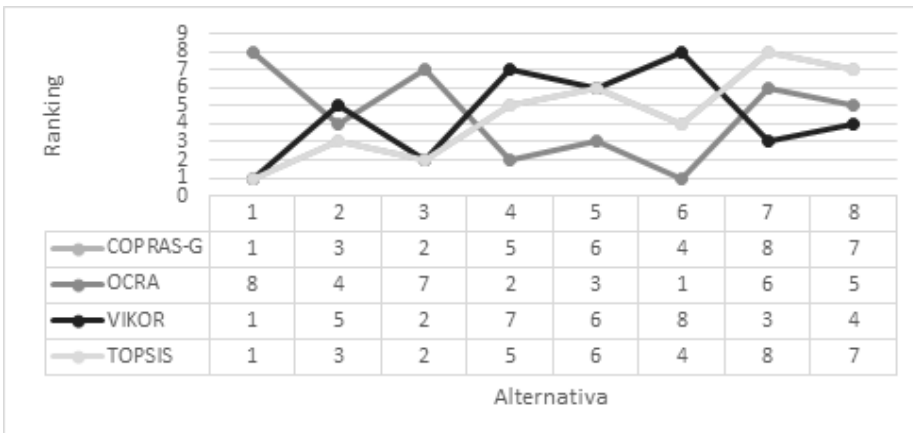


Figura 1 – Ranking de materiales frente a alternativas de materiales para la base del menaje de uso en cocinas de inducción.

## 5. Conclusiones

En este artículo, el problema de selección de material para la base de un menaje para cocina de inducción se ha resuelto utilizando un análisis mediante modelos de decisión multi-criterio. El modelo incluye MCDM como métodos COPRAS-G, OCRA, VIKOR y TOPSIS para la clasificación de los materiales alternativos de acuerdo con criterios determinados. La ponderación de las propiedades del material se realizó utilizando el método de ponderación de pesos mediante el uso de los métodos AHP y Entropía.

Las puntuaciones de clasificación que se utilizaron para ordenar los materiales alternativos se obtuvieron como resultados de los métodos. Según los resultados, Permalloy sería el mejor material para la base de una olla de inducción. Esta aleación es adecuada por su alta permeabilidad para inducir corrientes en la base del menaje y generar calor. La tendencia en los resultados ha cambiado solo en el método OCRA debido al amplio rango de variabilidad en la magnitud de cada criterio. En otras palabras, si la permeabilidad de Permalloy es 190000, en el Numeral es 127500 y en el acero ASTM A677 la permeabilidad es 11550. Por lo tanto, este método no puede tratar con grandes diferencias en un mismo criterio

Se validó que el enfoque MCDM es una herramienta viable para resolver los complejos problemas de decisión de selección de materiales. Se encontró que el coeficiente de correlación de rango de Spearman era muy útil en la evaluación de la correlación entre tres métodos de clasificación. El modelo que se desarrolló para la selección de materiales de la base de los utensilios de cocina se puede aplicar a otros componentes mecánicos para problemas de selección de materiales.

## 6. Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto P121819, “Parque de Energías Renovables” fundado por la Universidad International SEK.

## Referencias

- Acurio, K., Chico-Proano, A., Martínez-Gómez, J., Ávila, C. F., Ávila, Á., & Orozco, M. (2018). Thermal performance enhancement of organic phase change materials using spent diatomite from the palm oil bleaching process as support. *Construction and Building Materials*, 192, 633-642.
- Aldás, P. S. D., Constante, J., Tapia, G. C., & Martínez-Gómez, J. (2019). Monohull ship hydrodynamic simulation using CFD. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 15(4), 417-433.
- Beltrán, R. D., & Martínez-Gómez, J. (2019). Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment. *Journal of Building Engineering*, 24, 100726.
- Espinoza, V. S., Guayanlema, V., & Martínez-Gómez, J. (2018). Energy Efficiency Plan Benefits in Ecuador: Long-range Energy Alternative Planning Model. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 52-54.

- Gaona, D., Urresta, E., Marínez, J., & Guerrón, G. (2017). Medium-temperature phase-change materials thermal characterization by the T-History method and differential scanning calorimetry. *Experimental Heat Transfer*, 30(5), 463-474.
- Kastillo, J. P., Martínez-Gómez, J., Villacís, S. P., & Riofrio, A. J. (2017). Thermal Natural Convection Analysis of Olive Oil in Different Cookware Materials for Induction Stoves. *International Journal of Food Engineering*, 13(3).
- Llanes, E. A., Rocha, J. C., Peralta, D. B., Martinez, J., & Celi, S. (2018). Project-based learning case of study education in automotive mechanical engineering. *Revista ESPACIOS*, 39(25).
- Martínez, J., Martí-Herrero, J., Villacís, S., Riofrio, A. J., & Vaca, D. (2017). Analysis of energy, CO<sub>2</sub> emissions and economy of the technological migration for clean cooking in Ecuador. *Energy Policy*, 107, 182-187.
- Martínez-Gómez, J., Guerrón, G., & Riofrio, A. J. (2017). Analysis of the “Plan Fronteras” for clean cooking in Ecuador. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(1), 135-145.
- Martínez-Gómez, J. (2018). Material selection for multi-tubular fixed bed reactor Fischer-Tropsch reactor. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 13(1), 1-29.
- Rodríguez, D., Martínez-Gómez, J., Guerrón, G., & Riofrio, A. (2019). Impact of induction stoves penetration over power quality in Ecuadorian households. *Revista ESPACIOS*, 40(13).
- Villacís, S., Martínez, J., Riofrio, A. J., Carrión, D. F., Orozco, M. A., & Vaca, D. (2015). Energy efficiency analysis of different materials for cookware commonly used in induction cookers. *Energy Procedia*, 75, 925-930.
- Villacreses, G., Martínez-Gómez, J., & Quintana, P. (2019). Geolocation of electric bikes recharging stations: City of Quito study case. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 14(4), 495-516.
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286.

# Quito air quality modeling and prediction using meteorological and pollution data

Martín Almeida<sup>1</sup>, Patricia Acosta-Vargas<sup>1</sup>, Mario González<sup>1</sup>

[martin.almeida@udla.edu.ec](mailto:martin.almeida@udla.edu.ec), [patricia.acosta@udla.edu.ec](mailto:patricia.acosta@udla.edu.ec),  
[mario.gonzalez.rodriguez@udla.edu.ec](mailto:mario.gonzalez.rodriguez@udla.edu.ec)

<sup>1</sup> SI2Lab, Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.

Pages: 151–163

**Abstract:** This work describes the process of design, implementation, and results of different Machine Learning techniques to understand and predict meteorological data from the metropolitan area of Quito, Ecuador. Hourly data has been collected from 2004 to 2018 by the Environment Secretary of Quito in nine stations around the district. It focuses mainly on linear regression algorithms, time series analysis, and interpolation spatial analysis. During the definition of graphs to be implemented in the AirQ2 application, an analysis process was carried out on the contribution of each type of graph to obtain a better result when constructing prediction models on air pollution in Quito. Each graphic described here provides specific information and provides a guide to learn more about the different pollutants and stations of the collected data, as well as their contribution to the construction of the models' prediction.

**Keywords:** feature selection; time-series modeling; spatial interpolation; machine learning.

## 1. Introduction

Pollution or environmental contamination is the presence in the air of harmful components, whose source is mainly environmental pollution and pollutants originating in human activity. It should be noted that the concern in the quality of air in first world countries has increased in recent years due to academics and legislative efforts. Latin America is lagging, where still poor air quality is evident, which is strongly related to health problems (Zalakeviciute et al., 2018).

Studies in the city of Quito in the last decade found that after two to three years, the effects of each legislative regulation become obsolete. This is a result of the increase in the number of cars in the city, for instances (Zalakeviciute et al., 2020). Nowadays, information technology allows processing large volumes of data to analyze the relationship between different contaminants in the air of Quito and predict increased pollution. Also, with the help of visualization tools are dynamically placed this information in a web application called AirQ2 (Quito Air Quality) was developed (Naranjo et al., 2019). The AirQ2 app allows users to access this type of analysis by placing filters as a contaminant of interest,

dates, and areas of the city. This paper presents an extension of AirQ2 web app adding capabilities of prediction using machine learning techniques (Deters et al., 2017). These results can be obtained by statistical learning such as linear regression, multiple linear regression, random forest, Principal Component Analysis (PCA), Interpolation with Inverse Distance Weighting (IDW), and time series analysis.

The rest of the paper is organized as follows. In the following section 2. method and case study, we briefly describe the main techniques and tools used in the AirQ2 app prediction module. Section 3 presents the results of applying such techniques to a dataset of pollutants and meteorological data from Quito metropolitan area. Section 4 concludes the paper was discussing the main contributions of this work.

## **2. Method and Case study**

### **2.1. Case study**

This study was applied to understand and predict meteorological data from the metropolitan area of Quito, Ecuador. The data was obtained from the Quito Ministry of the Environment from 2004 to 2018 at nine stations throughout the district; the data was collected per hour. We application related to AirQ2 includes machine learning module, time series analysis, feature extraction, prediction, and one forecast module. Our study presents an initial analysis for time series, in which we use Long Short-Term Memory. The potential users of this application are 1) Policymaker, to consult and determine the pollutant, geo, and time profiles. 2) Academics, to consult and determine the level of pollutants, time, geo profiles, and data quality. 3) Media, to consult and determine pollution levels, weather forecasts, and geo profiles. 4) Citizens, to consult times and geo profiles.

### **2.2. Method**

To pre-process the data, we follow the following method: 1) get data from multiple stations, 2) download the data, 3) organize and centralize data, 4) standardize the data format, 5) sort the data, and 6) migrate the data.

AirQ2 uses the Shiny tool, which is an R language pack focused on applying interactive web applications using a client-server architecture. R bases user requests through the browser and supports the most common R packages.

For the implementation, the main R packages used are listed as follow:

shiny, for the web app development;

plotly, ggplot2, for data visualization;

xts, zoo, for time series manipulation;

reshape, plyr, dplyr, for data tidying;

openair, gam, for meteorological data analysis;

leaflet, library(geosphere), for spatial data representation;

caret, party, cluster, factoextra, keras, tensorflow, for machine learning and deep learning models.

We list in detail some programming tools and techniques of machine learning used in the application described in this work:

**R language:** It is an open-source programming language that provides tools for statistical computing and graphing. It provides users with a wide range of tools for statistical analysis. The R project says that the advantage of this programming language is “the ease with which you can produce statistical analysis and publication-quality graphics” (R-Project, 2019).

**Shiny:** It is an R package that facilitates building interactive web applications using R. combines the computational power of R with the interactivity of the modern web (Winston et al., 2019).

**Machine Learning:** It is a set of techniques used to build complex models and algorithms that are used to make predictions. Uses statistical techniques to give computers the ability to “learn” from a data set without being explicitly programmed for a purpose. Its basic premise uses statistical analysis algorithms receiving input data to predict output data, while this output data is converted into insights. The processes involved in Machine Learning are very similar to those of data mining and predictive modeling. Both require analyzing data for patterns and adjust the program actions according to the results.

Generally, Machine Learning algorithms are categorized in supervised and unsupervised. Supervised algorithms require a data scientist or a data analyst with Machine Learning skills to provide inputs and expected outputs. Additionally, provide feedback on the accuracy of predictions during the training algorithm. Data are scientists who determine which variables or characteristics the model should be analyzed and used to develop predictions. Once training is completed, the algorithm applies what he learned with new data. On the other hand, unsupervised learning algorithms need not be trained with expected output data. Instead, they address the problem by using iterative methods, known as “Deep Learning,” to review data and draw conclusions. These algorithms, also called neural networks, are used for more complex tasks than supervised learning algorithms processing. They are often used in image recognition, voice to text, and natural language generation. These neural networks work combining a million examples of training data and automatically identifying subtle correlations between several variables. Once trained, the algorithm can use their bank associations to interpret new data (Rybarczyk & Zalakeviciute, 2018).

**Linear regression:** It is a statistical technique used to study the relationship between variables. When only two variables used (dependent and independent or predictor) are called linear regression, while when analyzed over two variables (dependent and several predictors) is called multiple linear regression. In both cases, the linear regression is used to explore and quantify the relationship between a variable and its predictor. Also, a linear equation is developed for predictive purposes.

**Feature Selection:** It is the selection of data attributes that are most relevant to the predictive model in which one works. It is a process that helps to create an accurate predictive model selecting data features that provide greater predictive accuracy using fewer data (Ghojogh et al., 2019).

**Random Forest:** It is a supervised learning algorithm. Several create decision trees to make more accurate predictions. One of its significant advantages is that Random Forest can be used for classification and regression problems (Simon et al., 2012).

**PCA (Principal Component Analysis):** It is a dimensionality reduction method generally used to reduce the dimensionality of gigantic data groups. This component is achieved by transforming a wide range of variables into a smaller one that still contains most of the information group (Ghojogh et al., 2019).

**IDW (Inverse Distance Weighting):** It is a deterministic spatial interpolation method that estimates an unknown value in a location using known values at known points (Mesnard, 2013).

**Time Series Forecasting:** Involve time series data collected sequentially in time. Large networks Short Term Memory (LSTM) is a particular form of recurrent neural networks that can learn long-term dependency (Krishan et al., 2019).

### 3. Results

The AirQ2 system was implemented to cover a series of new functions focused on machine learning. The AirQ2 web application was developed in the R using the Shiny package as a basis for using the data shown in the descriptive-analytical section. Within this application, mean hourly data on meteorology and air pollution is available, which was collected by the meteorological stations of Quito from 2004 until June 2018, with a period of one hour between each data point. The data is posted on the website of the Ministry of the Environment, a process of data tidying was performed and data cleaning; as a result, a file for each station was obtained in the following format:

Style Name	Format
<i>Station</i>	Meteorological Station
<i>Date_time</i>	Mark with date and time for registered data
<i>CO</i>	Carbon monoxide
<i>DIR</i>	Wind direction (in degrees)
<i>HUM</i>	Humidity (relative)
<i>LLU</i>	Precipitation
<i>NO2</i>	Nitrogen dioxide
<i>O3</i>	Ozone
<i>PM2.5</i>	Particulate matter (PM) that have a diameter of less than 2.5
<i>PM10</i>	PM10 is particulate matter 10 micrometers or less in diameter
<i>PRE</i>	Atmospheric pressure
<i>RS</i>	Solar radiation
<i>SO2</i>	Sulfur dioxide
<i>TMP</i>	Temperature
<i>VEL</i>	Wind speed

Table 1 – Dataset Format.

Once the data is obtained with a standard format, it was proceeded to develop the first functionality, “Clusters” application, where the objective is to observe the relationship between stations depending on the variable to be analyzed, as shown in Figure 1.

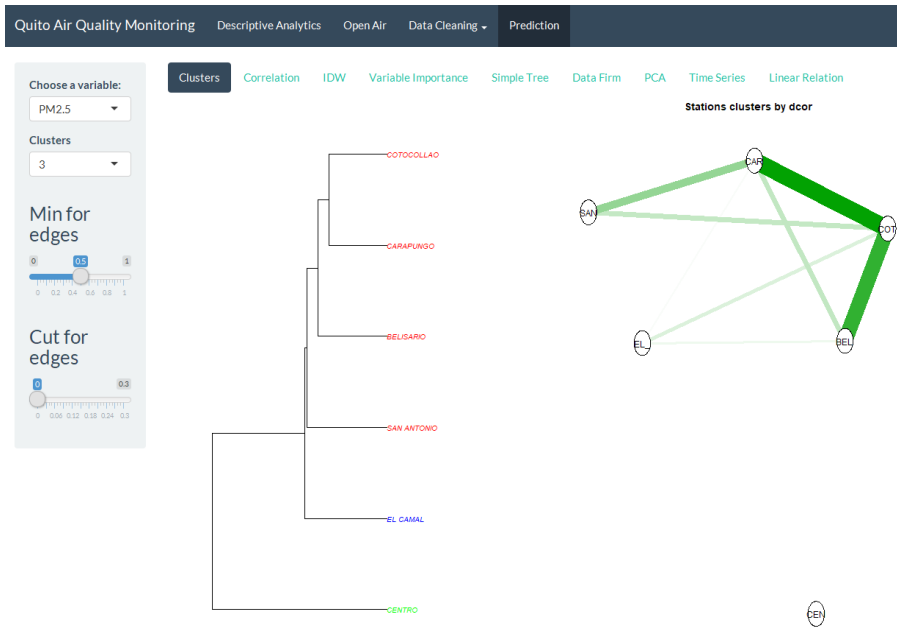


Figure 1 – Clustering and similarity between stations according to PM2.5.

In the above graph, the relationship between stations shown as the contaminant and sample pooling PM2.5 between stations according to this contaminant. Also, in the green figure, it is shown the strength of the relationship between stations, appearing as a bright green the most robust connections. It also shows the “Center” station isolated to the rest, consistent with the dendrogram on the left, where it is not grouped with any station.

The following functionality implemented was a correlation analysis showing the correlation between stations depending on the contaminant or the correlation between contaminants depending on the station. Figure 2 shows the dynamic filter for analysis at the user’s convenience.

As mentioned before, the functionality has an option to see the correlation between contaminants for the selected station. That is thanks to the dynamic controls implemented in the application interface. Figure 3 shows the change in the graph of the selected filters, now for stations.



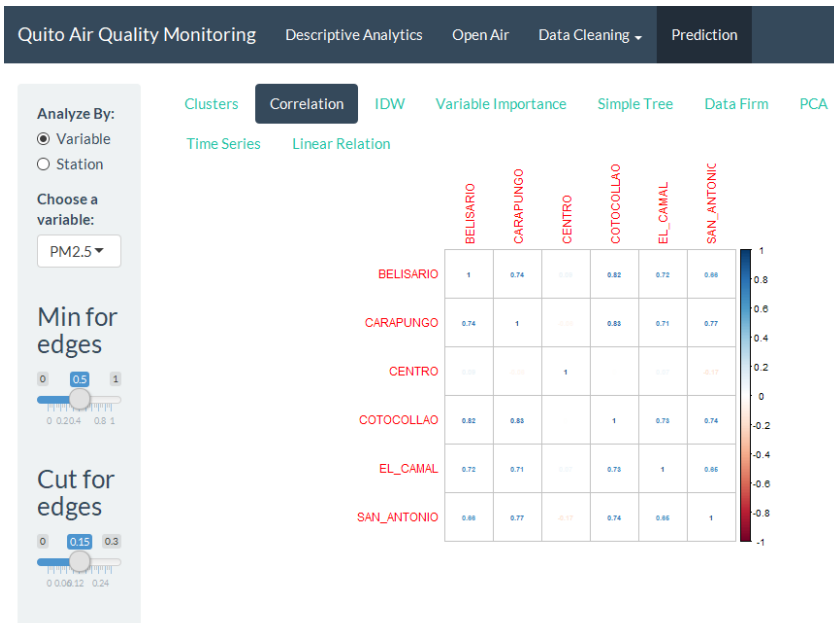


Figure 2 – Correlation between stations according to PM2.5.

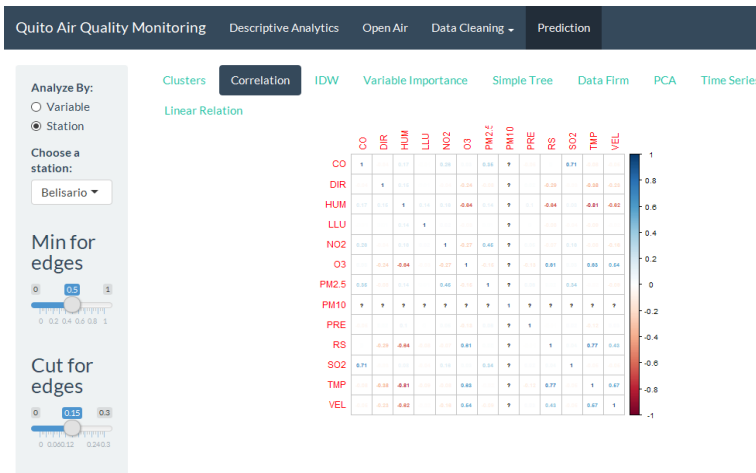


Figure 3 – Correlation between pollutants according to station Belisario.

Both in Figure 2 and Figure 3, the stations or contaminants with higher correlation are assigned a more intense blue or red color with a value closer to 1 or -1, respectively. Otherwise, when the correlation is a very weak color corresponding, it is red with a value approaching -1. In the case that the symbol “?” is present, it means that the contaminant is not registered for the selected station.

In the analysis window IDW a spatial interpolation algorithm was performed using the inverse distance weighted technique. In Figure 4 the map of the city of Quito is shown with a heat map superimposed on an area covered by the stations containing data corresponding to the selected filters.

The heat map shows in red areas with a higher value of the selected contaminant, while the blue color corresponds to the lowest values. An additional analysis using the spatial interpolation filters also it was added a date filter to show the signature of the pollutant over the city in a given period.

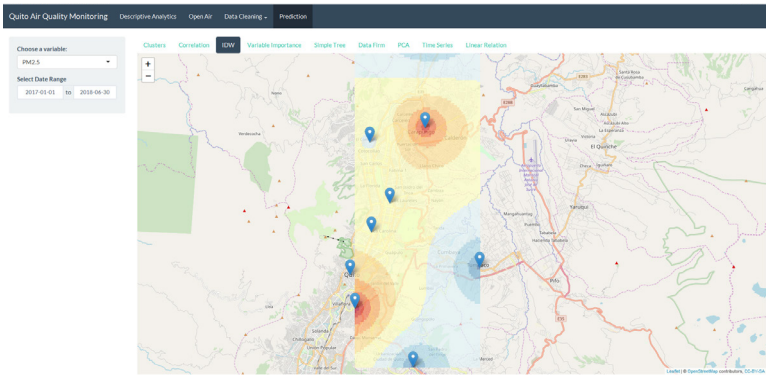


Figure 4 – Heatmap on a map of Quito based on PM2.5.

When it comes to forecasting, it is essential to know the most critical variables to build prediction models according to the algorithm to be used. It is why the tab Variable Importance in Figure 5 was implemented. Figure 5 depicts the most important variables to predict a selected contaminant according to the algorithm of Random Forest, which in this case corresponds to the essential features for modeling PM2.5 for the observed data.



Figure 5 – Importance of predictor variables for PM2.5.

What is shown in Figure 5 is the contribution of each variable to the prediction model built by Random Forest. It is equally important to visualize coherence between these graphed data with reality so that the tab “Simple Tree,” a view of a typical tree constructed by this algorithm, is obtained.

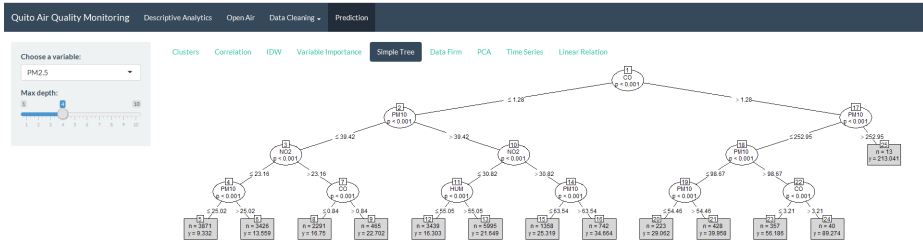


Figure 6 – Random Forest tree typical for PM2.5 with a depth of 4.

Figure 6 shows an example of a decision tree based on the selected contaminant and depth desired according to the user-selected parameters. Random Forest built several of these decision trees and returns a result based on the response of the majority of them.

Similarly, it is interesting to note the characteristic signature of a contaminant that was analyzed between the measured value against the previous value of the pollutant, grouped by daily, weekly, and monthly data. Additionally, it was added a contaminant filter station to build the desired output, shown in Figure 7.

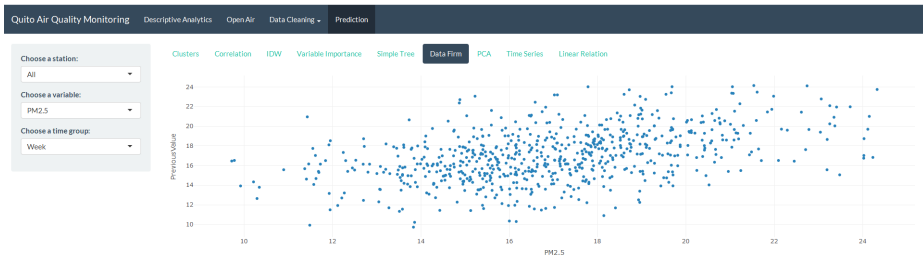


Figure 7 – Weekly signature PM2.5 in all seasons.

Figure 7 shows the relationship between the measured PM2.5 with a previous value according to the selected time scale (weeks), a clear linear relationship shown is observed between the actual and last week values. This analysis is useful for building a prediction model.

Another critical method for performing a selection of essential variables is PCA (Principal Component Analysis). Figure 8 shows the principal components and their explained variance, as well as the most significant variables for the first five principal components ordered by importance. The red line on the right bar plot shows the average contribution by each variable in the model; those that exceed this value are more important to build predictive models.

The time series analysis corresponds to an area of Machine Learning where prediction models are used to estimate future values (in time) of a contaminant. After training prediction models are stored in encrypted files (extension h5), which are used in the

analysis of pollutants in time using daily, weekly or monthly averages. This model can be seen in Figure 9, where the prediction line (orange) has a similar behavior when compared with the observed data (blue). Analyzing the figures of the daily average (Figure 10) and monthly (Figure 11) averages, it is clear that the use of more data (daily average) the model becomes more accurate than with less data (monthly average).

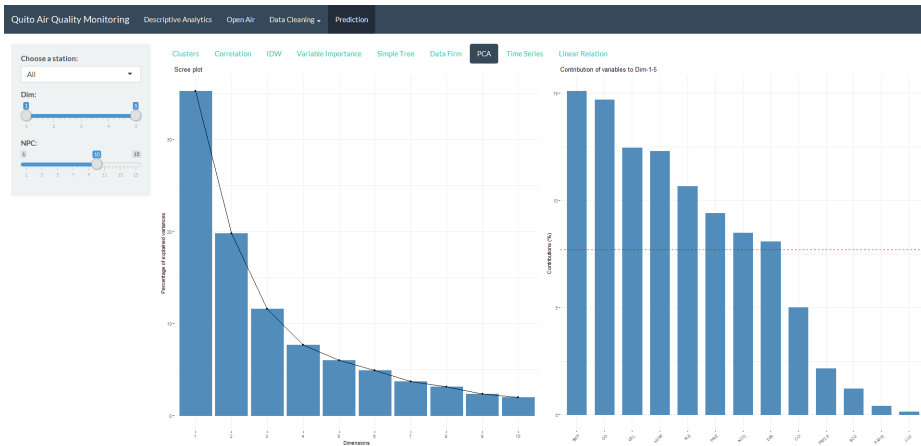


Figure 8 – Principal component analysis for all seasons.

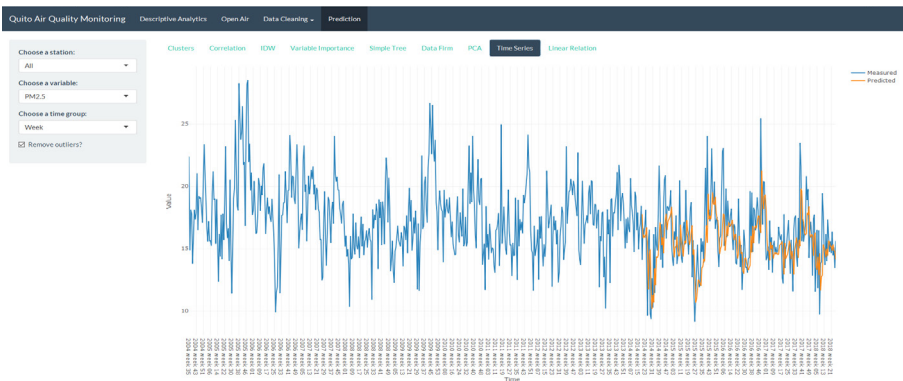


Figure 9 – Analysis of time series for PM2.5 weekly average.

Finally, the tab labeled Linear Relation performs the linear relationship between two variables selected and filtered by the station. It serves as a tool to find that variables are suitable for applying the algorithm to the linear regression build a base prediction model. In Figure 12 shows the linear relationship between PM10 and PM2.5, without removing outliers. If the outliers are removed, the resulting graph is obtained in Figure 13. Outliers can largely influence linear relationship analysis.



Figure 10 – Analysis of time series for PM2.5 with average daily.

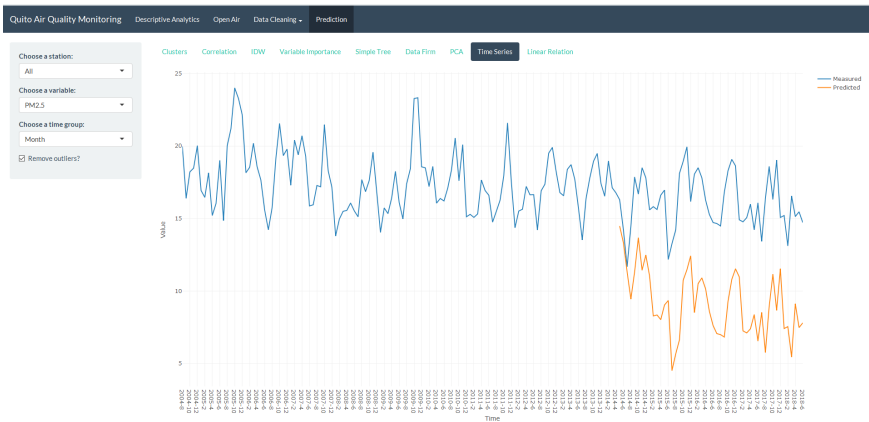


Figure 11 – Analysis of time series for monthly average PM2.5.

These are a series of tools that are intended to facilitate the development of Machine Learning models focused on pollution and meteorological data from the city of Quito. It is expected to have a dedicated server to install the application and expand the functionality of the AirQ2 application to analyze larger volumes of data and implement more complex prediction algorithms without the limitations of the free server on which it is currently hosted.

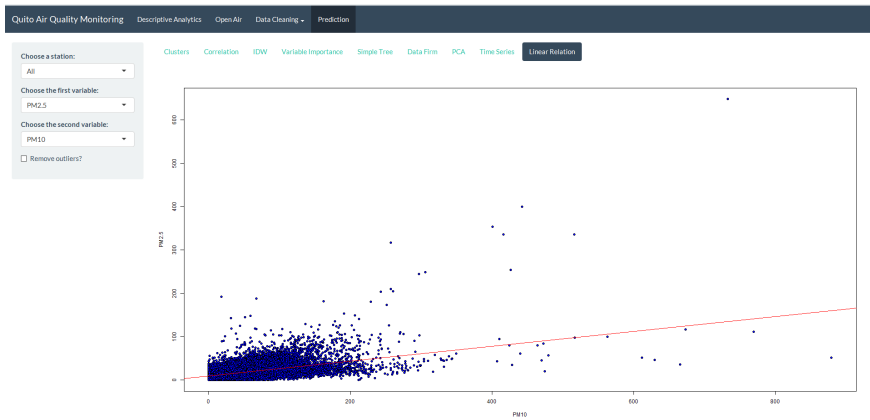


Figure 12 – linear relationship between PM2.5 and PM10 with all data.



Figure 13 – linear relationship between PM2.5 and PM10 without outliers.

#### 4. Conclusions

After performing the development of the web application for predicting air pollution in the city of Quito, it is concluded that it is a tool that facilitates multidisciplinary analysis processes. Performing spatial interpolation to estimate the value of a contaminant in a point of the city based on the recorded pollutant known in other points of the city (meteorological stations). The AirQ2 spatial interpolation was implemented to divide the city into quadrants and calculate an average of the contaminant selected in each quadrant. Based on this estimated value is assigned a color to each quadrant, so it can be concluded that having more divisions over the city heat map is going to be more accurate. Also, take note that only the area is covered within the stations with data from the selected pollutant and meet the applied filters.

During the development of the new features of AirQ2, it was evident the limitation the local server used. It is highly recommended to use dynamic controls for configuring parameters that can affect the performance of the server used. Concerning the construction of predictive models using deep learning models, we recommend using detailed data (daily in the case of LSTM) since generalizing the data, prediction accuracy is lost for a small amount of data. Thanks to this, the significant differences between building the model with detailed data (daily), fairly detailed (weekly), and less data (monthly) were observed. With these results, we conclude that the model whose construction was carried out with detailed data is the most accurate of the three. The same can be seen for different combinations of contaminants, station, and time group.

The AirQ2 prediction module implements linear regression analysis, feature selection techniques, clustering, and machine learning models to understand, analyze, and build models for the pollutant and meteorological behavior observed in the city of Quito. Such application can be useful for academics, local government policymakers, as well as for the public, in general, to know better the pollution levels of the city they inhabit, to improve its air quality.

## 5. Acknowledgments

This work has been supported by SIS.MG.17.02 and SIS.MGR.18.02.

## References

- Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., Granda-Albuja, M. G., Suarez, M. V. D., & Alexandrino, K. (2020). Chemical characterization of urban PM10 in the Tropical Andes. *Atmospheric Pollution Research*, 11(2), 343-356.
- Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., López-Villada, J., & Suarez, M. V. D. (2018). Quantifying decade-long effects of fuel and traffic regulations on urban ambient PM2.5 pollution in a mid-size South American city. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 66-75.
- Naranjo, R., Almeida, M., Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., & González, M. (2019, April). AirQ2: Quito Air Quality Monitoring and Visualization Tool. In 2019 Sixth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG) (pp. 164-171). IEEE.
- Kleine Deters, J., Zalakeviciute, R., Gonzalez, M., & Rybarczyk, Y. (2017). Modeling PM2.5 urban pollution using machine learning and selected meteorological parameters. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017.
- R-project.org. (2019). R: What is R?. [Online] recovered from <https://www.r-project.org/about.html> [Accessed 11 Feb. 2019].
- Winston Chang, Joe Cheng, JJ Allaire, Yihui Xie and Jonathan McPherson (2019). shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>
- Rybarczyk, Y., & Zalakeviciute, R. (2018). Machine learning approaches for outdoor air quality modelling: A systematic review. *Applied Sciences*, 8(12), 2570.

- Ghojogh, B., Samad, M. N., Mashhadi, S. A., Kapoor, T., Ali, W., Karray, F., & Crowley, M. (2019). Feature selection and feature extraction in pattern analysis: A literature review. arXiv preprint arXiv:1905.02845.
- Bernard, Simon & Adam, Sébastien & Heutte, Laurent. (2012). Dynamic Random Forests. *Pattern Recognition Letters*. 33. 1580-1586. 10.1016 / j.patrec.2012.04.003.
- De Mesnard, L. (2013). Pollution models and inverse distance weighting: Some critical remarks. *Computers & Geosciences*, 52, 459-469.
- Krishan, M., Jha, S., Das, J., Singh, A., Goyal, M. K., & Sekar, C. (2019). Air quality modelling using long short-term memory (LSTM) over NCT-Delhi, India. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12(8), 899-908.



# Integración de un chatbot a un LMS como asistente para la gestión del aprendizaje

Adrián Santiago Arias-Navarrete<sup>1</sup>, Xavier Iván Palacios-Pacheco<sup>2</sup>, William Villegas-Ch.<sup>1</sup>

[adrian.arias@udla.edu.ec](mailto:adrian.arias@udla.edu.ec), [xpalacio@uide.edu.ec](mailto:xpalacio@uide.edu.ec), [william.villegas@udla.edu.ec](mailto:william.villegas@udla.edu.ec)

<sup>1</sup> Universidad de Las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Internacional del Ecuador, 170411, Quito, Ecuador.

**Pages:** 164–175

**Resumen:** El ritmo vertiginoso al que avanza la tecnología ha modificado todos los sectores de la sociedad. Entre estos sectores se encuentra la educación, a tal punto que los modelos tradicionales de aprendizaje cambian su enfoque y utilizan la tecnología como un asistente ideal para los estudiantes y tutores. El uso de la tecnología contribuye a mejorar el aprendizaje donde crece el interés del estudiante convirtiéndolo en el actor principal de su educación. Implementar un ambiente de aprendizaje basado en las necesidades del estudiante requiere de un gran esfuerzo para abarcar el gran número de variables involucradas en la educación. Para identificar estas variables es necesario analizar los datos generados por los estudiantes y tomar decisiones contribuyan al aprendizaje de cada estudiante, para ello se considera el uso de la inteligencia artificial. Estas técnicas emulan los procesos del pensamiento humano utilizando estructuras que contienen el conocimiento y experiencia de los expertos humanos.

**Palabras-clave:** inteligencia artificial; chatbot; aprendizaje; LMS.

## *Integration of a chatbot to an LMS as assistant for learning management*

**Abstract:** The dizzying pace at which technology advances has modified all sectors of society. Education is among these sectors, to the point that traditional learning models change their approach and use technology as an ideal assistant for students and tutors. The use of technology helps to improve learning where the student's interest grows, making him the main actor in his education. Implementing a learning environment based on the needs of the student requires a great effort to cover a large number of variables involved in education. To identify these variables, it is necessary to analyze the data generated by the students and make decisions that contribute to the learning of each student, for this the use of artificial intelligence is considered. These techniques emulate the processes of human thought using structures that contain the knowledge and experience of human experts.

**Keywords:** artificial intelligence; chatbot; learning; LMS.

## 1. Introducción

En la actualidad, los modelos de educación tradicionales se han visto superados por las necesidades de los estudiantes donde cada uno tiene su forma y tiempo de aprendizaje. Las universidades buscan el apoyo de las tecnologías de la información (TI) como respuesta a todas las necesidades de los estudiantes. Incluir las TI en ambientes educativos convierte al estudiante en el protagonista de su propio aprendizaje y permite generar una educación personalizada. Sin embargo, implementar estas tecnologías tiene un cierto grado de dificultad, pues, al hablar de una educación personalizada esta pasa a ser parte de un sistema de aprendizaje basado en el estudiante. Esto implica la utilización de un conjunto de métodos experimentales más eficaces, donde los estudiantes asumen una mayor responsabilidad sobre su propia educación (Kirkup and Kirkwood 2005). El uso de las TI en el aprendizaje presenta muchos beneficios para los estudiantes entre los que se destacan que los estudiantes logran una comprensión profunda de los conceptos de una determinada asignatura. Además, promueve una actitud positiva ante el aprendizaje y, en consecuencia, una mayor motivación hacia la materia.

Las TI aportan al fortalecimiento tanto de las plataformas educativas como a la gestión académica de las universidades. Esto es posible a través de sistemas y herramientas informáticas que se encargan de identificar variables, tomar decisiones y recomendar actividades a los estudiantes (Salcines et al. 2008). Para cumplir con estas características las TI deben presentar capacidades que permita el tratamiento de datos. Este tratamiento va desde la adquisición de los datos independientemente de su tipo o la fuente de donde provienen. Para ello existe plataformas de análisis de datos como la inteligencia de negocios *business intelligence (BI)* o el big data (Bele et al. 2015). El uso de cada una de estas plataformas depende del volumen de datos que genera cada institución o la profundidad del análisis. En base a los resultados arrojados del análisis de datos es posible tomar decisiones efectivas que aporten al aprendizaje de los estudiantes. La toma de decisiones la realiza un experto que en el caso de las TI traspasa esta labor a la inteligencia artificial (IA) (Asociación Española de Inteligencia Artificial., Ruíz, and Gilbert 1997). La IA proporciona herramientas y técnicas que permiten enfrentar problemas asociados a la toma de decisiones por medio de un sistema basado en conocimiento (Valdez et al. 2017). En este trabajo se propone el desarrollo de un modelo que integre la identificación y evaluación variables por medio del análisis de datos que los estudiantes generan en los sistemas académicos que maneja una universidad (Villegas-Ch, Luján-Mora, and Buenaño-Fernandez 2017). Una vez identificadas las necesidades de los estudiantes se trasladan los resultados a un Chatbot que utiliza IA y se encarga de la toma de decisiones a través de la recomendación de actividades. Cada una de las actividades recomendadas cumple con los requisitos necesarios para considerarse dentro de un modelo basado en el aprendizaje. Las actividades se recomiendan dentro de un sistema de gestión de aprendizaje (LMS). Esta condición obliga a fortalecer y potencializar la autonomía de los LMS con el objetivo que este trabaje íntegramente con el sistema de IA y pueda recomendar las actividades exactas a grupos definidos de estudiantes.

El trabajo está distribuido en las siguientes secciones, la sección 2 contiene la fundamentación teórica que aporta al diseño e implementación del sistema propuesto,

la sección 3 contiene el método donde se explica paso a paso todo el desarrollo realizado, la sección 4 presenta la discusión en base a los resultados obtenidos por último la sección 5 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## **2. Fundamentación teórica**

### **2.1. Inteligencia de negocios**

La BI, según el *Data Warehouse Institute* (Nautilus n.d.), se define como la combinación de tecnología, herramientas y procesos que permiten transformar los datos almacenados en información. La información en conocimiento y el conocimiento dirigido a un plan o una estrategia comercial. Un BI, es parte de la estrategia empresarial que permite optimizar la utilización de recursos. Esto mejora la capacidad de tomar buenas decisiones y obtener mejores resultados. Las instituciones educativas por su parte cuentan con un gran volumen de datos, pero carecen de información. Una universidad necesita profundizar el nivel de conocimiento de sus estudiantes, administrativo, procesos, etc. Esta habilidad permite encontrar patrones de comportamiento y contestar aquellas interrogantes que permitan maximizar el rendimiento de los estudiantes y con ellos mejorar la manera de aprender.

### **2.2. Chatbot**

Un Chatbot, es un software informático que está diseñado para mantener una conversación con los usuarios de un servicio o una plataforma (Hill, Ford, and Ferreras 2015). Dentro de las acciones que un Chatbot ofrece al usuario es información sobre un producto o evento o lleva a cabo una acción (Cahn 2017). La necesidad de compartir información y resolver dudas convierten a los Chatbot en herramientas muy útil dentro de entornos educativos. Para los estudiantes, resulta útil resolver dudas de manera rápida en todo momento y de forma inmediata. A los docentes y encargados del aprendizaje esta herramienta permite realizar un seguimiento de la evolución de sus alumnos o utilizarlo como recurso para el apoyo del aprendizaje. Una de las ventajas de los Chatbot es que no ocupan demasiados recursos computacionales y las experiencias de los usuarios se vuelven más agradables y la interacción aumenta el interés en las materias (Al-zubaidi and Issa 2011).

## **3. Método**

Para definir el método que permita recomendar actividades como parte de un aprendizaje activo es importante abordar campos como, la identificación de variables, el análisis de datos, el diseño del sistema de recomendador, etc. (Salcines et al. 2008). En la figura 1 se hace referencia a la arquitectura que maneja el método y que da respuesta a las necesidades planteadas para este trabajo.

La arquitectura propuesta se maneja como un ciclo de etapas donde cada una está relacionada y es fundamental que cada una de estas se cumpla con sus tareas para obtener resultados adecuados y de valor para el aprendizaje.

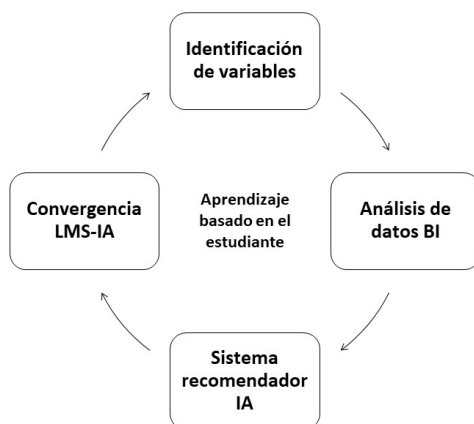


Figura 1 – Arquitectura de un sistema integral para el desarrollo de un ambiente de aprendizaje activo.

### 3.1. Identificación de variables

Dentro de la propuesta cada fase se encarga de una tarea específica de la cual depende el ciclo para construir un entorno de aprendizaje activo. La primera etapa considerada es la identificación de variables. En esta etapa el objetivo es identificar todas las variables que afectan a los estudiantes para lograr un aprendizaje adecuado en las diferentes materias. Para lograrlo, es necesario implementar una estructura robusta donde participen diferentes áreas sean estas técnicas, administrativas y académicas. La inclusión de estas áreas permite identificar claramente el problema y dividirlo en dos variables en las cuales se basa la problemática general por la que pasa una universidad. Las variables se alinean con los estudiantes que tienen un alto porcentaje de repitencia y lo que se presentan como casos de deserción universitaria. Estas variables responden al modelo propuesto por Bean mencionado en (Himmel 2002). El modelo, identifica las variables académicas, psicosociales y ambientales que causan el síndrome de deserción.

Las variables académicas incluyen el rendimiento y la integración del estudiante. Para identificar estas variables es necesario construir una infraestructura robusta que integre los repositorios comunes que almacenan información académica de los estudiantes. Estos repositorios por lo general son los sistemas de registro y seguimiento académico. Las variables psicosociales incluyen objetivos, alineación, interacción entre iguales e interacción con los docentes (Bean 1983). Este trabajo, incluye información de los LMS que es el repositorio principal de la universidad que participa en este estudio para el desarrollo de actividades. Por esta razón, la interacción con los pares y la interacción de los profesores en el LMS se modifica en el modelo de Bean (Bean 1985). Las variables ambientales se parametrizan de acuerdo con la financiación, las relaciones sociales externas, las oportunidades de transferencia y la interacción con los profesores que cambian el parámetro por la interacción con LMS y el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC).

### 3.2. Análisis de datos

El análisis de datos es importante en este trabajo porque es el que se encarga de identificar el progreso de los estudiantes en el aprendizaje (Villegas-Ch, Lujan-Mora, et al. 2018). Para cumplir con este objetivo es necesario incluir una herramienta capaz de extraer los datos desde cualquier tipo de fuente, transfórmalos y cargarlos en la siguiente fase de la arquitectura de recomendación. Existen varias herramientas con estas capacidades incluso varias de estas se especializan específicamente en una de las tareas mencionadas anteriormente (Ramsay and Dalzell 1991). Sin embargo, para este trabajo es importante la consolidación de procesos en una sola infraestructura, esto garantiza la disponibilidad de los datos y la seguridad de los mismos. Partiendo de los conceptos señalados existen dos plataformas propicias para el análisis de datos la primera es el uso de un BI aplicado al análisis de datos académicos (Bele et al. 2015) y una segunda opción es el uso de una arquitectura de big data (Villegas-Ch, Luján-Mora, et al. 2018).

Al realizar una contextualización de las opciones de análisis de datos se aprecian varias diferencias entre estas. La ventaja de implementar un BI es que se trata de una tecnología muy desplegada en la industria y sus resultados están por demás comprobados (Riofrio, Encalada, and Guamán 2015). La implementación, aunque tiene su grado de complejidad es fácil de superar por la cantidad de información existente. Como desventajas un BI presenta limitaciones en el formato de datos como no estructurados, que da como resultados penalizaciones en el procesamiento. Por otra parte, se encuentra el uso de una arquitectura de big data, estas arquitecturas manejan grandes volúmenes de datos y presentan mejoras incomparables en la parte de procesamiento (Peng 2012). A esta ventaja se suma la capacidad de analizar los datos sin importar el formato en que estos se encuentren. El big data es considerado como una tecnología emergente que, por sus capacidades de análisis se aplica en grandes entornos o en procesos que generan un gran volumen de datos. Estas características se ven disminuidas por la complejidad de su implementación y por el alto requerimiento de conocimientos que deben poseer las personas a cargo de la implementación.

Este trabajo se centrará en un área específica de una universidad, esta característica hace que el análisis de datos y la elección de la herramienta a utilizar se centre en su funcionalidad y agilidad de implementación. Estos parámetros son garantizados por un BI alineado al descubrimiento de conocimiento en bases de datos *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) (Usama FAYYAD, Gregory PIATETSKY-SHAPIRO 1996). En la figura 2 se presenta cada una de las fases de KDD que el BI incluye en su arquitectura. El proceso inicia con la selección de las fuentes que participan en el análisis. Las fuentes de datos de la universidad que participa en este estudio maneja aplicaciones con una base de datos en SQL y ciertas aplicaciones como el LMS utiliza una conexión MySQL. Esto implica que la herramienta de extracción debe generar una cadena de conexión para los dos tipos de fuentes de datos (Comendador, Rabago, and Tanguilig 2016).

Existe, cierta cantidad de datos que se encuentra en otros formatos como son hojas de cálculo o archivos de texto plano. Todas estas fuentes están consideradas dentro de la fase de selección para lo cual se hace uso de herramientas de extracción, transformación y carga *Extract, Transform and Load* (ETL) (Pan, Zhang, and Qin 2018).

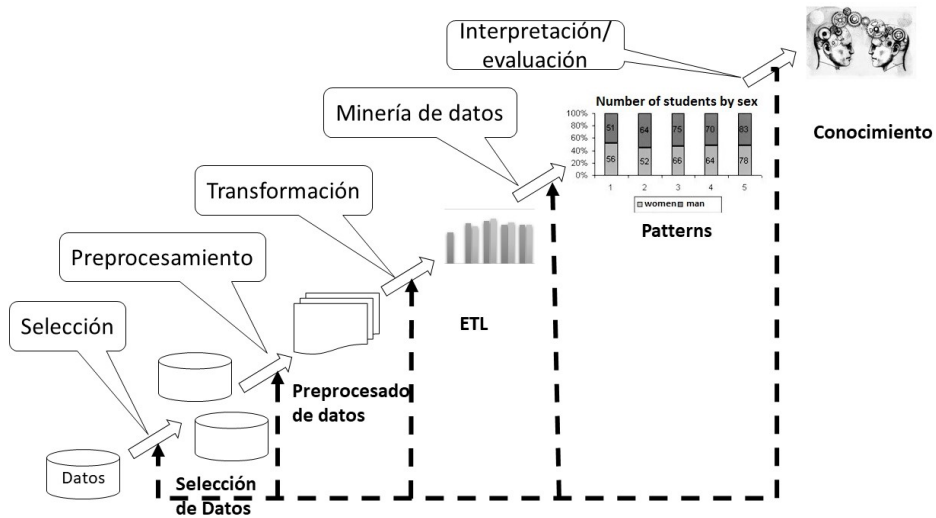


Figura 2 – Arquitectura de KDD aplicada a un entorno de BI.

En la fase de pre procesamiento se busca realizar una primera limpieza de los datos esto incluye la eliminación de datos incompletos o inconsistentes por medio de la aplicación de filtros (Alia et al. 2015). En la transformación se busca establecer un solo formato en todos los datos extraídos de las diferentes fuentes, muchas ocasiones esto permite establecer valores de tipo fecha / hora. La inclusión de estos datos adicionales permite trabajar en proyecciones o históricos, mucha de esta información es necesaria para conocer las tendencias en los estudiantes en determinados periodos. Los datos que han sido transformados en el proceso ETL generalmente se trasladan a un repositorio multidimensional conocido almacén de datos (Moscoso-Zea, Andres-Sampedro, and Luján-Mora 2016).

La ventaja que ofrece un almacén de datos es la disponibilidad de los datos y la garantía en la calidad de los datos que pasan a una siguiente etapa para su análisis. Para el análisis se utilizan métodos como la minería de datos donde a través de varios algoritmos se busca identificar varios patrones en los datos generados por los estudiantes (Villegas-Ch 2018).

Los patrones identificados se los clasifica con la finalidad de determinar el número de estudiantes que comparten determinadas variables, así como el grado de dificultad existente en el desarrollo de actividades académicas. Los resultados de la aplicación de algoritmos como la asociación, segmentación, clasificación, etc., son interpretados por expertos para llegar al conocimiento (Villegas-Ch and Luján-Mora 2017).

### 3.3. Sistema recomendador

La recomendación de actividades en este trabajo se la encarga a la IA, existen varios modelos que se ajustan a las necesidades establecidas para mejorar el aprendizaje

(Asociación Española de Inteligencia Artificial. et al. 1997). Entre estas, las más comunes son los Chatbot, los sistemas expertos, los sistemas de reconocimiento, la inteligencia basada en comportamientos, etc. Lo ideal es centrarse en un tipo de modelo que se ajuste a las necesidades de los estudiantes y cuya interacción aporte a la motivación de los estudiantes. Una de las herramientas que más realce tiene en el manejo e interacción con los usuarios son los Chatbot, este es un programa informático con el que es posible mantener una conversación (Hill et al. 2015). Esta habilidad permite solicitarle algún tipo de información o que lleve a cabo una acción. Los Chatbot incorporan sistemas de inteligencia artificial, por tanto, tienen la posibilidad de aprender sobre las preferencias de los usuarios con el paso del tiempo (Al-zubaide and Issa 2011). De manera general el uso de Chatbot está enfocado a tareas de marketing o dar a conocer información sobre un producto.

Alinear y modificar el uso común de un Chatbot para mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de una universidad depende de varios parámetros que han sido trabajados y depurados en fases anteriores. La figura 3 contiene la arquitectura de este sistema acoplado a los resultados obtenidos por el BI quien es el que se encarga del análisis de los datos de los estudiantes (Cahn 2017).

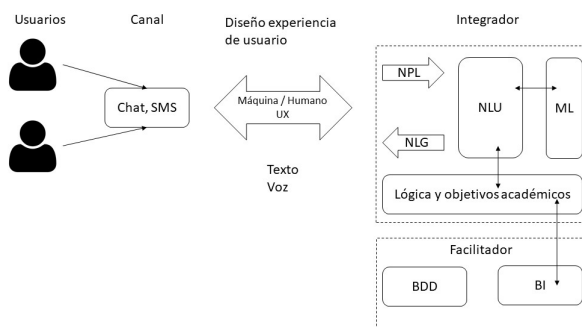


Figura 3 – Arquitectura de comunicación entre un Chatbot - BI.

Las fases de la arquitectura parten de la interacción del usuario con el sistema, esta interacción utiliza un canal que en este caso se la realiza por medio de un chat o SMS. Como se ha mencionado en otras secciones la idea de implementar un sistema integrado es ayudar a mejora el aprendizaje de los estudiantes. Para esto hay que tener presente que la estructura de la universidad depende en gran mayoría de las metodologías que los docentes utilizan dentro del aula. Estas metodologías se ven plasmadas a través de diferentes actividades y mecanismos de evaluación desarrolladas por los estudiantes. Estas actividades por políticas de la universidad se desarrollan con el uso de LMS (Black et al. 2007). Estos sistemas se han convertido en el asistente ideal para los docentes pues manejan todo tipo de información correspondiente a cada materia. El manejo centralizado de las actividades convierte al LMS en el principal sistema que el estudiante utiliza para la mayor parte de sus actividades académicas. Este señalamiento es importante porque el LMS integra todos los sistemas que interactúan con el estudiante.



Por ejemplo, un estudiante al iniciar su sesión en el LMS este también inicia el Chatbot, a su vez este sistema conoce de quién se trata y tiene a su disposición toda la información que ha sido tratada por el BI. Por lo tanto, el Chatbot sabe de antemano cuales son las fortalezas y deficiencias de cada estudiante.

El Chatbot, utiliza el canal de comunicación con el usuario y sigue hacia una capa intermedia conocida como UX. Estos sistemas manejan dos tipos de UXs, la *UX Interface* y *UX Writing*, la primera se dedica a definir como se muestra el contenido dentro del canal y generalmente viene construida por el canal, por ejemplo, Messenger de Facebook. La segunda UX se refiere a como el bot se comunica con el usuario, textos, imágenes, videos, flujos conversacionales, contextos y toda la serie de herramientas que permiten responder todo lo que el usuario pregunte o responda (Hirschberg and Manning 2008).

El siguiente modulo es el integrador, esta es la pieza clave de un chatbot, entrega todas las herramientas de procesamiento de lenguaje natural *natural language processing* (NLP), y es la parte de IA del chatbot. El NPL se encarga del proceso que realiza la máquina para adquirir, identificar y procesar el lenguaje natural, una vez procesado se pasa a otro proceso conocido como Comprensión del lenguaje natural *natural language understanding* (NLU). El NLU identifica la intención del usuario ¿Qué es lo que quiere el usuario?, el NLU es un proceso que va de la mano con el aprendizaje de maquina *Machine Learning* (ML). El chatbot integra reglas pre-establecidas de IA pues por debajo este integra una red neuronal que permite el este aprenda, esto implica que el chatbot necesita ser entrenado para sugerir las actividades que se acoplen a las necesidades de los estudiantes (Rahman, Al Mamun, and Islam 2018).

En el módulo del facilitador se encuentran todos los datos que han sido trabajados anteriormente tanto por el BI o por sistemas externos como bases de datos adicionales para la identificación del estudiante (Scholtz, Calitz, and Haupt 2018). En el facilitador se comunica con la lógica del sistema para este caso la parte académica. Por ejemplo, el estudiante que inicio su sesión en el LMS cuenta con un registro de actividades que necesitan su atención, es aquí donde entra en juego el chatbot. Este inicia con un saludo y automáticamente comunica al estudiante todos sus pendientes, en una segunda fase el chatbot cuenta con la información de las actividades en las que el desempeño del estudiante ha sido bajo. Estos datos vienen del BI y se encuentran en el facilitador. Con esta información el chatbot inicia una segunda interacción con el estudiante. El objetivo será buscar los motivos por los cuales ha fallado en el desarrollo de estas actividades. Tanto el NLP como el NLU entran en funcionamiento e interpretan la situación del estudiante. Por modulo integrador concluye cuales son las necesidades del estudiante y recomienda un tipo de actividad específica de un catálogo que está almacenado en el módulo de aprendizaje del LMS.

### **3.4. Integración de los LMS y la inteligencia artificial**

Para el funcionamiento adecuado de todo el sistema es importante la creación de módulos en LMS donde se integren los sistemas de IA y BI. La IA garantiza experiencias personalizadas para cada estudiante al analizar su comportamiento, en las diferentes materias interactuado directamente con los estudiantes e identificando su formato preferido para el aprendizaje (Valdiviezo-díaz, Cordero, and Reátegui 2015).



Esta información se utiliza para comprender qué es lo más relevante para un alumno y luego presenta cursos que se ajustan a esto para producir una vía menos lineal pero más efectiva para la retención de información. La IA hace que el LMS responda a las necesidades individuales del usuario al adaptarse de manera inteligente a las solicitudes que cada uno realiza aumentando el interés de los estudiantes. Al disponer de Cuantos más datos procesa el sistema, más aprende la inteligencia artificial sobre las necesidades individuales de los alumnos, lo que convierte la plataforma de aprendizaje en un motor de mejora continua que crece junto a sus alumnos.

#### 4. Discusión

Este trabajo propone un modelo que integra varios sistemas que se encargan de tareas muy necesarias en el ámbito educativo. Estas tareas van desde el análisis de datos por medio de herramientas de BI hasta la integración con la IA dentro de un contexto de un LMS. Una Arquitectura con estas características permite mejorar el aprendizaje al integrar todo el proceso en un ciclo donde el aprendizaje se centra en las necesidades del estudiante. Cada una de las etapas en otros trabajos se establecen como herramientas individuales que aportan en medida al desarrollo del aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo, la fortaleza de la arquitectura propuesta permite adquirir y analizar los datos de varias fuentes donde se incluya información relevante sobre el desempeño de los estudiantes. Integrar un sistema de BI a la arquitectura es posible al utilizar un ETL que permita establecer cadenas de conexión con diferentes bases de datos. Los ETL utilizados como referencia son *sql integration services* que maneja un tipo de licencia comercial y *pentaho data integration* que incluye una versión de uso abierto (Zapparolli and Stiubiener 2017). Los dos ETL tiene la capacidad de integrarse a conectarse a cualquier tipo de fuente de datos, procesarlos, transformarlos y cargarlos a un almacén de datos (Caldeira 2006). Este proceso garantiza que los datos que se incluyen en el análisis son de calidad agregando confiabilidad a las siguientes fases. Los datos limpios que son analizados por varios algoritmos de minería de datos identifican patrones en los datos por medio de los cuales se establece cuáles son las fortalezas y debilidades en el aprendizaje de cada estudiante (Gunatama 2019).

Establecidas las debilidades de cada estudiante se envían estos resultados a un sistema de IA. La diferencia con un método normal de minería de datos educativa es que la toma de decisiones y acciones siempre depende de las personas a cargo del aprendizaje. Esto es una debilidad en el proceso ya que por más que exista un análisis previo muy confiable la acción final depende del criterio de una persona. Otra desventaja es que cada acción para que tenga un efecto debe realizarse de manera inmediata. Esto en un proceso dependiente de personas no es posible por la cantidad de estudiantes pertenecientes a una universidad. El sistema propuesto aporta significativamente a este proceso, al integrar un módulo de IA permite la toma de decisiones en tiempo real. El módulo tiene a disposición toda la información resultante del análisis de datos además al utilizar un chatbot este aprende de la interacción con el usuario y aprende de él.

#### 5. Conclusiones

La inclusión de un sistema integral donde se incluya el análisis de datos, la toma de decisiones por medio a través de la interacción del usuario con un Chatbot y la

recomendación de actividades en un entorno de LMS permite mejorar el aprendizaje notablemente. El despliegue de una plataforma de BI que se encargue del procesamiento de datos académicos permite conocer mejor las tendencias, fortalezas y debilidades de los estudiantes. Sin embargo, el alcance de este trabajo es totalmente escalable lo que significa que se él sistema permite agregar otros actores en el ámbito de la educación, por ejemplo, el sistema puede convertirse en el asistente ideal de los docentes y aún más en el desarrollo administrativo de la universidad.

La toma de decisiones es uno de los puntos más fuertes y con mayores consecuencias tanto en un ambiente académico como en la industria. Sin embargo, esta debe ser efectiva y eficiente ejecutada en el momento preciso, en el desarrollo del aprendizaje esto toma mayor valor. Pues, de esta depende el éxito o fracaso académico de los estudiantes. Esto va acompañado de un seguimiento constante al estudiante y a todas las actividades académicas que este realiza dentro y fuera del aula. Encargar esta actividad a un Chatbot es lo más cercano a manejar un tutor en todo momento. Este se encarga de notificar todas las actividades que el estudiante debe desarrollar y sus posibilidades de interactuar con la estudiante mejora su interés en la materia al punto que el Chatbot puede recomendar que actividad se alinea con las necesidades y formas de aprender de cada uno de los estudiantes.

## Referencias

- Al-zubaide, Hadeel and Ayman A. Issa. 2011. "OntBot: Ontology Based ChatBot." Pp. 7–12 in *In International Symposium on Innovations in Information and Communications Technology*.
- Alia, Nur, Hamizah Mohamad, Mohd Shahizan Othman, and Lizawati Mi Yusuf. 2015. "Significance of Data Integration and ETL in Business Intelligence Framework for Higher Education." 181–86.
- Asociación Española de Inteligencia Artificial., José Cristóbal, Roberto Ruíz, and Karina Gilbert. 1997. *Inteligencia Artificial: Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. Vol. 10. Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA).
- Bean, John P. 1983. "The Application of a Model of Turnover in Work Organizations to the Student Attrition Process." *The Review of Higher Education* 6(2):129–48.
- Bean, John P. 1985. "Interaction Effects Based on Class Level in an Explanatory Model of College Student Dropout Syndrome." *American Educational Research Journal* 22(1):35–64.
- Bele, Julija Lapuh, Darko Bele, Rok Pirnat, and Qâlq Rqpdulü. 2015. "Business Intelligence in E-Learning." *IEEE* (September):369–75.
- Black, By Erik W., Dennis Beck, Kara Dawson, Susan Jinks, and Meredith Dipietro. 2007. "The Other Side of the LMS: Considering Implementation and Use in the Adoption of an LMS in Online and Blended Learning Environments." *TECH TRENDS* 51(April):35–40.

- Cahn, By Jack. 2017. "CHATBOT: Architecture, Design, & Development." Pp. 1–46 in *University of Pennsylvania School of Engineering and Applied Science Department of Computer and Information Scienc.*
- Caldeira, Carlos. 2006. "The Microsoft Data Warehouse Toolkit." *The Computer Journal* 50(2):249–249.
- Comendador, Benilda Eleonor V., Lorena W. Rabago, and Bartolome T. Tanguilig. 2016. "An Educational Model Based on Knowledge Discovery in Databases (KDD) to Predict Learner's Behavior Using Classification Techniques." *IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing, Conference Proceedings* 1–6.
- Gunatama, Margo. 2019. "Deduplication for Data Profiling Using Open Source Platform." *Atlantis Highlights in Engineering 2(IcoIESE 2018):272–76.*
- Hill, Jennifer, W. Randolph Ford, and Ingrid G. Farreras. 2015. "Computers in Human Behavior Real Conversations with Artificial Intelligence: A Comparison between Human – Human Online Conversations and Human – Chatbot Conversations." *COMPUTERS IN HUMAN BEHAVIOR* 49:245–50.
- Himmel, Erika. 2002. "Modelo de Análisis de La Deserción Estudiantil En La Educación Superior." *Calidad En La Educación* 0(17):91.
- Hirschberg, Julia and Christopher D. Manning. 2008. "Advances in Natural Language Processing." *A Companion to Cognitive Science* 349(6245):221–66.
- Kirkup, Gill and Adrian Kirkwood. 2005. "Information and Communications Technologies ( ICT ) in Higher Education Teaching - a Tale of Gradualism Rather than Revolution." *Learning, Media and Technology* 30(2):185–99.
- Moscoso-Zea, Oswaldo, Andres-Sampedro, and Sergio Luján-Mora. 2016. "Datawarehouse Design for Educational Data Mining." *International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training.*
- Nautilus, Sistem. n.d. "The Data Warehousing Insitute." <https://Www.Nautilus-Systems.Com/Dwdm.Html> 1.
- Pan, Bin, Guomin Zhang, and Xuepei Qin. 2018. "Design and Realization of an ETL Method in Business Intelligence Project." *IEEE International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis* 275–79.
- Peng, Michael Yao-ping. 2012. "Establishment of Business Intelligence and Big Data Analysis for Higher Education." 121–25.
- Rahman, A. M., Abdullah Al Mamun, and Alma Islam. 2018. "Programming Challenges of Chatbot: Current and Future Prospective." *5th IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2017, R10-HTC 2017* 2018-January:75–78.
- Ramsay, James O. and C. J: Dalzell. 1991. "Some Tools for Functional Data Analysis." *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 53(3):539–61.

- Riofrio, Guido, Eduardo Encalada, and Daniel Guamán. 2015. "Business Intelligence Applied to Learning Analytics in Student-Centered Learning Processes." Pp. 1–10 in *Latin American Computing Conference*.
- Salcines, Enrique García, Cristóbal Romero Morales, Sebastián Ventura, and Carlos De Castro. 2008. "Sistema Recomendador Colaborativo Usando Minería de Datos Distribuida Para La Mejora Continua de Cursos E-Learning." *IEEE-RITA* 3(1): 19–30.
- Scholtz, Brenda, Andre Calitz, and Ross Haupt. 2018. "A Business Intelligence Framework for Sustainability Information Management in Higher Education." *International Journal of Sustainability in Higher Education* 19(2):266–90.
- Usama FAYYAD, Gregory PIATETSKY-SHAPIRO, Padhraic SMYTH. 1996. "The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data." *Communications of the ACM* 39(11):27–34.
- Valdez, Alicia, Griselda Cortes, Sergio Castaneda, Jose Medina, and Gerardo Haces. 2017. "Development and Implementation of the Balanced Scorecard for a Higher Educational Institution Using Business Intelligence Tools." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 8(10):164–70.
- Valdiviezo-díaz, Priscila, Jorge Cordero, and Ruth Reátegui. 2015. "A Business Intelligence Model for Online Tutoring Process." *Ieee* 1–9.
- Villegas-Ch, W. and S. Luján-Mora. 2017. "Analysis of Data Mining Techniques Applied to LMS for Personalized Education." Pp. 85–89 in *2017 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*.
- Villegas-Ch, W., S. Luján-Mora, and D. Buenaño-Fernandez. 2017. "Data Mining Toolkit for Extraction of Knowledge from LMS." in *ACM International Conference Proceeding Series*. Vol. Part F1346.
- Villegas-Ch, W., S. Luján-Mora, D. Buenaño-Fernandez, and X. Palacios-Pacheco. 2018. "Big Data, the next Step in the Evolution of Educational Data Analysis." *Advances in Intelligent Systems and Computing* 721:138–47.
- Villegas-Ch, W., S. Lujan-Mora, D. Buenano-Fernandez, and M. Roman-Canizares. 2018. "Analysis of Web-Based Learning Systems by Data Mining." in *2017 IEEE 2nd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2017*. Vols. 2017-Janua.
- Villegas-Ch, William; Diego Buenaño-Fernández; Sergio Luján-Mora. 2018. "EDUCATIONAL DATA ANALYSIS APPLYING A KDD METHODOLOGY." Pp. 301–5 in *e-Society*.
- Zapparolli, Luciana Silva and Itana Stiubiener. 2017. "FAG - a Management Support Tool with BI Techniques to Assist Teachers in the Virtual Learning Environment Moodle." *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* 2(3):587–97.

# **Análisis de selección de materiales de cambio de fase (PCM) para almacenamiento de calor latente por métodos de decisión de multi-criterio (MCDM)**

Javier Martínez-Gómez<sup>1,4</sup>, Ricardo A. Narváez C.<sup>2,4</sup>, Gonzalo Guerrón<sup>3,4</sup>

**javier.martinez@uisek.edu.ec, ricardo.narvaez@geoenergia.gob.ec,  
gonzalo.guerron@geoenergia.gob.ec**

<sup>1</sup> Universidad internacional SEK, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Central del Ecuador (UCE-GIIP), 170521, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad UTE, 170147, Quito, Ecuador.

<sup>4</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), Quito, Ecuador.

**Pages: 176–189**

**Resumen:** El uso de almacenamiento de energía térmica con materiales de cambio de fase, de alta temperatura, permite aumentar considerablemente la eficiencia energética entre la producción de energía o la disponibilidad y el consumo. Esta investigación tiene como objetivo seleccionar un material de cambio de fase que logre la mejor solución del almacenamiento de energía térmica entre 200–400 °C y reduzca el costo de producción. Se han implementado métodos multicriterio de decisión para resolver el problema. Se han considerado propiedades características y criterios cualitativos de los materiales para asignar importancia a cada alternativa con el fin de seleccionar la mejor. Los resultados ilustraron que la mejor y la segunda mejor opción para los tres MCDM fueron NaOH y KNO<sub>3</sub>, porque tenían los valores más altos de los criterios más importantes para un PCM. Además, tenía valores de correlación de rango de Spearman entre los métodos superiores a 0,714.

**Palabras-clave:** energía solar térmica; almacenamiento de energía térmica latente (LHTES); toma de decisiones con criterios múltiples; material de cambio de fase (PCM); selección de materiales.

## ***Analysis of phase change materials selection (PCMs) for latent heat storage by Multicriteria decision methods (MCDM)***

**Abstract:** Use of thermal energy storage (TES) with high-temperature phase change materials (PCMs) for the above-mentioned applications will allow raising considerably energy efficiency in using the thermal and solar energy and solve the disparity between energy production or availability and consumption. This research aims to select a PCM which better accomplish the solution of the TES between 200–400 °C and reduce the cost of production. Multi-criteria decision-making methods (MCDM) have been implemented to solve the problem. It has been considered

characteristic properties and qualitative criteria of the materials to assign importance to each alternative in order to select the best alternative. The results illustrated the best and second-best choice for the three MCDM were NaOH and KNO<sub>3</sub>, because they had the highest values of the most important criteria for a PCM. Furthermore, it had values of Spearman's rank correlation between the methods exceeds of 0,714.

**Keywords:** solar thermal energy; latent heat thermal energy storage (LHTES); multi-criteria decision-making; phase change material (PCM); material selection.

## 1. Introdução

La producción de electricidad en plantas de energía solar térmica exige desarrollar almacenamiento de energía térmica (TES) con alta precisión, eficiencia energética y bajo costo (Acurio et al. 2019). Este TES debería resolver la brecha que existe entre la disponibilidad del recurso solar y la demanda de energía (Beltrán & Martínez-Gómez, 2019). Es necesario que retengan la energía térmica durante los períodos de alta irradiación solar y se mantengan hasta los períodos de su aplicación (Villacreses et al. 2017). TES ha sido un tema de investigación durante los últimos 30 años, pero la mayoría de los investigadores todavía sienten que uno de los puntos débiles de esta tecnología es el material que se utilizará como medio de almacenamiento (Acurio et al. 2018; Espinoza et al. 2018). Existen principalmente tres tipos de sistemas TES, el almacenamiento de calor sensible (SHS), el almacenamiento de calor latente (LHS) y el almacenamiento de energía termoquímica. SHS se puede lograr utilizando medios sólidos o líquidos e implica almacenar energía en un material sin su cambio de fase en el rango de temperatura del proceso de almacenamiento. Los sistemas LHS presentan varias ventajas en comparación con los otros dos métodos (Gaona et al. 2017).

- Almacenamiento de energía térmica a la temperatura de aplicación del proceso.
- Almacenar energía térmica como calor latente que permite una mayor capacidad de almacenamiento de energía térmica por unidad de peso o material sin ningún cambio de temperatura.
- Almacenar energía térmica de una fuente de energía térmica o eléctrica cuando esté disponible y usarla cuando sea necesario.

Además, presentan beneficios económicos y ambientales.

- Almacenar energía térmica natural para las necesidades de calefacción y refrigeración de las instalaciones, lo que reduce la demanda de energía y reduce la huella de carbono de las instalaciones.
- Almacenar energía térmica durante las horas de baja demanda y usarla durante la demanda máxima para ahorrar en costos de energía y ayudar a estabilizar la carga de la red.
- El cambio de carga de calentamiento y enfriamiento también reduce el estrés de calentamiento en el tiempo pico.

Los sistemas LHS con transición sólido-líquido o PCM se consideran una alternativa a los sistemas SHS, especialmente para aplicaciones de energía solar en el rango de temperatura media de 200-400 °C (Muñoz et al., 2012; Villacis et al. 2015). La sal fundida se utilizó como uno de los prometedores medios LHS a temperatura media en los sistemas de energía solar térmica. Debido al punto de fusión apropiado, bajo



costo unitario de almacenamiento, rango de temperatura de cambio de fase deseable, alta capacidad de calor y densidad de almacenamiento de energía, los nitratos y sus mezclas binarias como las sales fundidas típicas se usaron como PCM considerables. Esta investigación intenta resolver la selección de material para un PCM que logre mejor la solución del TES entre 200-400 °C.

La selección del material más apropiado para un propósito particular es un componente crucial para el diseño y desarrollo de productos. La selección de materiales se ha convertido en una fuente importante en los procesos de ingeniería debido a parámetros económicos, tecnológicos y ambientales (Castillo et al., 2017; Martínez-Gómez et al., 2017). Se observa que los objetivos y criterios en el proceso de selección de materiales a menudo están en conflicto, como las propiedades deseadas, el entorno operativo, el proceso de producción, el costo, el valor de mercado, la disponibilidad de fuentes de suministro y el rendimiento del producto.

Muchas investigaciones sobre aplicaciones de MCDM se han desarrollado en el campo del almacenamiento de energía. Fernández et al (2010) presentaron la selección de materiales con potencial de almacenamiento de energía térmica sensible en el rango de temperaturas de 150–200 °C por el software CES Selector. Además, Kara et al (2013) estudiaron la selección de materiales para el almacenamiento de energía sensible a alta temperatura. En esta investigación, se utilizó un paquete de software de selección de materiales CES Selector de Garanta Designa para evaluar el almacenamiento de calor sensible entre 500–750 °C. Sin embargo, aún no se ha realizado un estudio relacionado con la selección de material LHS para TES entre 200–400 °C.

En este estudio se han desarrollado tres métodos MCDM basados en clasificación de preferencias, es decir, COPRAS-G, TOPSIS y VIKOR para una clasificación precisa de los materiales alternativos para PCM. Los pesos comprometidos se han realizado mediante métodos AHP y Entropía. La correlación de rango de Spearman se ha utilizado para cuantificar la fuerza de la relación lineal entre los resultados. Todos los métodos han sido ampliamente estudiados y refinados en varios artículos (Martínez-Gómez, 2018; Villacreses et al. 2017). Se puede observar una explicación más extensa de estos métodos en la sección 2. Para estos métodos, se ha obtenido una lista de todas las opciones posibles, desde los mejores hasta los peores materiales adecuados, teniendo en cuenta los diferentes criterios de selección de materiales.

Este documento está organizado de la siguiente manera: Sección 2 Materiales y métodos, que describe la definición del problema de toma de decisiones, y la correlación de rango de MCDM y Spearman, utilizada en este estudio, la Sección 3 presenta los resultados de los diferentes MCDM, la Sección 4 desarrolla la discusión y la Sección 5 presenta las conclusiones de este estudio.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Definición del problema de decisión**

Comparar los materiales candidatos, clasificar y elegir el mejor material es una de las etapas más importantes en el proceso de selección de materiales. MCDM son herramientas analíticas empleadas para juzgar la mejor alternativa de un conjunto de

posibilidades y fácil de adaptar para diferentes aplicaciones (Aldas et al. 2019). Los métodos MCDM se pueden dividir en dos categorías, como (i) la toma de decisiones con múltiples objetivos (MODM) y (ii) la toma de decisiones con múltiples atributos (MADM). También hay varios métodos en cada una de las categorías mencionadas anteriormente. Los métodos basados en la prioridad, la clasificación preferencial, la clasificación basada en la distancia y los métodos mixtos son algunos de los métodos MCDM populares para evaluar y seleccionar los materiales más adecuados para diversas aplicaciones de ingeniería. En la mayoría de los métodos MCDM se asigna un cierto peso a cada propiedad individual del material (que depende de su importancia para la aplicación). Además, se deben ampliar los esfuerzos para identificar los criterios que influyen en una aplicación de ingeniería dada para eliminar alternativas inadecuadas y seleccionar la opción más adecuada utilizando un método simple y lógico. La elección adecuada de estos materiales depende de factores como sus propiedades físicas y termoquímicas, así como del tipo de fluido de transferencia de calor y el diseño del intercambiador de calor. Los requisitos básicos impuestos a los materiales de LHS se han formulado en (Gaona et al 2017; Godoy et al. 2017). Estos materiales deben poseer las siguientes propiedades:

La temperatura de fusión requerida, que permite que la unidad de almacenamiento trabaje en un rango deseable de temperaturas de trabajo; Alta capacidad térmica específica, calor de fusión y baja densidad para proporcionar los tamaños mínimos de la HSU. Fusión congruente: los PCM deben mantener la composición estequiométrica en condiciones sólidas y líquidas. De lo contrario, la distinción en la densidad de la fase líquida y sólida, que apareció en la fusión, conducirá a la separación de fases y cambiará la composición estequiométrica de la sal fundida; Convertibilidad confiable / Bajo grado de descomposición en transformaciones de fase repetidas; Alta conductividad térmica para proporcionar los gradientes de temperatura mínimos exigidos para la carga y descarga de la unidad TES. El cambio mínimo en el volumen en la transición de una fase a otra, lo que nos permite utilizar formas simples de contenedores e intercambiadores de calor. Sobre enfriamiento insignificante durante el endurecimiento. Estabilidad química para proporcionar el tiempo de vida requerido de la unidad TES; Compatibilidad con materiales de construcción para evitar la corrosión; No deben ser tóxicos o un poco tóxicos; Llama y seguridad contra incendios; Disponibilidad y bajo costo. La figura 1 ilustra el esquema de un PCM comercial. Para cumplir con todos estos requisitos, las propiedades más importantes son el calor de fusión ( $\lambda$ ) y el calor específico ( $C_p$ ). Se desean valores altos para mantener la cantidad máxima de energía y el tamaño mínimo de la HSU. Se requiere una alta conductividad térmica ( $k$ ) para proporcionar los gradientes de temperatura mínimos para cargar y descargar HSU. Se desean bajos costos ( $C$ ) para proporcionar una ventaja competitiva entre los fabricantes. La temperatura de fusión demandada ( $T_m$ ) proporciona el funcionamiento de la unidad de almacenamiento en un intervalo deseable de temperaturas de trabajo. La densidad ( $\rho$ ) es importante para reducir el tamaño de la HSU. Se tomaron en consideración siete alternativas para un PCM:  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{NaNO}_3 / \text{KNO}_3$  (0,5 / 0,5),  $\text{ZnCl}_2 / \text{KCl}$  (0,319 / 0,681). Las propiedades de las alternativas con sus datos cuantitativos se dan en la Tabla I y se usaron sus valores promedio.



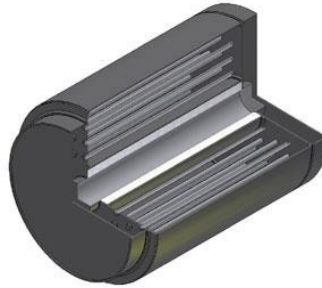


Figura 1 – Esquema de una unidad TES que utiliza PCM como medio de almacenamiento térmico y emplea los tubos de calor de alta temperatura para transferir el calor del receptor al PCM a un motor.

Material	(A) Calor de fusión (λ)	(B) Calor específico (Cp)	(C) Conductividad térmica (k)	(D) Coste (C)	(E) Temperatura de fusión (Tm)	(F) Densidad (ρ)
(1) Nano3	172	1,82	0,5	0,53	310	2260
(2) KNO <sub>3</sub>	266	1,22	0,5	0,78	330	2110
(3) NaOH	165	2,08	0,92	0,34	318	2100
(4) KOH	149,7	1,47	0,5	1,05	380	2044
(5) Incl.2	75	0,74	0,5	0,9	280	2907
(6) Nano <sub>3</sub> /KNO <sub>3</sub> (0,5/0,5)	100,7	1,35	0,56	0,64	220	1920
(7) Incl.2/KCl (0,319/0,681)	198	0,67	0,8	0,59	235	2480

Tabla 1 – Propiedades de los PC Ms (Gaona et al., 2017).

## 2.2. Métodos de toma de decisiones multi-criterio

### 2.2.1. Pesos de los criterios

Los pesos de los criterios se calculan utilizando un método de ponderación comprometido, donde se combinaron los métodos AHP y Entropía, para tener en cuenta los pesos subjetivos y objetivos de los criterios y obtener coeficientes de peso más razonables. El peso de síntesis para los criterios *jth* es:

$$w_j = \frac{\alpha_j x \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j x \beta_j} \quad j = 1, \dots, n \tag{1}$$

Donde  $\alpha_j$  son los pesos de los criterios *jth* obtenidos vía método AHP, y  $\beta_j$  son los pesos de los *jth* criterios obtenidos a través del método Entropía.

### 2.2.2. Método AHP

El AHP es una técnica estructurada para tratar con decisiones complejas. En vez de prescribir la decisión «correcta», el AHP ayuda a los tomadores de decisiones a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y a su comprensión del problema. Este método establece los pesos de una alternativa sobre otros. El modelo matemático puede encontrarse desarrollado en Villacreses et al. (2017).

### 2.2.3. Método Entropía

La entropía mide la incertidumbre en la información formulada usando la teoría de la probabilidad. La entropía explica la descripción del método en todo el desarrollo del método puede encontrarse en Martínez-Gómez (2018).

### 2.2.4. Método COPRAS-G

El método COPRAS-G es un método MCDM que aplica números grises para evaluar varias alternativas de una aplicación de ingeniería. Los números grises son una sección de la teoría gris para confrontar información insuficiente o incompleta. El nivel de incertidumbre se puede expresar mediante tres números: blanco, gris y negro. La mejor alternativa se asigna de acuerdo con el valor máximo del 100%. Toda la información sobre el método puede encontrarse en Villacreses et al. (2019).

### 2.2.5. Método TOPSIS

Este método se enfoca en identificar la alternativa correcta de acuerdo con la distancia entre las soluciones ideales y anti-ideales. El porcentaje más alto corresponde a la mejor alternativa. La metodología TOPSIS se estructura y se explica en Martínez-Gómez (2018).

### 2.2.6. Método VIKOR

El método VIKOR considera la cercanía a la solución ideal para clasificar el método alternativo. El valor más cercano a cero corresponde a la mejor alternativa. Toda la información sobre la metodología VIKOR puede encontrarse en Chingo et al. (2020).

### 2.2.7. Coeficiente de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman, es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias (tanto continuas como discretas). Evalúa qué tan bien se puede describir la relación entre dos variables usando una función monótona. Si no hay valores de datos repetidos, se produce una correlación perfecta de Spearman de +1 o -1 cuando cada una de las variables es una función monótona perfecta de la otra. La correlación de rango de Spearman se calcula mediante la ecuación (2).

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

Donde  $R_s$  es el Número de pares de valores,  $d_i$  es la diferencia entre los rangos de cada caso,  $n$  es el número de pares de valores.

### 3. Resultados

Los resultados para los pesos de cada criterio se calcularon mediante el método AHP y el método Entropía. Los resultados alcanzados con los métodos COPRAS-G, OCRA, VIKOR y TOPSIS se comparan con el coeficiente de correlación Spearman.

#### 3.1. Resultados de los pesos de los criterios

El peso de cada alternativa se asignó de acuerdo con el método AHP. La comparación entre las propiedades de cada alternativa se encuentra en la Tabla 1. La identificación de propiedades aparece bajo el nombre de cada propiedad como ( $\lambda$ ), (Cp), (k), (C), (Tm) y ( $\rho$ ). El peso de cada alternativa se asignó de acuerdo con los métodos AHP y Entropía. La ponderación de los criterios se realizó en primer lugar mediante el método AHP para obtener las ponderaciones subjetivas de los diferentes criterios de evaluación. Después de que se diseñó la jerarquía de decisión para el problema, los criterios se compararon por pares en función de la experiencia del autor utilizando la escala dada en la sección 3.1. En la Tabla 2 se muestra la escala de importancia relativa utilizada en el método AHP. En la Tabla 3 se ilustra la matriz de decisión generada para un PCM que logra mejorar la solución del TES entre 200-400 °C. Se consideraron los criterios más importantes para generar la matriz ( $\lambda$ ) se tomó moderado más importante (Cp) se consideró fuertemente más importante (k), (C), se consideró muy fuertemente más importante (Tm) se tomó extremadamente más importante ( $\rho$ ). Los resultados son consistentes debido al valor del índice de consistencia (IC=0,052) y la relación de consistencia (CR = 0,041) que son inferiores al límite 0,1.

Definición	Intensidad de importancia
<i>Importancia igual</i>	1
<i>Importancia moderada</i>	3
<i>Importancia fuerte</i>	5
<i>Importancia mucho más fuerte</i>	7
<i>Importancia extremadamente más fuerte</i>	9
<i>Importancia intermedia entre los anteriores</i>	2, 4, 6, 8

Tabla 2 – Escala de importancia entre pesos AHP.

( $\lambda$ )	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	( $\rho$ )
1	3	5	5	7	9
0,333	1	3	3	5	7
0,2	0,333	1	1	3	5
0,2	0,333	1	1	3	5
0,143	0,2	0,333	0,333	1	3
0,111	0,143	0,2	0,2	0,333	1

Tabla 3 – Comparación entre criterios del método AHP.

Material	(λ)	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	(ρ)
1	0,380	0,485	0,299	0,276	0,390	0,374
2	0,588	0,325	0,299	0,407	0,415	0,350
3	0,364	0,554	0,550	0,177	0,400	0,348
4	0,331	0,391	0,299	0,548	0,478	0,339
5	0,166	0,197	0,299	0,469	0,352	0,482
6	0,222	0,359	0,335	0,334	0,277	0,318
7	0,437	0,178	0,478	0,308	0,295	0,411

Tabla 4 – Matriz normalizada de decisión para el método entropía.

En el paso final, los pesos comprometidos de los criterios ( $w_j$ ) se calcularon utilizando la ecuación (1). La matriz de decisión normalizada para el método de entropía aparece en la Tabla 4. En la Tabla 5, el coeficiente de peso de cada criterio se determinó en función de los resultados de los métodos AHP y Entropía. Por un lado, los valores más representativos son ( $\lambda$ ) 44,0% y tomados ( $k$ ) 22,8%. Por otro lado, menos del 34% del peso total se distribuye en ( $k$ ), ( $C$ ), ( $Tm$ ) y ( $\rho$ ).

	(λ)	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	(ρ)
$\alpha_j$	0,461	0,240	0,109	0,109	0,051	0,028
$\beta_j$	0,146	0,146	0,173	0,157	0,187	0,192
$w_j$	0,440	0,228	0,123	0,112	0,063	0,035

Tabla 5 – Criterios de ponderación por el AHP ( $\alpha_j$ ) y Entropía de escalas equilibradas ( $\beta_j$ ), métodos y métodos de ponderación comprometidos ( $w_j$ ).

### 3.2. Resultados del método COPRAS-G

La matriz de decisión relacionada se desarrolla primero a partir de los números grises aplicados en COPRAS-G como se ilustra en la Tabla 6. Las ecuaciones permiten desarrollar una matriz de decisión con pesos normalizados, como se muestra en la Tabla 7. La Tabla 8 muestra los valores de prioridad ( $S_i$ ) y los valores de utilidad cuantitativa ( $U$ ) para las alternativas candidatas del PCM, que se calcularon. La Tabla 8 también muestra la clasificación del material alternativo como 2-3-1-7-4-6-5. NaOH y KNO<sub>3</sub> obtienen el primer y segundo rango respectivamente, en contraste, ZnCl<sub>2</sub> tiene la peor opción.

Material	(λ)	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	(ρ)						
1	154,8	189,2	1,638	2,002	0,45	0,55	0,477	0,583	279	341	2034	2486
2	239,4	292,6	1,098	1,342	0,45	0,55	0,702	0,858	297	363	1899	2321
3	148,5	181,5	1,872	2,288	0,828	1,012	0,306	0,374	286,2	349,8	1890	2310
4	134,73	164,67	1,323	1,617	0,45	0,55	0,945	1,155	342	418	1839,6	2248,4
5	67,5	82,5	0,666	0,814	0,45	0,55	0,81	0,99	252	308	2616,3	3197,7
6	90,63	110,77	1,215	1,485	0,504	0,616	0,576	0,704	198	242	1728	2112
7	178,2	217,8	0,603	0,737	0,72	0,88	0,531	0,649	211,5	258,5	2232	2728

Tabla 6 – Matriz de decisión del método COPRAS-G

Material	( $\lambda$ )	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	( $\rho$ )						
1	0,060	0,074	0,040	0,049	0,013	0,016	0,011	0,014	0,008	0,010	0,004	0,005
2	0,093	0,114	0,027	0,033	0,013	0,016	0,016	0,020	0,009	0,011	0,004	0,005
3	0,058	0,071	0,046	0,056	0,024	0,029	0,007	0,009	0,009	0,011	0,004	0,005
4	0,053	0,064	0,032	0,039	0,013	0,016	0,022	0,027	0,010	0,013	0,004	0,005
5	0,026	0,032	0,016	0,020	0,013	0,016	0,019	0,023	0,008	0,009	0,006	0,007
6	0,035	0,043	0,030	0,036	0,015	0,018	0,013	0,016	0,006	0,007	0,004	0,005
7	0,070	0,085	0,015	0,018	0,021	0,007	0,012	0,015	0,006	0,008	0,005	0,006

Tabla 7 – Matriz normalizada de números grises.

Material	Pi	Ri	Qi	Ui	Rank
1	0,134	0,015	0,153	83,823	3
2	0,156	0,019	0,172	94,076	2
3	0,157	0,011	0,183	100,000	1
4	0,122	0,023	0,135	73,938	4
5	0,078	0,023	0,090	49,510	7
6	0,098	0,016	0,117	64,076	6
7	0,115	0,017	0,133	72,745	5

Tabla 8 – Valores Pi, Ir, Qi y Ui.

### 3.3. Resultados del método TOPSIS

La matriz de decisión dada en la Tabla 1 se normalizó para la aplicación del método TOPSIS y esto se multiplicó por los pesos comprometidos obtenidos. En la Tabla 9 se muestra la matriz de decisión ponderada y normalizada para las alternativas PCM. Las soluciones y nadir ideales se presentan en la Tabla 10. Las distancias desde las soluciones ideales ( $S_i^+$ ) y nadires ideales ( $S_i^-$ ) y la cercanía relativa a la solución ideal ( $C_i$ ) se clasificación como se muestra en la Tabla 11. La clasificación del material alternativo es 2-3- 1-7-4-6-5. Para el método TOPSIS,  $KNO_3$  y  $NaOH$  obtienen los materiales de primer y segundo rango para el PCM.  $ZnCl_2$  tuvo el último rango y  $NaNO_3 / KNO_3$  tuvo el segundo último rango.

Material	( $\lambda$ )	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	( $\rho$ )
1	0,167	0,110	0,037	0,031	0,024	0,013
2	0,258	0,074	0,037	0,046	0,026	0,012
3	0,160	0,126	0,068	0,020	0,025	0,012
4	0,145	0,089	0,037	0,061	0,030	0,012
5	0,073	0,045	0,037	0,053	0,022	0,017
6	0,098	0,082	0,041	0,037	0,017	0,011
7	0,192	0,041	0,059	0,034	0,018	0,014

Tabla 9 – Pesos normalizados del método TOPSIS.

	( $\lambda$ )	(Cp)	(k)	(C)	(Tm)	( $\rho$ )
V <sup>+</sup>	0,258	0,126	0,068	0,020	0,030	0,011
V <sup>-</sup>	0,073	0,041	0,037	0,061	0,017	0,017

Tabla 10 – Soluciones ideales y Nadir del método TOPSIS.

Material	(S <sub>i</sub> <sup>+</sup> )	(S <sub>i</sub> <sup>-</sup> )	(C <sub>i</sub> )	Ranking
1	0,098	0,121	0,552	3
2	0,066	0,189	0,741	1
3	0,098	0,133	0,575	2
4	0,130	0,088	0,405	5
5	0,208	0,011	0,050	7
6	0,170	0,054	0,242	6
7	0,090	0,112	0,508	4

Tabla 11 – Detalle de los resultados del método TOPSIS.

### 3.4. Resultados del método VIKOR

Los valores de E<sub>i</sub>, F<sub>i</sub> y P<sub>i</sub> se calcularon como se muestra en la Tabla 12. El material con el valor más bajo recibió la mejor clasificación. De acuerdo con la clasificación de alternativas por el método VIKOR presentado en la Tabla 12, los materiales de clasificación para un PCM son 2-3-1-7-4-6-5, lo que indica que KNO<sub>3</sub> y NaOH obtienen el primer y segundo rango para el Materiales PCM. Por otro lado, ZnCl<sub>2</sub> tenía el último rango y NaNO<sub>3</sub>/ KNO<sub>3</sub> tenían el segundo último rango.

Material	E <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	P <sub>i</sub>	Rank
1	0,514	0,216	0,293	3
2	0,352	0,139	0,000	1
3	0,397	0,232	0,201	2
4	0,520	0,268	0,385	5
5	0,842	0,440	1,000	7
6	0,766	0,380	0,824	6
7	0,564	0,228	0,364	4

Tabla 12 – Detalles de los resultados del método VIKOR.

### 3.5. Resultados del coeficiente de correlación de Sperman

En la Tabla 13 se muestran los coeficientes de correlación de Sperman para un PCM. Estos representan la correspondencia mutua entre los métodos MCDM. La magnitud de este parámetro para un PCM excede 0,714 para la relación de los resultados entre los métodos COPRAS-G, TOPSIS y VIKOR. En caso de la magnitud del parámetro entre

TOPSIS y VIKOR, tiene un valor de 1, lo que indica que todos los resultados tienen el mismo rango.

	TOPSIS	VIKOR
COPRAS	0,714	0,714
TOPSIS	-	1,000

Tabla 13 – Índices de correlación de Sperman.

#### 4. Discusión

Los MCDM son una herramienta importante para reconocer e identificar la mejor alternativa en varios de ellos. Estos métodos pueden adaptarse a diferentes tipos de entornos y condiciones que afectarían el resultado final y es por eso por lo que estos enfoques se aplican en diferentes áreas de la ciencia, la ingeniería y la gestión.

En este caso, aprovechamos MCDM para conocer la mejor alternativa para un PCM. En la Fig. 2 se resume el rango general de cada método MCDM para las diferentes alternativas de material. Se ha observado que para los métodos COPRAS-G, VIKOR y TOPSIS, la mejor alternativa de material y la segunda mejor alternativa corresponden a NaOH y KNO<sub>3</sub>, porque tienen los valores más altos para las propiedades más importantes para un PCM. La principal contribución al campo de estos resultados es obtener un material para TES con alto calor de fusión ( $\lambda$ ), calor específico ( $C_p$ ) y conductividad térmica ( $k$ ) con bajo costo. Por el contrario, para obtener todo el calor de fusión, la temperatura de operación del TES debe diseñarse por encima de 310 °C para NaOH y por encima de 330 °C KNO<sub>3</sub>. En caso de que la temperatura máxima en servicio no pase este valor, debe elegir otro compuesto.

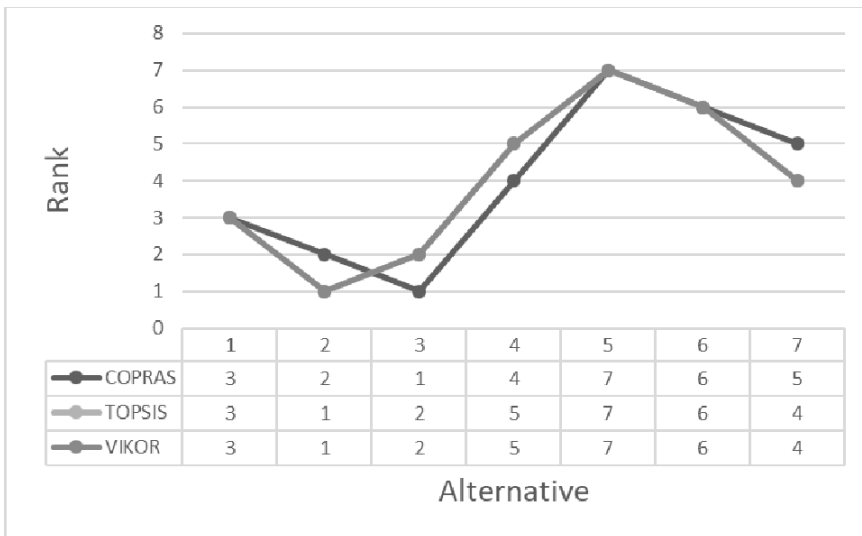


Figura 2 – Ranking y alternativas de los distintos PCMs.

Propiedades similares se han utilizado en los estudios de Kara et al (2013) en la selección de materiales para el almacenamiento de energía sensible a alta temperatura y Fernández et al (2010) en la Selección de materiales con potencial en el almacenamiento de energía térmica sensible entre 150–200 °C, que se ha tenido en cuenta cómo las propiedades más importantes para los materiales en aplicaciones TES son las propiedades más importantes para el calor de fusión ( $\lambda$ ), el calor específico ( $C_p$ ) y la conductividad térmica ( $k$ ), con el costo ( $C$ ) y la densidad ( $\rho$ ). Además, Fernández et al (2010) consideraron la resistencia a la fractura, pero esto es relevante para la estructura que contiene PCM y no para los materiales del LHS.

## 5. Conclusiones

En este documento, el problema de selección de material para un PCM a temperatura media entre 200–400 ° C para LHS se ha resuelto utilizando un modelo de decisión MCDM. El modelo incluye los métodos COPRAS-G, VIKOR y TOPSIS. Las puntuaciones de clasificación que se utilizaron para clasificar los materiales alternativos se obtuvieron como resultados de los métodos. Según los resultados de los métodos COPRAS, VIKOR y TOPSIS, la mejor y la segunda mejor opción son NaOH y KNO<sub>3</sub>, porque tienen los valores más altos de los criterios más importantes para un PCM.

Los resultados muestran que hacer un TES con NaOH y KNO<sub>3</sub>, podría reducir el costo de fabricación con un alto calor de fusión ( $\lambda$ ), calor específico ( $C_p$ ) y conductividad térmica ( $k$ ). Estas propiedades deberían mejorar la eficiencia energética del TES. Además, debe tener en cuenta que, para obtener todo el calor de fusión para el TES, la temperatura de operación debe ser superior a 310 ° C para NaOH y superior a 330 ° C KNO<sub>3</sub>. En caso de que la temperatura máxima en servicio no pase este valor, debe elegir otro compuesto.

En conclusión, el enfoque MCDM es una herramienta viable para resolver los complejos problemas de decisión de selección de materiales. Se encontró que el coeficiente de correlación de rango de Spearman era muy útil en la evaluación de la correlación entre tres métodos de clasificación. El modelo que se desarrolló para la selección de material para un PCM se puede aplicar en otras aplicaciones para problemas de selección de material.

## 6. Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto “Selección, caracterización y simulación de materiales de cambio de fase para el confort térmico, enfriamiento y almacenamiento de energía”. Este proyecto forma parte de la convocatoria INEDITA para proyectos de investigación de I + D en el campo de la energía y los materiales. Esta investigación forma parte del proyecto P121819, “Parque de Energías Renovables” fundado por la Universidad Internacional SEK.

## Referencias

Acurio, K., Chico-Proano, A., Martínez-Gómez, J., Ávila, C. F., Ávila, Á., & Orozco, M. (2018). Thermal performance enhancement of organic phase change materials using spent diatomite from the palm oil bleaching process as support. *Construction and Building Materials*, 192, 633-642.



- Acurio, K., Chico-Proano, A., Martínez-Gómez, J., & Orozco, M. (2019). Regeneration of waste diatomite from palm oil production process as a support material for pcms in thermal energy storage in buildings. In *Advanced Materials Research Trans Tech Publications*, 1151, 29-33.
- Aldás, P. S. D., Constante, J., Tapia, G. C., & Martínez-Gómez, J. (2019). Monohull ship hydrodynamic simulation using CFD. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 15(4), 417-433.
- Beltrán, R. D. & Martínez-Gómez, J. (2019). Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment. *Journal of Building Engineering*, 24, 100726.
- Chingo, C., & Martínez-Gomez, J. (2020). Material selection using multi-criteria decision making methods for geomembranes. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 16(1), 24-52.
- Espinoza, V. S., Guayanlema, V., & Martínez-Gómez, J. (2018). Energy Efficiency Plan Benefits in Ecuador: Long-range Energy Alternative Planning Model. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 52-54.
- Fernández, A. I., Martínez, M., Segarra, M., Martorell, I., & Cabeza, L. F. (2010). Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage. *Solar energy materials and solar cells*, 94(10), 1723-1729.
- Gaona, D., Urresta, E., Marínez, J., & Guerrón, G. (2017). Medium-temperature phase-change materials thermal characterization by the T-History method and differential scanning calorimetry. *Experimental Heat Transfer*, 30(5), 463- 474.
- Godoy-Vaca, L., Almaguer, M., Martínez, J., Lobato, A., & Palme, M. (2017). Analysis of solar chimneys in different climate zones - case of social housing in ecuador. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 245(7) doi:10.1088/1757-899X/245/7/072045 Retrieved from www.scopus.com
- Kastillo, J. P., Martínez-Gómez, J., Villacis, S. P., & Riofrio, A. J. (2017). Thermal Natural Convection Analysis of Olive Oil in Different Cookware Materials for Induction Stoves. *International Journal of Food Engineering*, 13(3).
- Khare, S., Dell'Amico, M., Knight, C., & McGarry, S. (2013). Selection of materials for high temperature sensible energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 115, 114-122.
- Martínez-Gómez, J., Guerrón, G., & Riofrio, A. J. (2017). Analysis of the “Plan Fronteras” for clean cooking in Ecuador. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(1), 135-145.
- Martínez-Gómez, J. (2018). Material selection for multi-tubular fixed bed reactor Fischer-Tropsch reactor. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 13(1), 1-29.

- Muñoz, A., Martínez, J., Monge, M. A., Savoini, B., Pareja, R., & Radulescu, A. (2012). SANS evidence for the dispersion of nanoparticles in  $W-1Y_2O_3$  and  $W-1La_2O_3$  processed by hot isostatic pressing. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 6-9.
- Villacís, S., Martínez, J., Riofrío, A. J., Carrión, D. F., Orozco, M. A., & Vaca, D. (2015). Energy efficiency analysis of different materials for cookware commonly used in induction cookers. *Energy Procedia*, 75, 925-930.
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286.
- Villacreses, G., Martínez-Gómez, J., & Quintana, P. (2019). Geolocation of electric bikes recharging stations: City of Quito study case. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 14(4), 495-516.
- Villacreses, G., Salinas, S. S., Ortiz, W. D., Villacís, S., & Martínez-Gómez, J. (2017). Environmental Impact Assessment of Internal Combustion and Electric Engines for Maritime Transport. *Environmental Processes*, 4(4), 907-922.

# Patrones de desempeño académico de los estudiantes de educación media en la Prueba de ciencias naturales del Saber 11 con árboles de decisión

Ricardo Timarán-Pereira<sup>1</sup>, Arsenio Hidalgo-Troya<sup>1</sup>, Javier Caicedo-Zambrano<sup>1</sup>

ritimar@udenar.edu.co, arsenio.hidalgo@gmail.com, jacaza1@gmail.com

<sup>1</sup> Universidad de Nariño, 520001, San Juan de Pasto, Colombia.

Pages: 190–201

**Resumen:** En este artículo se describe el proceso de aplicar la metodología CRISP-DM para detectar los factores asociados al desempeño académico de los estudiantes de las instituciones colombianas de educación media que presentaron la prueba de ciencias naturales del Saber 11. Inicialmente, se construyó un repositorio de datos con la información socioeconómica, académica e institucional de estos estudiantes disponible en el ICFES. Luego de limpiar y transformar este repositorio, se construyó un modelo de clasificación basado en árboles de decisión para predecir patrones asociados al buen o bajo desempeño académico en la prueba de ciencias naturales. Se documentó y socializó el conocimiento descubierto con el fin de que pueda ser utilizado, conjuntamente con el existente, para mejorar la calidad de la educación media en Colombia.

**Palabras-clave:** CRISP-DM; desempeño académico; ciencias naturales; pruebas saber 11; árboles de decisión.

## *Academic performance patterns of middle school students in the Knowledge Natural Science Test 11 with decision trees*

**Abstract:** This paper describes the process of applying the CRISP-DM methodology to detect the factors associated with the academic performance of the students of the Colombian high school who presented the Natural Sciences test of Saber 11. Initially, a data repository with the socioeconomic, academic and institutional information of these students, available at ICFES, was built. After cleaning and transforming this repository, a classification model based on decision trees was built to predict patterns associated with good or low academic performance on the Natural Sciences test. The knowledge discovered was documented and socialized so that it can be used, together with that existing, to improve the quality of secondary education in Colombia.

**Keywords:** CRISP-DM; academic performance; natural sciences; saber 11 tests; decision trees.

## 1. Introducción

Los resultados de pruebas nacionales e internacionales muestran que Colombia posee un sistema educativo con bajos logros académicos de sus estudiantes, en cada uno de los niveles de estudio (Posada y Mendoza, 2014). Por esa razón, la Ley 1324 confiere al Instituto Colombiano para Evaluación de la Educación-ICFES la misión de evaluar, mediante exámenes externos estandarizados, la formación que se ofrece en el servicio educativo en los distintos niveles.

Según el Decreto 869 de 2010, emitido por el Ministerio de Educación Nacional-MEN, los objetivos del examen de estado Saber 11 son: seleccionar estudiantes para la educación superior; monitorear la calidad de la formación que ofrecen los establecimientos de educación media; y producir información para la estimación del valor agregado de la educación superior. De acuerdo a ICFES (2018), el examen Saber 11 se aplica a todos los estudiantes colombianos de grado once y está diseñado a partir de una estrecha colaboración con la comunidad académica. También pueden presentarlo quienes ya hayan obtenido el título de bachiller o hayan superado el examen de validación del bachillerato, de conformidad con las disposiciones vigentes. En esta investigación únicamente se tuvo en cuenta los primeros. En el Saber 11 se considera las directrices establecidas por el MEN (2006) relacionadas con los estándares básicos de competencias-EBC. Teniendo en cuenta estas competencias, el examen evalúa cinco componentes: lectura crítica, matemáticas, sociales y ciudadanas, inglés y ciencias naturales.

De acuerdo a lo planteado en (ICFES, 2019), específicamente en la prueba de ciencias naturales se evalúa la capacidad que tiene el estudiante de comprender y usar nociones, conceptos y teorías de las ciencias naturales en la solución de problemas. Evalúa también la habilidad del estudiante para explicar cómo ocurren algunos fenómenos de la naturaleza basado en observaciones, patrones y conceptos propios del conocimiento científico. La prueba, además, involucra en la evaluación el proceso de indagación, que incluye observar y relacionar patrones en los datos para derivar conclusiones de fenómenos naturales. La prueba de ciencias naturales no pretende evaluar conocimientos científicos en sentido estricto, sino la capacidad de los estudiantes para reconstruir significativamente el conocimiento existente, razonar, tomar decisiones, resolver problemas, pensar con rigurosidad y valorar de manera crítica el conocimiento y sus consecuencias en la sociedad y en el ambiente.

Según Rodríguez et al., (2018), la mayoría de estudios que se han realizado en Colombia, para determinar el rendimiento académico en las pruebas Saber 11<sup>o</sup> (Gaviria & Barrientos, 2001; Barrientos, 2008; Correa, 2004; Chica, Galvis & Ramirez, 2010; Gómez, 2014; Hernández, 2015), se han centrado en el uso de técnicas estadísticas tradicionales, sin contemplar las diversas variables sociodemográficas, económicas, académicas e institucionales, disponibles para los estudiantes y para las instituciones de educación secundaria, dejando información valiosa sin explotar y que por general está oculta, que se puede descubrir utilizando un tratamiento más complejo de los datos, que es posible con la minería de datos.

La aplicación de las técnicas y herramientas de la minería de datos en los diferentes contextos educativos se conoce como minería de datos en la educación EDM (del inglés *Educational DataMining*) (Romero & Ventura, 2007). La minería de datos en la educación no es un tema nuevo, su estudio y aplicación ha sido muy relevante en los últimos años, se puede utilizar sus técnicas para explicar y/o predecir cualquier fenómeno dentro del campo educativo (Timarán et al., 2016). Utilizando las técnicas predictivas de EDM, se puede predecir, con un porcentaje muy alto de confiabilidad, la probabilidad de deserción de cualquier estudiante (Valero, 2009) (Valero et al., 2010), (Timarán et al., 2017). Por otra parte, utilizando técnicas descriptivas de EDM, se puede analizar el desempeño académico en las pruebas de estado (Blanco, 2015). Las instituciones de educación pueden usar la EDM para comprender y tener mejor conocimiento de los estudiantes, para evaluar su progreso y evaluar los entornos educativos en que aprenden, para encontrar grupos de estudiantes con problemas similares, para identificar el éxito o el fracaso en las estrategias de enseñanza y generar un discernimiento más profundo del aprendizaje, entre otros aspectos (Bienkowski et al., 2012).

En este artículo se describe el proceso de aplicar técnicas de EDM para detectar los factores asociados al desempeño académico de los estudiantes de las instituciones colombianas de educación media que presentaron la prueba de ciencias naturales del examen Saber 11 entre los años 2015 y 2016, por ser la información disponible en las bases de datos del ICFES, al momento de realizar esta investigación.

## 2. Materiales y métodos

Para el descubrimiento de patrones de desempeño académico en la prueba de ciencias naturales del examen Saber 11, se aplicó la metodología CRISP-DM (Chapman et al., 2000), (Villena, 2016), por ser según Azevedo & Santos (2008) y Hernández et al., (2005) un método probado para proyectos de minería de datos, más completa y la más ampliamente utilizada.

La metodología CRISP-DM contempla seis fases: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación.

En la fase de comprensión del negocio, se apropió el conocimiento acerca del problema que se iba a solucionar con la minería de datos educativa y fijar un plan para alcanzar los objetivos planteados. Esto permitió recolectar la información necesaria para interpretar con asertividad los resultados encontrados.

En la fase de análisis de los datos se empezó con la construcción del conjunto o repositorio inicial de datos, y posteriormente con las actividades que permitieron la familiarización con los datos, identificar los problemas de calidad, descubrir conocimiento preliminar sobre los datos, y establecer las relaciones más evidentes que permitieron definir las primeras hipótesis. En esta fase, se realizó una caracterización de las variables socioeconómicas de los estudiantes que presentaron la prueba de ciencias naturales del examen Saber 11°. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Variable Socioeconómica		N	%
Género	Femenino	575.659	54,2%
	Masculino	483.168	45,5%
	Sin dato	2.853	0,3%
Grupos de edad	Menor que 18 años	749.256	70,6%
	Entre 18 y 22 años	284.108	26,8%
	Mayor que 22 años	28.316	2,7%
Estrato social	Alto	27.408	2,6%
	Medio	221.438	20,9%
	Bajo	812.834	76,5%
Ingreso familiar	Menos de 1 SM	292.226	27,4%
	Entre 1 y menos de 2 SM	468.384	44,1%
	Entre 2 y menos de 3 SM	167.740	15,8%
	Entre 3 y menos de 5 SM	71.994	6,8%
	Entre 5 y menos de 7 SM	24.629	2,3%
	Entre 7 y menos de 10 SM	14.138	1,3%
	10 o más SM	18.374	1,7%
	Sin dato	4.195	0,4%
Tipo de Colegio	Privado	243.037	22,9%
	Público	818.643	77,1%
Jornada	Completa u Ordinaria	233.321	22,0%
	Única	2.570	0,2%
	Mañana	584.212	55,9%
	Tarde	164.430	15,5%
	Noche	77.147	7,3%
Zona Geográfica	Amazonas	18.605	1,8%
	Andina	286.890	27,0%
	Antioquia	132.851	12,5%
	Atlántica	235.799	22,2%
	Bogotá	189.418	17,8%
	Orinoquia	37.046	3,5%
	Pacífica	161.071	15,2%
Total		1.061.680	100,0%

Tabla 1 – Características socioeconómicas de los estudiantes que presentaron la prueba de ciencias naturales.

Además, a través del coeficiente de correlación de Pearson, se estableció como se asocia linealmente la competencia de ciencias naturales con el resto de competencias y con el puntaje global del examen Saber 11. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Competencias	Ciencias Naturales	Inglés	Lectura Crítica	Matemáticas	Ciudadanas	Global
Ciencias Naturales	1	0,715	0,790	0,825	0,814	0,929

Tabla 2 – Correlación de ciencias naturales con el resto de competencias del Saber 11.

De acuerdo a la tabla 2, y teniendo en cuenta la clasificación de Cohen, para la interpretación del coeficiente de Pearson, se observó que la competencia de ciencias naturales presenta una correlación alta ( $r > 0,5$ ) y positiva con el resto de competencias, sin embargo, ciencias naturales tiene una alta correlación con el puntaje global de la prueba Saber 11.

En la fase de preparación de los datos, se realizaron todas las actividades conducentes a obtener el conjunto final de los datos, a partir del repositorio inicial. Se aplicaron técnicas de limpieza y transformación de datos, discretización de variables, generación de variables adicionales, integración de diferentes orígenes de datos y cambios de formato, entre otras. Como resultado de esta fase se obtuvo un repositorio de datos limpio y transformado, con 1.061.680 registros y 16 atributos al cual se le denominó T1061680A16.

En la fase de modelado se seleccionó la clasificación basada en árboles de decisión como la técnica predictiva de minería de datos más adecuada para resolver el problema y se escogieron los parámetros más óptimos para la construcción del modelo. Para ello, se utilizó la herramienta WEKA ver 3.9.4 (Witten et al., 2011) y su algoritmo J48, el cual implementa al algoritmo C.45, (Quinlan, 1993). El parámetro más importante que se tuvo en cuenta para la poda fue el factor de confianza  $C$  (*confidence level*), que influye en el tamaño y capacidad de predicción del árbol construido. Cuanto más baja se haga esa probabilidad, se exigirá que la diferencia en los errores de predicción antes y después de podar sea más significativa para no podar. El valor por defecto de este factor es del 25% y conforme va bajando este valor, se permiten más operaciones de poda y por lo tanto llegar a árboles cada vez más pequeños (García & Álvarez, 2010). Otro parámetro utilizado para variar el tamaño del árbol fue a través del factor  $M$  que especifica el mínimo número de instancias o registros por nodo del árbol (Witten et al., 2011).

En la fase de evaluación se verificó cada uno de los modelos construidos con los diferentes valores de los parámetros  $C$  y  $M$  y se escogió el modelo que más se ajusta a las necesidades establecidas en el proyecto. Se evaluaron los patrones encontrados con el fin de determinar su validez, remover los redundantes o irrelevantes y traducir los patrones útiles en términos que sean entendibles para el usuario.

Para determinar la calidad y validez de los modelos se utilizó el método de validación cruzada (*Cross validation*) y específicamente la sugerida por Hernández et al., (2005), la validación cruzada con 10 pliegues (*10-fold cross validation*), porque permite reducir

la dependencia del resultado del experimento en el modo en el cual se realiza la partición entre el conjunto de entrenamiento y conjunto de prueba, Además, otra ventaja de la validación cruzada es que la varianza de los 10 errores de muestra parciales, permite estimar la variabilidad del método de aprendizaje con respecto al conjunto de datos.

Por otra parte, se evaluó o estimó el coste del clasificador para el repositorio T1061680A16 a través de la matriz de confusión. La matriz de confusión representa de forma detallada el número de instancias que son predichas por clase. Los valores en la diagonal son los aciertos y el resto son los errores de clasificación (ejemplos que pertenecían a la clase  $i$  de la fila  $i$  y fueron clasificados incorrectamente en otra) (Fernández, 2009).

Finalmente, en la fase de implementación, se organizó y documentó el conocimiento adquirido en esta investigación, con el fin de integrarlo al conocimiento existente sobre rendimiento académico en las pruebas Saber 11 y que puede ser usado por el MEN e instituciones educativas de educación secundaria, para mejorar la calidad de la educación media en Colombia.

### 3. Resultados

Teniendo en cuenta los parámetros de evaluación anteriores, se procedió a construir los diferentes árboles de decisión con el algoritmo J48. Se escogió como clase el puntaje en ciencias naturales (atributo `punt_ciencias_cuali`) de cada estudiante obtenido en las pruebas Saber 11°, el cual fue discretizado en las categorías “por encima de la media nacional”, con 458.307 estudiantes, y “por debajo de la media nacional”, con 603.373, siendo la media nacional 52 sobre 100. Con el fin de obtener diferentes modelos de árboles y escoger el de mejores resultados, se establecieron cuatro porcentajes de pre poda del árbol para el factor  $M$  igual a 0.05%, 1%, 2% y 2,5% del total de registros del repositorio de datos, y tres porcentajes para el factor confianza  $C$  igual a 25%, 10% y 5% y se construyeron los diferentes modelos combinando estos factores. Se escogió el árbol construido con los parámetros  $M= 25.000(2,5\%)$  y  $C=10\%$  por los mejores resultados obtenidos y por la

```

=== Stratified cross-validation ===
Correctly Classified Instances      692481      65.225 %
Incorrectly Classified Instances    369199      34.775 %
Kappa statistic                    0.2984
Mean absolute error                 0.4335
Root mean squared error             0.4656
Relative absolute error             87.0515 %
Root relative squared error        93.3024 %

Total Number of Instances          1061680

=== Confusion Matrix ===
 a  b <-- classified as
293172 204064 |  a = SOBRE LA MEDIA
165135 399309 |  b = BAJO LA MEDIA

```

Figura 1 – Exactitud del modelo y Matriz de Confusión.



facilidad de análisis de los patrones. Una vez construido los árboles se aplicó un proceso de pos poda para dejar las ramas y por ende las reglas más representativas, que son aquellas que sobrepasan un mínimo soporte del 2,5% y una confianza del 60%. En la figura 1 se muestra la precisión del árbol y su matriz de confusión. El árbol construido con los parámetros  $M=25000$  y  $C=10\%$  se muestra en la figura 2.

#### 4. Interpretación y discusión de resultados

De acuerdo al modelo de clasificación obtenido, del total de 1.061.680 estudiantes que presentaron la prueba de ciencias naturales, este clasifica correctamente a 692.481 casos, que corresponde a un porcentaje de precisión del 65% e incorrectamente a 369.199 casos, correspondiente a un porcentaje del 35% (ver figura 1).

```
J48 pruned tree
-----
fami_estrato = BAJO
| estu_edad_intervalo = Menor que 18 años
| | eco_condicion_tic = MALA
| | | cole_zonageo = ATLANTICA: BAJO LA MEDIA (97055.0/30637.0)
| | | cole_zonageo = ANDINA
| | | | estu_genero = M: SOBRE LA MEDIA (38106.51/17521.93)
| | | | estu_genero = F: BAJO LA MEDIA (53861.49/23988.43)
| | | cole_zonageo = ANTIOQUIA: BAJO LA MEDIA (21176.0/6830.0)
| | | cole_zonageo = BOGOTA: SOBRE LA MEDIA (13403.0/6523.0)
| | | cole_zonageo = PACIFICA: BAJO LA MEDIA (47698.0/20458.0)
| | | cole_zonageo = ORINOQUIA: BAJO LA MEDIA (13895.0/6914.0)
| | | cole_zonageo = AMAZONAS: BAJO LA MEDIA (8971.0/3779.0)
| | eco_condicion_tic = REGULAR
| | | cole_jornada = Noche: BAJO LA MEDIA (5999.0/1182.0)
| | | cole_jornada = Mañana
| | | | estu_genero = M: SOBRE LA MEDIA (67319.13/27787.45)
| | | | estu_genero = F
| | | | | eco_condicion_vivienda = MALA: BAJO LA MEDIA (35424.72/16195.35)
| | | | | eco_condicion_vivienda = BUENA: SOBRE LA MEDIA (48795.2/22685.93)
| | | | | eco_condicion_vivienda = REGULAR: BAJO LA MEDIA (3438.96/1657.7)
| | | cole_jornada = Tarde: BAJO LA MEDIA (51953.0/25590.0)
| | | cole_jornada = Completa u Ordinaria: SOBRE LA MEDIA (50031.0/17732.0)
| | estu_edad_intervalo = Entre 18 y 22 años: BAJO LA MEDIA (230240.0/62259.0)
fami_estrato = MEDIO
| cole_jornada = Noche: BAJO LA MEDIA (10142.0/2743.0)
| cole_jornada = Mañana: SOBRE LA MEDIA (98648.0/37576.0)
| cole_jornada = Tarde: SOBRE LA MEDIA (29321.0/12825.0)
| cole_jornada = Completa u Ordinaria: SOBRE LA MEDIA (82910.0/16840.0)
fami_estrato = ALTO: SOBRE LA MEDIA (27408.0/4547.0)

Number of Leaves:      24
Size of the tree:      33
```

Figura 2 – Árbol podado de Clasificación.

Teniendo en cuenta la matriz de confusión (figura 1), del total de 1.061.680 estudiantes evaluados, el modelo clasifica el desempeño académico en ciencias naturales sobre la media a 458.307 estudiantes, que corresponde a un 43% del total de casos y bajo la media a 603.373 estudiantes, que corresponde a un 57% del total. Por otra parte, del total de casos que el modelo clasifica sobre la media, 293.172 casos están correctamente clasificados y 165.135 son falsos casos, equivalente a un porcentaje del 64% y 36% respectivamente. De igual manera, del total de estudiantes que el modelo clasifica bajo

la media, 399.309 casos están correctamente clasificados y 204.064 son falsos casos, equivalente a un porcentaje de 66% y 34% respectivamente.

Además, por el hecho de que en el conjunto de datos T1061680A16 hay 497.236 estudiantes, cuyos resultados en ciencias naturales están sobre la media, el modelo clasifica correctamente al 59% de estos. De igual forma, de los 564.444 estudiantes que el conjunto de datos tiene bajo la media, el 71% están correctamente clasificados.

Para escoger los patrones más representativos, se dejaron solo aquellas reglas que cumplían el mínimo soporte del 2,5% y una confianza mínima de 60%, tanto los que se ubican por encima de la media, como aquellos que se sitúan por debajo de ella. Entre los patrones más importantes están:

Regla 1. Si el estudiante es de estrato socioeconómico bajo, es menor que 18 años, su condición TIC es mala, el colegio está situado en la zona Atlántica de Colombia entonces su desempeño académico en la prueba de ciencias naturales en el Saber 11° tiene mayor probabilidad de estar bajo la media nacional. El 9.1% del total de 1.061.680 estudiantes evaluados se clasifican de esta manera. El 68,4% de los 97.055 estudiantes que se clasifican así, están correctamente clasificados y el 11.8 % de los 564.444 que están bajo la media, cumplen este patrón.

Regla 2. Si el estudiante es de estrato socioeconómico bajo, es menor que 18 años, su condición, TIC es regular, la jornada de estudio es completa entonces su desempeño académico en la prueba de ciencias naturales en el Saber 11° tiene mayor probabilidad de estar sobre la media nacional. El 4.7% del total de 1.061.680 estudiantes evaluados se clasifican de esta manera. El 64,6% de los 50.031 estudiantes que se clasifican así, están correctamente clasificados y el 6,5 % de los 497.236 que están sobre la media, cumplen este patrón.

Regla 3. Si el estudiante es de estrato socioeconómico medio y la jornada de estudio es en la mañana entonces su desempeño académico en la prueba de ciencias naturales en el Saber 11° tiene mayor probabilidad de estar sobre la media nacional. El 9.3% del total de 1.061.680 estudiantes evaluados se clasifican de esta manera. El 61,9% de los 98.648 estudiantes que se clasifican así, están correctamente clasificados y el 12.3 % de los 497.236 que están sobre la media, cumplen este patrón.

Regla 4. Si el estudiante es de estrato socioeconómico medio y la jornada de estudio es completa entonces su desempeño académico en la prueba de ciencias naturales en el Saber 11° tiene mayor probabilidad de estar sobre la media nacional. El 7.8% del total de 1.061.680 estudiantes evaluados se clasifican de esta manera. El 79.7% de los 82.910 estudiantes que se clasifican así, están correctamente clasificados y el 13.3 % de los 497.236 que están sobre la media, cumplen este patrón.

Regla 5. Si el estudiante es de estrato socioeconómico alto entonces su desempeño académico en la prueba de ciencias naturales en el Saber 11° tiene mayor probabilidad de estar sobre la media nacional. El 2.6% del total de 1.061.680 estudiantes evaluados se clasifican de esta manera. El 83.4% de los 27.408 estudiantes que se clasifican así, están correctamente clasificados y el 4.6 % de los 497.236 que están sobre la media, cumplen este patrón.

Analizado los resultados obtenidos, el principal factor que el modelo considera con mayor ganancia de información y que está asociado al desempeño académico de los estudiantes que presentaron la prueba de ciencias naturales del examen Saber 11°, es el estrato socioeconómico al cual pertenecen los estudiantes, específicamente los estudiantes de estratos bajos tienen un desempeño bajo, lo que no sucede con estudiantes de estratos medios y especialmente altos que están sobre la media. Similar resultado obtuvo en la investigación de Timarán et al., (2019) sobre desempeño académico en Saber 11 pero teniendo en cuenta el puntaje general obtenido en este examen. Esto se debe a la alta correlación que se encontró (ver tabla 2) entre la competencia de ciencias naturales y el puntaje general obtenido en la prueba Saber 11 por cada estudiante. También, estos resultados coinciden con lo expuesto por López y González (2016), que indican que existe una evidencia en la relación entre la pertenencia a una clase social y el desempeño académico, es decir, que los estudiantes con un status socioeconómico más alto demuestran mayores logros académicos.

Otro factor que se destaca es la jornada académica, especialmente los de jornada completa que están sobre la media nacional. Esta tendencia se mantiene también en la investigación de Timarán et al., (2019). Además, coinciden con las conclusiones de (Chica, Galvis & Ramírez, 2009), en el cual los bachilleres de jornada completa obtienen puntajes más altos comparados con los estudiantes pertenecientes a otras jornadas. De igual manera en los resultados obtenidos en el estudio denominado “Efecto de la jornada escolar en el desempeño académico de los estudiantes colombianos”, realizado por Ramírez et al., (2018), la jornada escolar completa tiene mayor efecto que el resto de jornadas.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

En este estudio se aplicó la técnica de clasificación basada en árboles de decisión para detectar factores asociados al desempeño académico en la prueba de ciencias naturales del examen Saber 11 que presentan los estudiantes colombianos que están finalizando el último grado de educación secundaria. El modelo mostró que el 46.8% de los estudiantes que presentaron la prueba están sobre la media nacional y el 53.2% están bajo la media nacional. Este indicador muestra que el MEN y las instituciones de educación media deben tomar medidas para mejorar la calidad de la educación que se brinda en Colombia y especialmente en el caso que concierne a esta investigación, en el área de las ciencias naturales.

Dos son los factores que más inciden en el desempeño académico de los estudiantes en ciencias naturales, el estrato socioeconómico y la jornada de estudio. El MEN y los directivos de las instituciones de educación secundaria deben poner principal atención a los estudiantes de estratos bajos, facilitándoles las condiciones necesarias para que puedan desempeñarse mejor en sus estudios. De igual manera, es necesario implementar en la mayoría de colegios la jornada única ya que esta investigación ha mostrado que en este tipo de jornada, el desempeño de los estudiantes es mejor.

Se plantea como trabajos futuros complementar este estudio con el desempeño académico en el resto de competencias que evalúa las pruebas Saber 11, con el fin de determinar si los factores se mantienen o no, como sucede con el estudio que tuvo en cuenta el puntaje general. Además, utilizar otras técnicas de minería de datos como reglas de asociación y agrupamiento, que permitan relacionar cuales atributos se presentan juntos asociados al desempeño académico en las pruebas Saber 11° y cómo se agrupan los estudiantes de acuerdo a su rendimiento en dichas pruebas.

## 6. Agradecimientos

Al Sistema de Investigaciones de la Universidad de Nariño por financiar esta investigación.

## Referencias

- Azevedo, A., Santos, M. (2008). KDD, SEMMA and CRISP-DM: a parallel overview. In Proceedings of IADIS European Conference on Data Mining, (pp. 182-185). Amsterdam, Netherlands. ISBN: 978-972-8924-63-8.
- Barrientos, J. (2008). Calidad de la educación pública y logro académico en Medellín 2004-2006: Una aproximación por regresión intercuartil. *Revista Lecturas de Economía*, 68(1), 121-144. ISSN: 0120-2596.
- Bienkowski, M., Feng, M., & Means, B. (2012). Enhancing teaching and learning through educational data mining and learning analytics: An issue brief. 1-60. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/308067314\\_Enhancing\\_teaching\\_and\\_learning\\_through\\_educational\\_data\\_mining\\_and\\_learning\\_analytics\\_An\\_issue\\_brief](https://www.researchgate.net/publication/308067314_Enhancing_teaching_and_learning_through_educational_data_mining_and_learning_analytics_An_issue_brief).
- Blanco, V. (2015). Análisis del Desempeño Académico del Examen de Estado para el Ingreso a la Educación Superior Aplicando Minería de Datos. (Tesis maestría en Sistemas y Computación), Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Valledupar, Colombia.
- Correa, J. J. (2004). Determinantes del Rendimiento Educativo de los Estudiantes de Secundaria en Cali: un análisis multinivel. *Revista Sociedad y Economía*, 6(1), 81-105.
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., & Wirth, R. (2000). CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide. CRISP-DM consortium: NCR Systems Engineering Copenhagen (USA and Denmark), DaimlerChrysler AG (Germany), SPSS Inc. (USA), and OHRA Verzekeringen en Bank Groep B.V. (The Netherlands).
- Chica, S., Galvis, D., & Ramírez, A. (2010). Determinantes del rendimiento académico en Colombia: pruebas ICFES Saber 11°. *Revista Universidad EAFIT*, 46 (160). ISSN: 0120-341X.
- Fernández, G. (2009). Extracción de Información de la Web usando Técnicas de Minería de Datos. Recuperado de: <http://www.tdg-seville.info/Download.ashx?id=48>

- García, J. (2016). Comenzando con Weka: Filtrado y selección de subconjuntos de atributos basada en su relevancia descriptiva para la clase. Technical report. Universidad de Malaga. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/308141950>.
- García, M., Álvarez, A. (2010). Análisis de datos en WEKA—pruebas de selectividad. Disponible en <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/06-07/28.pdf>. Recuperado de: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/06-07/28.pdf>
- Gómez, M., & Soares, G. (2013). Diferencias de género con relación al desempeño académico en estudiantes de nivel básico. *Alternativas en Psicología*, XVII, 28, 106-118.
- Gaviria, A., & Barrientos, J. (2001). Calidad de la educación y rendimiento académico en Bogotá. *Revista Coyuntura Social*, 24(1), 112-127. ISSN: 0121-2532.
- Gómez, J. (2014). Análisis de las competencias en matemáticas y lenguaje de los bachilleres colombianos. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas Economía y Negocios Internacionales. Universidad ICESI. Cali, Colombia. Disponible en: [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/77946/1/gomez\\_analisis\\_competencias\\_2014.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/77946/1/gomez_analisis_competencias_2014.pdf).
- Hernández, O. (2015). Determinantes del Rendimiento Académico en la Educación Media de Cundinamarca. (Trabajo de grado), Facultad de Economía, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., Colombia. Disponible en: <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/349/1/AA-Econom%C3%ADa-1077087614.pdf>.
- Hernández, J., Ramírez, M., & Ferri, C. (2005). *Introducción a la Minería de Datos*. Madrid (España): Pearson Prentice Hall. ISBN: 84-205-4091-9.
- ICFES (2018). *Lineamientos generales para la presentación del examen de Estado Saber 11°*. Bogotá, Colombia: icfes. ISBN: 978-958-11-0680-6.
- ICFES (2019). *Marco de referencia de la prueba de ciencias naturales Saber 11°*. Bogotá, Colombia: Icfes.
- López, H., & González, M. (2016). *Factores Asociados a la Competencia de Inglés como Lengua Extranjera de los Estudiantes Universitarios Colombianos*. (Tesis M.S.), Fac. Educación, Univ. La Sabana, Chía, Colombia.
- MEN, 2006. *Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas: Guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden*. Ministerio de Educación Nacional. ISBN: 958-691-290-6. Bogotá, Colombia.
- Posada, J. & Mendoza, F. (2014). *Determinantes del logro académico de los estudiantes de grado 11 en el periodo 2008-2010. Una perspectiva de género y región*. Bogotá, Colombia: Icfes, Men.

- Rodríguez, F., Benavides, H., & Riascos, A. (2018). Predicción del desempeño académico usando técnicas de aprendizaje de máquinas. Recuperado de: <https://www.icfes.gov.co/documents/20143/234129/Prediccion+desempeno+academico+usando+un+enfoque+de+mineria+de+datos.pdf>.
- Romero, C., & Ventura, S. (2007). Educational data mining: A survey from 1995 to 2005. *Expert Systems with Applications*, 33(1), 135-146. doi: 10.1016/j.eswa.2006.04.005.
- Timarán, S.R., Hernández, I., Caicedo, S.J., Hidalgo, A., & Alvarado, J.C. (2016). Descubrimiento de patrones de desempeño académico con árboles de decisión en las competencias genéricas de la formación profesional. Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. <http://dx.doi.org/10.16925/9789587600490>.
- Timarán, R., Jiménez, J., & Calderón, A. (2017). Detección de patrones de deserción estudiantil con minería de datos. Pasto, Colombia: Editorial Universitaria. Universidad de Nariño. ISBN: 978-958-8958-38-5.
- Timarán, R., Caicedo, J., & Hidalgo, A. (2019). Árboles de decisión para predecir factores asociados al desempeño académico de estudiantes de bachillerato en las pruebas saber 11°. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9 (2), 363-378, doi: 10.19053/20278306.v9.n2.2019.9184.
- Valero, S (2009). Aplicación de técnicas de minería de datos para predecir deserción. Puebla, México: Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros. Recuperado de: <http://www.utim.edu.mx/~svalero/docs/MineriaDesercion.pdf>.
- Valero, S., Salvador, A. y García, M. (2010). Minería de datos: predicción de la deserción escolar mediante el algoritmo de árboles de decisión y el algoritmo de los k vecinos más cercanos. Recuperado de: <http://www.utim.edu.mx/~svalero/docs/e1.pdf>.
- Villena, J. (2016). CRISP-DM: La metodología para poner orden en los proyectos de Data Science. Recuperado de: <https://data.sngular.team/es/art/25/crisp-dm-la-metodologia-para-poner-orden-en-los-proyectos-de-data-science>.
- Witten, I., Frank, E., & Hall, M. (2011). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Third Edition)*. Morgan Kaufmann. ISBN: 978-0-12-374856-0. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-19715-5>.

# Los nano-MOOC como herramienta de formación en competencia digital docente

Andrea Basantes-Andrade<sup>1</sup>, Marcos Cabezas-González<sup>2</sup>, Sonia Casillas-Martín<sup>2</sup>

avbasantes@utn.edu.ec, mcabezasgo@usal.es, scasillasma@usal.es

<sup>1</sup> Universidad Técnica del Norte, Grupo de Investigación de Ciencias en Red, 100105, Ibarra, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad de Salamanca, Paseo de Canalejas 169, Salamanca, España.

**Pages: 202–214**

**Resumen:** La competencia digital docente es ineludible a fin de aprovechar las posibilidades que ofrecen las tecnologías digitales para mejorar el desarrollo profesional y personal en la sociedad del conocimiento; por lo tanto, este estudio se centró en el diseño e implementación piloto de un curso en nano-MOOC como herramienta de formación en competencia digital docente en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. A través de un enfoque mixto (cuali-cuantitativo) de corte descriptivo y de campo se dio respuesta a tres interrogantes que ciñen esta investigación: a) ¿Cuál es el marco conceptual y caracterización de la competencia digital? b) ¿Cuál es el nivel de competencia digital que poseen los docentes? c) ¿Cuáles son las necesidades que tienen de formación en competencia digital?, la información obtenida, fundamentaron la propuesta de formación piloto basada nano-MOOC.

**Palabras-clave:** nano-MOOC; competencia digital; formación docente; INTEF; TIC.

## *Nano-MOOCs as a Training Tool for Digital Competence*

**Abstract:** The digital competence in professors is unavoidable when taking advantage of the possibilities offered by digital technologies to improve the professional and personal development in the knowledge society. Therefore, this study focused on the design and pilot implementation of a nano-MOOC course as a training tool for digital competence in professors at Universidad Tecnica del Norte located in Ibarra-Ecuador. Through a mixed (qualitative-quantitative) descriptive and field-based approach, three questions were answered throughout this research: a) What is the theoretical framework and characterization of digital competence? b) What is the level of digital competence that professors have? c) What are the needs of training in digital competence? the information obtained became the basis for the proposal of pilot training based on nano-MOOC.

**Keywords:** nano-MOOC; digital competence; professor training; INTEF; ICT.



## 1. Introducción

Estudiar la competencia digital es inexcusable no solo porque se trata de una línea estratégica establecida a nivel internacional, sino porque su trascendencia en el desarrollo personal y profesional incide de forma positiva para aprovechar las posibilidades que ofrecen las tecnologías digitales en una sociedad globalizada. El Parlamento Europeo y del Consejo en el año 2006 identificaron la competencia digital como una de las ocho competencias clave del aprendizaje permanente basado en el desarrollo humanístico que se interrelaciona con el mundo laboral del siglo XXI (Van-Laar, Van-Deursen, Van-Dijk y De Haan, 2017).

Tras esta declaración, en las últimas décadas la competencia digital cobra mayor significación en los docentes que desean estar a la altura de las demandas del aprendizaje actual. En el ámbito nacional e internacional la competencia digital no tiene una definición unívoca y se presenta en la literatura científica como: *digital competence*, competencia TIC, *digital skills*, *21st skills*, alfabetización digital, alfabetización informacional, alfabetización informática entre otros. Krumsvik (2014) define a la competencia digital como la habilidad del docente para usar las TIC en el contexto profesional con criterio pedagógico-didáctico.

En este sentido, la formación docente en competencias digitales no debe ser abordada de forma instrumental, sino con un enfoque en la práctica pedagógica para redefinir el proceso de enseñanza-aprendizaje. Autores como Sharov, Liapunova y Sharova (2019), Basantes-Andrade, Cabezas-González y Casillas-Martín (2019), y Tejada y Pozos (2018) establecen que, en una sociedad altamente competitiva, global y digitaliza requiere la formación docente en competencias digitales para enriquecer su acervo profesional, actualizar los fundamentos de su conocimiento, adquirir nuevas habilidades y destrezas pedagógicas, metodológicas y tecnológicas, orientadas a comprender y mejorar la formación de una nueva generación de estudiantes que nacen y crecen en la era digital con las TIC.

La incorporación de las TIC en los entornos virtuales de aprendizaje favorece la innovación educativa y facilita la co-creación del conocimiento a través de diversas herramientas, recursos, medios y formatos, (Basantes, Naranjo, Gallegos y Benítez (2017), Villarreal-Villa, García-Guliany, Hernández-Palma y Steffens-Sanabria (2019)). No obstante, la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, ejecuta cada año la planificación integral de capacitación para todos los docentes, uno de los temas que se aborda es el uso de las TIC en el ámbito educativo; en los dos últimos años esta formación ha incorporado nuevas ecologías educativas a través de plataformas virtuales a fin de cubrir la demanda y necesidad de los docentes.

La formación en nuevas tecnologías no es suficiente, el desafío está en desarrollar programas de formación profesional acorde con el conocimiento teórico y práctico contrastado en este campo (Pozo, López, Fernández y López, 2020); para ello, se desarrolló una propuesta de formación continua basada en formato de curso abierto denominado *Nano Open Online Course* (NOOC) o también conocido como nano-MOOC, este se caracteriza por tener una configuración flexible de contenidos, recursos, tiempo y espacio, se centra en la formación personalizada sobre una área de conocimiento, una competencia o una destreza, con un tiempo de duración de 1 a 20 horas de dedicación (INTEF, 2016).



El Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado (INTEF) y determinadas universidades españolas como la Universidad de Alicante y la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) han puesto en marcha esta iniciativa de formación a través de convocatorias de innovación docente; sin embargo, en las bases de datos de corriente principal y alto impacto no refleja resultados reales de este nuevo formato de formación; existen escasos estudios empíricos sobre su funcionamiento (Pérez-Sánchez, Jordano y Martín-Cuadrado, 2017).

A fin de evolucionar de forma conjunta con el modelo de educación virtual y cognitivo de una universidad moderna, digital y social, la presente investigación se centró en responder tres interrogantes: a) ¿Cuál es el marco conceptual y caracterización de la competencia digital? b) ¿Cuál es el nivel de competencia digital que poseen los docentes? c) ¿Cuáles son las necesidades formativas en competencia digital?, la información obtenida fundamentó el diseño de una propuesta de formación piloto en competencia digital basada en nano-MOOC.

## 2. Metodología

Esta investigación de enfoque mixto (cuali-cuantitativo) de corte descriptivo y de campo, se desarrolló en tres fases: revisión bibliográfica, diseño de la investigación y desarrollo y aplicación.

### 2.1. Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica se llevó a cabo con la finalidad de identificar el marco conceptual y la caracterización de la competencia digital para elaborar el instrumento de evaluación de la siguiente fase. El periodo de búsqueda de artículos se ubicó entre el 2014 al 2019, en las áreas de educación y computación e indexados en las bases de datos *Web of Science* (WoS) y *Scopus* de la Universidad de Salamanca disponibles en la biblioteca virtual; se utilizó las palabras claves de los tesauros ERIC y UNESCO, ver Tabla 1.

Palabras claves	Estudios
<i>Competencia digital</i>	Ávalos, Pérez-Escoda y Monge (2019), Rolf, Knutsson y Ramberg (2019), Oberländer, Beinicke y Bipp (2019), Suwanroj, Leekitchwatana y Pimdee (2019), Starkey (2019), Tourón, Martín, Asencio, Pradas y Íñigo (2018), Nouri, Zhang, Mannila y Norén (2019), Van-Laar, Van-Deursen, Van-Dijk y De Haan (2017), Fernández y Fernández (2016), Røkenes y Krumsvik (2016), Machado, Sepúlveda y Montoya (2016), Maderick, Zhang, Hartley y Marchand (2016), Pérez y Rodríguez (2016), Tømte, Enochsson, Buskqvist y Kårstein (2015), Põldoja, Våljataga, Laanpere y Tammets (2014), Krumsvik (2014).
<i>Alfabetización digital</i>	Záhorec, Hašková, Munk (2019), Kim (2019), Montes, Prado, Paz, Alonzo y Monzerrat (2019), Botturi (2019), Spante, Hashemi, Lundin y Algiers (2018), Borges y Marzal García-Quismondo (2017), Al-Qallaf y Al-Mutairi (2016).
<i>Competencia docente</i>	Gordillo, López-Pernas y Barra (2019), Caena y Redecker (2019), Sharov, Liapunova y Sharova (2019), Tejada y Pozos (2018), Langset, Jacobsen y Haugsbakken (2018), Insteffjord y Munthe (2017), Gomez (2017), Kim, Xie y Cheng (2017), Røkenes y Krumsvik (2014).

Tabla 1 – Definición de algunos estilos.

## 2.2. Diseño de la investigación

La población de este estudio fue de 588 docentes de la Universidad Técnica del Norte; con un margen de error del 0,04 y el 95% de nivel de confianza, se obtuvo una muestra de 297 docentes, el 34,34% son de género femenino y el 65,66% son del género masculino.

Para determinar el nivel de competencia digital de los docentes se elaboró un instrumento de investigación con 9 preguntas y 41 ítems. El instrumento fue validado por 3 expertos nacionales de la Universidad Técnica del Norte y 7 expertos internacionales: 2 de la Universidad de Salamanca (USAL), 2 de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), 1 de la Universidad de Extremadura (UEX), 1 de la Universidad Santiago de Compostela (USC), 1 de la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC). Finalmente, el instrumento validado se conformó con 9 preguntas y 33 ítems.

La confiabilidad del instrumento de investigación se realizó mediante una prueba piloto, este fue aplicado a 36 docentes que participaron en un curso introductorio sobre competencia digital, luego con la función “aleatorio entre” del programa Microsoft Excel se determinó que solo 23 de los participantes serían tomados en cuenta, se eliminó al resto de docentes con la misma función. Para comprobar la consistencia interna de la encuesta, se utilizó Alfa de Cronbach, cuyo coeficiente alcanzó el valor de 0,95; por lo tanto, el instrumento tiene una excelente confiabilidad y pudo ser aplicado. El análisis inferencial y descriptivo de los datos se realizó por medio del paquete estadístico SPSS v22.0.

## 2.3. Desarrollo y aplicación

Con los datos obtenidos en las fases 1 y 2, se diseñó y elaboró dos cursos pilotos en formato nano-MOOC a fin de comprobar su funcionalidad y mejorar las próximas ediciones que permitirá la formación de docentes en competencias digitales. El primer curso aborda la competencia, creación de contenidos digitales denominado “*Symbaloo*: aprendizaje con tecnología educativa”, nombre corto por sus iniciales (SATE) y el segundo curso nano-MOOC abarca el área competencial de seguridad con el nombre “Seguridad en la red: Protección de datos personales e identidad digital”, nombre corto por sus iniciales (SR-PDPID). Los dos cursos se implementaron en la plataforma de código abierto EdX, con una duración de 180 minutos cada uno. Cabe señalar que los siguientes cursos nano-MOOC se adaptarán bajo los parámetros que el marco común INEF pueda generar.

Para esta prueba piloto se solicitó la colaboración de 25 docentes voluntarios para cada curso (50 docentes en total), ellos seleccionaron el curso a seguir y tuvieron acceso al curso desde el 16 al 20 de diciembre del 2019. La estructura interna de los dos nano-MOOC son similares y se presentan en tres fases: inicio, desarrollo y finalización. Ver Tabla 2.

Fase de inicio	Fase de desarrollo	Fase de finalización
Descripción del curso.	Objetivo.	Encuesta final de satisfacción
Introducción al entorno de la plataforma e indicaciones.	Contenidos temáticos.	(retroalimentación sobre el desarrollo del curso nano-MOOC para establecer lineamientos de mejora)
Encuesta inicial sobre el interés en el curso.	Actividad.	
	Rúbrica de evaluación.	
	Difusión de la actividad.	

Tabla 2 – Estructura interna curso en nano-MOOC.

### **3. Resultados**

Los resultados que sobresalen en esta investigación se presentan en tres apartados: 1) marco conceptual y caracterización de la competencia digital, 2) nivel de competencia digital de los docentes, 3) implementación piloto de los cursos nano-MOOC.

#### **3.1. Marco conceptual y caracterización de la competencia digital**

Una vez obtenidos los artículos de la *WoS* y *Scopus* fueron analizados a fin de establecer el marco conceptual de la competencia digital. La mayoría de autores, entre ellos Esteve-Mon, Llopis y Adell-Segura (2020), Pascual, Ortega-Carrillo, Pérez-Ferra y Fombona (2019), Basantes-Andrade, Cabezas-González y Casillas-Martín (2019), Rolf, Knutsson y Ramberg (2019), Tourón, Martín, Asencio, Pradas y Íñigo (2018), Kim, Xie y Cheng (2017), Fernández y Fernández (2016) coinciden en definir a la competencia digital como un conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes para utilizar la tecnología digital de forma crítica y segura en el ámbito social, profesional e individual a fin de dar respuesta con la práctica diaria a las necesidades de una sociedad basada en el conocimiento.

De igual forma, Ávalos, Pérez-Escoda y Monge (2019), Botturi (2019), Villarreal-Villa, García-Guliany, Hernández-Palma y Steffens-Sanabria (2019), Tejada y Pozos (2018), Al-Qallaf y Al-Mutairi (2016); Põldoja, Våljataga, Laanpere y Tammets (2014); coinciden que desde diferentes contextos internacionales se ha establecido estándares, modelos y marcos de competencia digital apropiados para el desarrollo competencial del docente en el siglo XXI. La Tabla 3, sintetiza la evolución de estos documentos con la caracterización de la competencia digital que los docentes deben alcanzar en la práctica laboral.

Estos marcos de competencia digital juegan un papel importante en el apoyo sistemático de los docentes y en su desarrollo profesional (Põldoja, Våljataga, Laanpere y Tammets, 2014). En esta investigación se usó el marco común de competencia digital INTEF (2017), el mismo que integra cinco áreas de competencias.

#### **3.2. Nivel de competencia digital de los docentes**

El análisis de la competencia digital de los docentes se realizó en base a las cinco áreas competenciales de INTEF (2017), los resultados más relevantes se describen a continuación.

##### **3.2.1. Área 1 - Información y Alfabetización Informacional**

En esta área de competencia digital se agrupó a sus siete ítems a fin de tener una visión global sobre el uso de: estrategias de navegación por internet; selección, organización y análisis de información digital; gestión y almacenamiento online; portafolio docente; soluciones básicas sobre el uso de dispositivos digitales en el aula; ofimática online y el uso de la web para actualizar y perfeccionar su conocimiento digital. El valor ponderado que se obtuvo fue de 3,88; por lo tanto, utilizan frecuentemente cada uno de los ítems detallados.

Para conocer si la frecuencia de uso de esta área competencial depende del género, edad y nivel académico se realizó la prueba estadística de Chi cuadrado al 95% de confianza, se obtuvo como resultado que la frecuencia de uso no depende del género

Documento	Caracterización	Niveles de competencia	Elementos del nivel de competencia
<i>Unesco (2008)</i>	Integrar las TIC en el currículo, plan de estudios y evaluación. Utilizar las TIC con enfoque pedagógico en el aula. Conocer el funcionamiento básico de la tecnología y recursos digitales TIC. Organizar y administrar la institución educativa con TIC. Aprender a aprender de forma continua a lo largo de la vida.	Nociones básicas de TIC Profundización del conocimiento Generación del conocimiento	
<i>DigComp 1.0 (2013)</i>	Información. Comunicación. Creación de contenido. Seguridad. Resolución de problemas.	Básico (A) Intermedio (B) Avanzado (C)	
<i>DigComp 2.0 (2017)</i>	Alfabetización informacional de datos. Comunicación y colaboración. Creación de contenido digital Seguridad. Resolución de problemas.	Básico: 1 y 2. Intermedio: 3 y 4. Avanzado: 5 y 6. Altamente especializado: 7 y 8.	Tareas complejas Autonomía Dominio cognitivo
<i>DigCompEdu (2017)</i>	Compromiso profesional. Recursos digitales. Enseñar y aprender. Evaluación y retroalimentación. Empoderar a los estudiantes. Facilitar la competencia digital de los estudiantes.	Novato (A1). Explorador (A2). Integrador (B1). Experto (B2). Lider (C1). Pionero (C2).	
<i>INTEF (2017)</i>	Información y alfabetización informacional. Comunicación y colaboración. Creación de contenidos digitales. Seguridad. Resolución de problemas.	Básica: A1 y A2. Intermedia: B1 y B2. Avanzada: C1 y C2.	

Tabla 3 – Evolución de la competencia digital.

(p. valor 0,495 > 0,05) ni del nivel académico (p. valor 0,627 > 0,05), pero si depende de la edad (p. valor 0,000 < 0,05). Para el análisis de correlación entre la edad y la frecuencia de uso de esta área (1) se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, se obtuvo (-0,239), al ser un valor negativo significa que la relación es indirecta, es decir, a mayor edad menor utilización del área 1 y viceversa.

### 3.2.2. Área 2 - Comunicación y Colaboración

Con la misma metodología de análisis del área 1, se establece que el uso de herramientas de comunicación en línea, redes sociales, gestores bibliográficos, herramientas para

compartir recursos e información, dispositivos (pc, móvil, Tablet) con herramientas digitales (blog, e-mail) es frecuente por los docentes. Esta frecuencia con la prueba Chi cuadrado no depende del género (p. valor 0,493 > 0,05) ni del nivel académico (p. valor 0,999 > 0,05), pero al igual que en el área 1, depende de la edad (p. valor 0,000 < 0,05). En el análisis correlacional de Spearman se obtuvo -0,331, la relación es indirecta, a mayor edad existe menor uso del área competencial de comunicación y colaboración y viceversa.

### **3.2.3. Área 3 - Creación de contenidos digitales**

Con un valor ponderado de 2,35 se evidencia que en el área 3 con sus diez ítems utilizan poco las herramientas para crear: presentaciones, podcast, realidad aumentada, videos didácticos interactivos, evaluaciones en línea, códigos QR, mapas conceptuales, infografías y líneas de tiempo, gamificación en el aula y herramientas de aprendizaje compartido y colaborativo. Los resultados alcanzados con la prueba Chi cuadrado demuestra que la competencia creación de contenidos digitales es independiente del género (p. valor 0,229 > 0,05) y del nivel académico (p. valor 0,676 > 0,05); su frecuencia de uso depende de la edad (p. valor 0,007 < 0,05). La correlación de Spearman obtenida -0,193, establece que la relación es indirecta, es decir, a menor edad existe mayor uso del área 3 y viceversa.

### **3.2.4. Área 4 - Seguridad**

Esta área y sus seis componentes: identidad digital, netiqueta, herramienta de visibilidad investigativa, derechos de autor y licencias de uso en Internet, protección con antivirus y sistemas de seguridad digital, medidas de ahorro energético se utilizan de forma moderada por los docentes objeto de estudio (valor ponderado 2,88). La prueba estadística Chi cuadrado al 95% de confianza determinó que el uso moderado de esta área depende del género (p. valor 0,007 < 0,05) y de la edad (p. valor 0,000 < 0,05), en cambio, es independiente del nivel académico (p. valor 0,457 > 0,05). En la prueba correlacional de Spearman se determinó que la relación es indirecta, a mayor edad existe mayor uso del área de competencia 4.

### **3.2.5. Área 5 - Resolución de problemas**

Los cinco ítems del área 5: herramientas para recuperar archivos eliminados, configuración básica de dispositivos digitales, conectividad a la red, combina tecnología digital y no digital para solucionar problemas del proceso de enseñanza-aprendizaje y, entornos virtuales para actualizar su competencia digital se usan de forma moderada (valor ponderado 3,20), esta frecuencia de uso depende del género (p. valor 0,014 < 0,05) y de la edad del docente (p. valor 0,000 < 0,05); pero es independiente del nivel académico (p. valor 0,645 > 0,05). De forma similar a las otras áreas la correlación de Spearman evidencia una relación indirecta, a menor edad existe mayor uso del área de competencia resolución de problemas o viceversa.

Finalmente, para realizar el análisis de varianza (ANOVA) de los conocimientos de las competencias digitales se trabajó con el promedio obtenido en cada unidad académica de la Universidad Técnica del Norte, en cada área competencial; ver Tabla 4.

Unidad Académica	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
<i>Facae</i>	3,79	3,47	2,14	2,39	2,95
<i>Fccss</i>	3,58	3,34	1,98	2,38	2,71
<i>Fecyt</i>	3,95	3,75	2,61	2,93	3,27
<i>Fica</i>	4,11	3,81	2,50	3,30	3,61
<i>Ficaya</i>	3,87	3,78	2,05	2,93	3,19
<i>Postgrado</i>	3,7	3,98	2,29	2,65	3,16
<i>Media</i>	3,83	3,69	2,26	2,76	3,15

Tabla 4 – Promedio por áreas de competencias digital docente.

Primero fue necesario determinar el cumplimiento del supuesto de normalidad, para el efecto, se planteó las siguientes hipótesis:  $h_0$ : los datos no provienen de una distribución normal y  $h_1$ : los datos provienen de una distribución normal. Como p. valor  $0,098 > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula (los datos no provienen de una distribución normal), por ello se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con las siguientes hipótesis:  $h_0$ : no hay diferencia significativa entre factores y  $h_1$ : si hay diferencia significativa entre factores. El p. valor  $0,000 < 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, si hay diferencia significativa entre las áreas de competencia. En la Tabla 5 se puede observar que el área 3, creación de contenidos digitales, se debe considerar prioritariamente en la planificación de los cursos nano-MOOC y luego el área 4, Seguridad.

Competencias	Promedio	Categoría
<i>Área 1</i>	3,83	Conoce Mucho
<i>Área 2</i>	3,69	Conoce Mucho
<i>Área 3</i>	2,26	Conoce Poco
<i>Área 4</i>	2,76	Conoce Moderadamente
<i>Área 5</i>	3,15	Conoce Moderadamente

Tabla 5 – Análisis Funcional por área de competencia.

### 3.3. Implementación piloto del curso nano-MOOC

Los resultados de la implementación de los cursos pilotos nano-MOOC son analizados por curso.

En el curso Symbaloo: aprendizaje con tecnología educativa (SATE), el mayor número de docentes participantes representa al género masculino con el 56%; de este estrato, el 92,85% posee título de maestría, la diferencia tiene el título de PhD. En cuanto a la edad, el grupo fue heterogéneo y existió una diferencia mínima en la representación; es decir, el rango de edad mayoritario se centra en el grupo de 34 a 39 años (28%), seguido con el 20% por las personas que tienen la edad comprendida entre 40 a 45 y de 52 a 57 años. Todos con experiencia docentes desde 2 a 35 años.

Mientras que en el curso de Seguridad en la red: Protección de datos personales e identidad digital (SR-PDPID), el 76% son de género masculino y el 96.05% posee título de maestría, la diferencia posee título de PhD. En cuanto a la edad, este grupo se diferencia al anterior porque se centra en el rango de edad de 46-51 años (32%), seguido por el rango de 34 a 39 años (28%) y luego por el rango de 10 a 45 años con el 20%. El promedio general de experiencia docente universitaria de este grupo es de 8 años.

Por otro lado, al preguntar ¿cuál es su interés para seguir el curso?, los docentes de los dos cursos nano-MOOC tuvieron un comportamiento homogéneo al seleccionar el interés para seguir el curso, ellos manifiestan que la opción de ingresar al curso por curiosidad o socializar para conocer más gente no es su prioridad. En cuanto a los resultados obtenidos en el desarrollo del curso fueron altamente positivos en los dos cursos, la diferencia es mínima en el cumplimiento de la actividad entre SATE (90%) y SR-PDPID (88%). Al finalizar el curso se realizó una encuesta a todos los participantes para conocer su opinión respecto al curso virtual, a fin de obtener la retroalimentación que permita mejorar la edición final de estos y futuras ediciones. La encuesta fue contestada por el 78% de participantes (39 docentes); ver Tabla 6.

<b>Criterios de valoración</b>	<b>SATE</b>	<b>SR-PDPID</b>
<i>Se cumplió con el objetivo propuesto al inicio del curso.</i>	100%	100%
<i>El contenido fue pertinente y relevante</i>	93%	96%
<i>La actividad práctica afianzó su aprendizaje y competencia</i>	97%	98%
<i>La rúbrica de evaluación fue clara y consistente</i>	99%	100%
<i>Los materiales y/o recursos digitales facilitaron su aprendizaje.</i>	95%	97%
<i>Las instrucciones para el uso de la plataforma fueron claras</i>	97%	97%
<i>El tiempo fue suficiente para desarrollar el curso en nano-MOOC</i>	89%	91%
<i>La estructura del curso facilitó su aprendizaje</i>	97%	94%
<i>La nano experiencia desarrolló su competencia digital</i>	93%	95%
<i>Esta experiencia de aprendizaje fue satisfactoria</i>	96%	95%
<i>Recomendaría a sus colegas seguir este curso</i>	98%	97%

Tabla 6 – Valoración de la Satisfacción del curso.

Al ser ésta, una nana experiencia piloto se planteó dos preguntas abiertas con la finalidad de recolectar información relevante sobre la estructura, contenidos, recursos, tiempo, entre otros indicadores que permitan mejorar las siguientes ediciones oficiales de nano-MOOC. La Tabla 7, sintetiza las respuestas recibidas en los dos cursos SATE y SR-PDPID.

<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas condensadas</b>
<i>¿Del curso en formato nano-MOOC que fue lo que más le gustó?</i>	Interesante, una propuesta que no demanda de mucho tiempo para aprender temas puntuales. La actividad desarrollada permitió poner en práctica la teoría y el conocimiento recibido en el curso. Pondré en práctica Symbaloo para dinamizar el aprendizaje. Muy valiosos los contenidos para proteger nuestros datos en Internet, no tenía conocimiento de la identidad digital.



Preguntas	Respuestas condensadas
<i>¿Cuál es su sugerencia para mejorar el curso en formato nano-MOOC?</i>	<p>Realizar una evaluación diagnóstica sobre el tema.</p> <p>Evaluar la competencia digital antes de seguir el curso y al finalizar.</p> <p>Sumar el número de horas de algunos cursos en este formato y entregar una certificación sumativa del logro.</p> <p>Profundizar más los temas.</p> <p>Evidenciar la mejora del aprendizaje con una comparación de la evaluación inicial y final.</p>

Tabla 7 – Preguntas abiertas.

#### 4. Discusión

En la última década, la competencia digital ha sido una línea de investigación abordada por varios autores (Ávalos, Pérez-Escoda y Monge, 2019; Botturi, 2019; Rolf, Knutsson y Ramberg, 2019; Kim, Xie y Cheng, 2017; Fernández y Fernández, 2016; entre otros) quienes encontraron similitud en dos dimensiones de la competencia digital docente: el enfoque didáctico-pedagógico y el desarrollo profesional. En esta investigación define a la competencia digital docente como el conjunto de conocimientos, capacidades, habilidades y actitudes que el docente debe poseer para integrar las TIC con enfoque didáctico-pedagógico.

De acuerdo con Tourón, Martín, Asencio, Pradas e Íñigo (2018), es necesario evaluar el nivel de competencia digital docente para planificar la formación personalizada en función de los resultados; en el nivel de competencia digital de los docentes, se evidenció limitaciones en su competencia. De forma similar a los resultados de la investigación de Tejada y Pozos (2018), fue necesario profundizar el desarrollo de habilidades y actitudes que le permita usar las TIC con enfoque tecno pedagógico en su praxis laboral.

Las áreas de competencia digital que presentan menor nivel de desarrollo, según el marco INTEF (2017) utilizado en este estudio son: creación de contenido digital (área 3) y seguridad (área 4); mientras que las áreas restantes presentan niveles superiores y similares entre sí. A diferencia del estudio realizado por Pozo, López, Fernández y López (2020), donde revela que las áreas de información y alfabetización informacional (área 1) y comunicación y colaboración (área 2) son las que presentan menores niveles de competencia; en tanto que, Esteve-Mon, Llopis y Adell-Segura (2020) y Rolf, Knutsson y Ramberg (2019) encontraron que estas dos áreas (1 y 2) de competencia son predominantes.

Pascual, Ortega-Carrillo, Pérez-Ferra y Fombona (2019) revelan que las áreas de información y alfabetización informacional (área 1) y creación de contenido digital (área 3) son las que presentan menores niveles de competencia; coincide parcialmente con el presente estudio.

Por otro lado, se evidencia que la edad de los docentes tiene relación con el uso de las competencias digitales; a menor edad, mayor uso, en consonancia con los hallazgos de Basantes-Andrade, Cabezas-González y Casillas-Martín (2020), Fernández y Fernández (2016) y Suárez, Almerich, Gargallo y Aliaga (2013) y a diferencia con los resultados



de Tello y Cascales (2015) donde la edad no es relevante. En esta línea, el área 4 de la competencia digital (seguridad) tiene un nivel mayor de uso por los docentes que tienen mayor edad, en discrepancia con Pozo, López, Fernández y López (2020).

En cuanto al género, los resultados señalan que existe dependencia del género en relación con la frecuencia de uso del área de seguridad y resolución de problemas, en divergencia con Suárez, Almerich, Gargallo y Aliaga (2013) donde el género es un factor incidente en las cinco áreas de competencia. Para López, Moreno y Pozo (2018), la formación en el ámbito tecnológico es heterogéneo en relación con el género. De forma semejante con Tello y Cascales (2015), se encontró que, el nivel académico de los docentes no es significativo en su nivel de competencia digital.

Las áreas que se abordaron para el desarrollo de los curso nano-MOOC fueron la creación de contenidos digitales y seguridad, dos áreas que requieren la formación y profundización de conocimientos y habilidades, hallazgo que coincide de forma parcial con Villarreal-Villa, García-Guliany, Hernández-Palma y Steffens-Sanabria (2019), ya que el área de seguridad presenta mayores dificultades seguido por las áreas 1 y 3.

Los dos cursos pilotos en nano-MOOC desarrollados en esta investigación evidencian que los docentes eligen seguir un curso en nano-MOOC para acceder a los recursos y materiales con la finalidad de innovar su práctica docente y como segunda opción, aprender y cumplir con las actividades del curso para recibir una certificación válida en el proceso de evaluación docente, ésta última concuerda con los resultados de Sharov, Liapunova y Sharova (2019) en el sentido de adquirir nuevos conocimientos para mejorar las habilidades profesionales.

En concordancia con Pérez-Sánchez, Jordano y Martín-Cuadrado (2017) y Tømte, Enochsson, Buskqvist y Kårstein (2015), los resultados obtenidos al finalizar los cursos evidencian que los nano-MOOC son una experiencia motivadora para desarrollar y profundizar contenidos y/o capacidades específicas en los docentes. La formación docente en línea contribuye al desarrollo de competencias en TIC y psicopedagógicas; implica, saber usar la tecnología para su propio aprendizaje y desarrollo profesional, así como favorecer el desempeño de sus estudiantes.

## 5. Conclusiones

Los resultados y discusión de este estudio establecen las siguientes conclusiones: 1) el nivel de competencia digital de los docentes se relaciona con la edad, 2) amerita la formación continua para fortalecer el uso de la tecnología en varios contextos; los resultados de este estudio no deben ser generalizados ni extrapolados a otros entornos, sin considerar las características y el ambiente en el que se desenvuelven los docentes, 3) los marcos de competencia digital propician una estructura sistemática y global sobre los conocimientos y capacidades que los docentes deben alcanzar para comprender y orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje con TIC, 3) la implementación piloto de los dos cursos en formato nano-MOOC fue altamente positivo, permitieron cubrir la necesidad inmediata de formación de los docentes mediante la conjugación de la teoría de las TIC con la aplicación metodológica de las mismas.

## Referencias

- Al-Qallaf, C. L. y Al-Mutairi, A. S. (2016). Digital literacy and digital content supports learning. *The Electronic Library*, 34(3), 522-547.
- Ávalos, Pérez-Escoda y Monge (2019). Lean Startup as a Learning Methodology for Developing Digital and Research Competencies. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 8(2), 227-242. doi:10.7821/naer.2019.7.438
- Basantes-Andrade, A., Cabezas-González, M., & Casillas-Martín, S. (2020). Digital Competences Relationship between Gender and Generation of University Professors. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 205–211.
- Basantes-Andrade, A., Cabezas-González, M. y Casillas-Martín, S. (2019). Digital Competences in e-learning. Case Study: Ecuador. In A. Basantes-Andrade, M. Naranjo-Toro, M. Zambrano y M. Botto-Tobar (Eds.). *Technology, Sustainability and Educational Innovation*, (pp. 85-94). Springer, Cham.
- Basantes, A. V., Naranjo, M. E., Gallegos, M. C., y Benítez, N. M. (2017). Los dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje de la Facultad de Educación Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de Ecuador. *Formación Universitaria*, 10(2), 79-88. doi: 10.4067/S0718-50062017000200009.
- Botturi, L. (2019). Digital and media literacy in pre-service teacher education. *Nordic Journal of Digital Literacy*, 14(03-04), 147-163.
- Esteve-Mon, F. M., Llopis, M. Á. y Adell-Segura, J. (2020). Digital Competence and Computational Thinking of Student Teachers. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(02), 29-41.
- Fernández Cruz, F. J., y Fernández Díaz, M. (2016). Los docentes de la Generación Z y sus competencias digitales, 46(24), 97-105.
- López, J., Moreno, A. J. y Pozo, S. (2018). Influencia del género y la edad en la formación continua multidisciplinar de los docentes de cooperativas de enseñanza. *INNOVA Research Journal*, 3(8.1), 42-59. doi: 10.33890/innova.v3.n8.2018.756
- INTEF (2016). *¿Qué es un NOOC?*. Recuperado de <http://educalab.es/intef/formacion/formacion-en-red/nooc>
- INTEF (2017). Marco común de competencia digital docente. Recuperado de <https://cutt.ly/qrGZRuT>
- Kim, M. K., Xie, K., y Cheng, S. L. (2017). Building teacher competency for digital content evaluation. *Teaching and Teacher Education*, 66(1), 309-324.
- Krumsvik, RJ (2014). Competencia digital de formadores de docentes. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 58 (3), 269–280.
- Pascual, M. A., Ortega-Carrillo, J. A., Pérez-Ferra, M. y Fombona, J. (2019). Competencias Digitales en los Estudiantes del Grado de Maestro de Educación Primaria. El caso de tres Universidades Españolas. *Formación Universitaria*, 12(6), 141-150.

- Pérez-Sánchez, L., Jordano de la Torre, M. y Martín-Cuadrado, A. M. (2017). Los NOOC para la formación en competencias digitales del docente universitario. Una experiencia piloto en la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). *RED. Revista de Educación a Distancia*, 55(1), 1-35. doi: 10.6018/red/55/1.
- Põldoja, H., Väljataga, T., Laanpere, M., y Tammets, K. (2014). Web-based self-and peer-assessment of teachers' digital competencies. *World Wide Web*, 17(2), 255-269.
- Rolf, E., Knutsson, O., y Ramberg, R. (2019). An analysis of digital competence as expressed in design patterns for technology use in teaching. *British Journal of Educational Technology*, 50(6), 2261-2275.
- Pozo, S., López, J., Fernández, M., & López, J. (2020). Análisis correlacional de los factores incidentes en el nivel de competencia digital del profesorado. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 23(1), 143-159.
- Sharov, S., Liapunova, V., y Sharova, T. (2019). Analysis of the Opportunities of the Prometheus Platform for the Professional Development of Future Teachers, 8(1), 1469-1476. doi: 10.18421/TEM84-52.
- Suárez, J. M., Almerich, G., Gargallo, B., & Aliaga, F. M. (2013). Las competencias del profesorado en TIC: estructura básica. *Educación XXI*, 16 (1), 39-62. doi:10.5944/educXXI.16.1.716
- Tejada, J y Pozos, K. (2018). New scenarios and trainers' digital competencies: towards the professionalization of teaching with ICT. *Profesorado*, 22(1), 25-51.
- Tello, I. y Cascales, A. (2015). Las TIC y las necesidades específicas de apoyo educativo: análisis de las competencias TIC en los docentes. *RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 18(2), 355-383. Recuperado de <https://bit.ly/30m9ObV>
- Tømte, C., Enochsson, A. B., Buskqvist, U., y Kårstein, A. (2015). Educating online student teachers to master professional digital competence: The TPACK-framework goes online. *Computers y Education*, 84(1), 26-35.
- Tourón, J., Martín, D., Asencio, N., Pradas, S. y Íñigo, V. (2018). Validación de constructo de un instrumento para medir la competencia digital docente de los profesores (CDD). *Revista española de pedagogía*, 76(26), 25-54.
- Van-Laar, E., Van-Deursen, A. J., Van-Dijk, J. A., y De Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in human behavior*, 72(1), 577-588.
- Villarreal-Villa, S., García-Guliany, J., Hernández-Palma, H., y Steffens-Sanabria, E. (2019). Competencias Docentes y Transformaciones en la Educación en la Era Digital. *Formación Universitaria*, 12(6), 3-14.

# Etiquetado de partes del discurso sobre un corpus en castellano basado en metaheurísticas

José Julio Tobar C.<sup>1</sup>, Miguel Alexis Solano J.<sup>1</sup>, Luz Marina Sierra-M.<sup>1</sup>,  
Carlos Alberto Cobos L.<sup>1</sup>

josej@unicauca.edu.co, miguelsolano@unicauca.edu.co, lsierra@unicauca.edu.co,  
ccobos@unicauca.edu.co

<sup>1</sup> Universidad del Cauca, 190003, Popayán, Colombia.

**Pages: 215–228**

**Resumen:** El etiquetado de partes del discurso es una de las tareas más importantes en el preprocesamiento del lenguaje natural y tiene usos en el análisis de sentimientos, traducción de texto, reconocimiento de voz y recuperación de información, entre otros. Esta tarea se enfrenta a tres retos principales relacionados con la ambigüedad de las palabras, el tamaño del conjunto de etiquetas y el etiquetado de palabras desconocidas. Este artículo presenta la construcción de un dataset en castellano y la comparación de varios algoritmos metaheurísticos del estado del arte sobre el corpus en castellano, incluido un algoritmo memético mejorado que maneja diferentes contextos de las palabras, lo que le permite obtener un mejor desempeño.

**Palabras-clave:** algoritmos metaheurísticos; algoritmo memético; corpus etiquetado IULA; identificación de partes del discurso; mejor búsqueda armónica global.

## *Parts of Speech Tagging for a corpus in Spanish based on metaheuristics*

**Abstract:** The Part of Speech Tagging is one of the most important tasks in the natural language preprocessing and it has uses in sentiment analysis, text translation, voice recognition and information retrieval, among others. This task faces three main challenges related to the ambiguity of words, the size of the tagset and the labeling of unknown words. This article presents the construction of a dataset labeled in Spanish and the comparison of several state-of-the-art metaheuristic algorithms over the Spanish corpus, including an improved memetic algorithm that handles different word contexts, which allows it to obtain a better performance.

**Keywords:** metaheuristic algorithms; memetic algorithm; corpus tagged IULA; part of speech tagging; global-best harmony search.

## 1. Introducción

El etiquetado de partes del discurso (Part-of-Speech tagging, POST) es un área del procesamiento de lenguaje natural (PLN) que se encarga de asignar a cada palabra de una oración sus posibles categorías léxicas, de acuerdo a su contexto (Güngör, 2011), y se constituye como una tarea importante en el preprocesamiento de la mayoría de las aplicaciones de PLN. Algunas de las aplicaciones son: análisis de sentimientos, donde el etiquetado reconoce diferentes partes de un texto y ayuda en la determinación de polaridad (Bordoloi & Biswas, 2019); traducción de textos, donde el etiquetado es crucial para una traducción de alta calidad, dado que proporciona características importantes de la fragmentación y el análisis de los textos (Ma, Liu, Huang, & Sheng, 2011); reconocimiento de voz, donde el etiquetado es un paso preliminar que permite explotar las transcripciones de audio, aportando conocimiento lingüístico, como por ejemplo, información morfosintáctica, que genera mejores transcripciones (Huet, Gravier, & Sébillot, 2008); y tareas de recuperación de información, donde el etiquetado ayuda en el post-procesamiento, dado que las palabras etiquetadas como sustantivos, pueden clarificar el rol de cada término en consultas y documentos (Karimpour *et al.*, 2009).

El etiquetado se convierte en una tarea compleja, al enfrentar principalmente tres grandes retos (Güngör, 2011; Jurafsky & Martin, 2009), a saber: 1) La ambigüedad de palabras, que puede ocasionar un etiquetado incorrecto, dadas las múltiples etiquetas que puede tener cada palabra; 2) El tamaño del conjunto de etiquetas, un conjunto de etiquetas muy especializado puede llegar a dificultar la distinción entre varias etiquetas similares, y un conjunto de etiquetas muy general, puede ocasionar pérdida de conocimiento morfológico y morfosintáctico ocasionando un etiquetado incorrecto; y 3) El etiquetado de palabras desconocidas, es decir, palabras que no se encuentran en los datos de entrenamiento, o sobre las cuales no se tienen previamente definidas reglas para su etiquetado, por tanto, se dificulta asignar automáticamente la etiqueta correcta.

El problema de etiquetado se aborda tradicionalmente con dos enfoques: 1) Los basados en reglas (Brill, 1992) y 2) Los basados en información estadística. Entre las técnicas más reconocidas se incluyen los modelos ocultos de Markov (Paul, Purkayastha, & Sarkar, 2015), los modelos de máxima entropía (Ratnaparkhi, 1996) los trigramas (Brants, 2000), las máquinas de soporte vectorial (Surendran & Levow, 2006), las redes neuronales (Schmid, 1994), entre otros.

Actualmente, existen nuevas propuestas que abordan el problema de etiquetado utilizando algoritmos metaheurísticos, tanto desde una perspectiva estadística como basada en reglas. Estas propuestas metaheurísticas han obtenido un desempeño sobresaliente en comparación con otras técnicas, como se puede apreciar en: (Araujo, Luque, & Alba, 2004) que utilizan un algoritmo genético, recocido simulado y el algoritmo CHC, para el problema de etiquetado; (Silva, Silva, & Rodrigues, 2013b), que abordan el etiquetado como un problema de optimización usando el algoritmo de optimización por enjambre de partículas (Particle Swarm Optimization, PSO). (Forsati & Shamsfard, 2014b) que utilizan la metaheurística de la Búsqueda Armónica (Harmony Search, HS); entre otros trabajos. Estos enfoques metaheurísticos se aplican sobre corpus etiquetados de lenguas como el inglés y otras lenguas no tradicionales como: el árabe, bengalí (Bangladés), hindi (India), Telugu (India) y Nasa Yuwe (lengua indígena de Colombia).

En esta investigación se aborda el problema de etiquetado desde la perspectiva de los algoritmos metaheurísticos, con el objetivo de evaluar el desempeño de las metaheurísticas (HSTagger, HSTagger2 y HSTagger3) y el algoritmo memético propuesto en (Sierra Martínez, Cobos, & Corrales, 2017), sobre el corpus etiquetado IULA (Institut de Lingüística Aplicada) del castellano. Estos algoritmos previamente se han utilizado sobre los corpus Brown del inglés (Francis & H. Kucera, 1979) y del Nasa Yuwe (Sierra Martínez *et al.*, 2018). Cabe aclarar, que no se ha encontrado referencia sobre la aplicación de algoritmos metaheurísticos de etiquetado sobre un corpus en castellano. Adicionalmente, en este trabajo se presenta, una mejora al algoritmo memético propuesto en (Sierra Martínez *et al.*, 2017) que involucra un cambio en el contexto (es decir, para etiquetar una palabra en la oración, se tienen en cuenta la(s) etiqueta(s) de la(s) palabra(s) predecesora(a) o sucesora(s) (Forsati & Shamsfard, 2014b) de la palabra a ser etiquetada.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: La sección 2 presenta los trabajos más relevantes sobre el problema de etiquetado desde una perspectiva metaheurística, los conjuntos de etiquetas y algunos de los corpus utilizados; La sección 3 resume el proceso metodológico seguido; La sección 4 presenta el procesamiento del corpus IULA; La sección 5 muestra la mejora realizada al algoritmo memético propuesto en (Sierra Martínez *et al.*, 2017); La sección 6 muestra los experimentos realizados con los algoritmos metaheurísticos de la línea base y la mejora propuesta; y finalmente, en la sección 7 se presentan las conclusiones y algunas ideas de trabajos futuros.

## 2. Trabajos relacionados

Una vez realizada la revisión de la literatura en las diferentes bases de datos científicas, se encontraron los siguientes trabajos relevantes sobre algoritmos metaheurísticos aplicados al problema de etiquetado, corpus etiquetados y conjuntos de etiquetas:

En 2018, (Alhasan & Al-taani, 2018) presentan un etiquetador utilizando el algoritmo de optimización por colonia de abejas (BCO) para la lengua árabe. En 2017, (Sierra Martínez *et al.*, 2017) presentan un etiquetador basado en Global-Best Harmony Search (GBHS) que incluye conocimiento del problema mediante una estrategia de optimización local basada en el algoritmo Hill Climbing (Brownlee, 2011), evaluado sobre una lengua tradicional (Inglés) y una no tradicional (Nasa Yuwe). En 2015, (Forsati & Shamsfard, 2014b) presentaron dos mejoras del *etiquetador* HSTAGger (Forsati & Shamsfard, 2014a) que incrementan la eficiencia de búsqueda y mejoran la selección de nuevas soluciones para la memoria armónica, esta propuesta fue evaluada sobre el corpus Brown (Francis & H. Kucera, 1979) y PennTreenbank (Marcus, Marcinkiewicz, & Santorini, 1993). En 2013, (Silva, Silva, & Rodrigues, 2013a) dividen el problema de etiquetado en dos tareas: una de aprendizaje y otra de optimización, que ayuda al descubrimiento de reglas usando la computación evolutiva, utilizando dos algoritmos, un algoritmo genético (GA-Tagger) y un PSO binario (PSO-Tagger), que fue evaluado sobre el corpus Brown.

En 2016, (Alonso & Zeman, 2016) presentan el corpus UD Spanish Ancora, que contiene 17.680 oraciones y 547.682 tokens, además hacen la conversión del conjunto de etiquetas a dependencias universales (Universal Dependencies, 2014) y consta de 17 etiquetas. En 2015, (Lavid, Arús, DeClerck, & Hoste, 2015) presentan un corpus paralelo Inglés-



Castellano de alta calidad que se compone de textos originales en los dos idiomas, el corpus puede ser utilizado en varias disciplinas. En 2012, el IULA (Institut Universitari de Lingüística Aplicada (IULA), 2012) presentó el corpus IULA Spanish LSP Treebank que consta de 40.000 oraciones de la lengua castellana, tomadas del IULA technical corpus. Las etiquetas se basan en el conjunto de etiquetas **EAGLES** (EAGLES, 2004) para el castellano, el cual contiene 577 etiquetas. En 1993, (Marcus *et al.*, 1993) presentaron el corpus PennTreebank, que consta de 4.5 millones de palabras del Inglés americano. Este corpus ha sido anotado con información de partes del discurso, el conjunto de etiquetas está conformado por 36 etiquetas de POS y otras 12 etiquetas de puntuación y símbolos de moneda. En 1979, (Francis & H. Kucera, 1979) presentaron el corpus Brown, que es una recopilación de 500 archivos de texto plano en Inglés. El conjunto de etiquetas está conformado por 87 categorías que se subdividen en un total de 472 etiquetas.

En 2017, (Zeroual, Lakhouaja, & Belahbib, 2017) diseñaron un conjunto de etiquetas para la lengua árabe, que establece niveles jerárquicos de las categorías de las palabras, estos niveles jerárquicos permiten una expansión más fácil y mejoran el etiquetado. En 2016, (Kabashi & Proisl, 2016) presentaron un conjunto de etiquetas de grano fino para el lenguaje albanés, el cual sigue un enfoque tradicional para las categorías de palabras. En 2014, más de 200 colaboradores presentaron un proyecto abierto llamado dependencias universales (Universal Dependencies, 2014), el cual es un conjunto de anotación para muchos lenguajes, que está basado en las dependencias de Stanford (De Marneffe, MacCartney, & Manning, 2006), etiquetas universales (Petrov, Das, & McDonald, 2011), y el interlingua InterSet para los conjuntos de etiquetas morfosintácticas (Zeman, 2008). En 2012, (Petrov *et al.*, 2011) presentan un conjunto de 12 etiquetas comunes para 25 lenguajes (a partir de 25 conjuntos de etiquetas) provenientes de trabajos previos buscando mejorar la precisión de los etiquetadores a través de varios lenguajes. Esta propuesta ha sido muy aceptada y utilizada en diferentes trabajos de identificación de partes del discurso.

Después de hacer la revisión del estado del arte se pudo encontrar que: 1) el problema de etiquetado está siendo cada vez más explorado desde diferentes enfoques. 2) El uso de algoritmos metaheurísticos en este problema, ha ido tomando fuerza en los últimos años (2010-2019). 3) El idioma inglés y el conjunto de etiquetas Universal (Petrov *et al.*, 2011) son los más utilizados para la evaluación de desempeño de los etiquetadores.

Adicionalmente, de la revisión se puede inferir que: 1) Los etiquetadores basados en algoritmos metaheurísticos obtienen mejores resultados o similares a los alcanzados con los enfoques tradicionales o híbridos, tanto en etiquetado de lenguas tradicionales como en lenguas no tradicionales. Cabe resaltar que solo existe una propuesta que utiliza un enfoque memético para el problema de etiquetado; 2) No todos los corpus revisados están mapeados al conjunto de etiquetas universal Petrov (Petrov *et al.*, 2011); y 3) Muchos de los corpus presentados tienen su propio conjunto de etiquetas, el cual incluye mucha información de grano fino.

### 3. Metodología

En esta investigación, se utilizó el Patrón de Investigación Iterativa (Iterative Research Pattern, IRP) propuesto por (Pratt, 2009). Para esta investigación se realizaron dos ciclos. La Tabla 1, presenta un resumen de cada una de las actividades realizadas.

### 4. Construcción de dataset IULA

El corpus IULA (Institut Universitari de Lingüística Aplicada (IULA), 2012) original se encuentra almacenado en un archivo con formato CONLL, donde cada línea representa un sólo término con una serie de 10 campos, separados por tabulaciones, alguno de estos campos son ID, Forma de la palabra, etiquetado POS de grano fino y de grano grueso, entre otros. Teniendo en cuenta este formato, se realizó el procesamiento para configurarlo como un dataset adecuado para la configuración de los experimentos con los algoritmos POST. En primera instancia, se realizó un modelo de base de datos, que permitiera a cada algoritmo consultar de manera eficiente la información del corpus, como: términos, frases, conjunto de etiquetas, tablas estadísticas, procedimientos almacenados y el folder de la frase para hacer validación cruzada. La Figura 1, presenta el modelo de base de datos construido, que incluye las tablas y sus respectivas relaciones entre frases, términos, etiquetas propias de los términos del corpus y su correspondiente etiqueta Universal.

Ciclo	Observación	Identificación	Desarrollo	Pruebas
Ciclo 1	Revisión de metaheurísticas e investigación de corpus en castellano	Selección del corpus y mapeo de etiquetas al etiquetado universal	Diseño e implementación de la base de datos para el corpus IULA. Configuración y ejecución del experimento con el algoritmo memético propuesto en (Sierra Martínez et al., 2017), y otros algoritmos metaheurísticos utilizados sobre el dataset IULA	Análisis y discusión de resultados de precisión obtenidos
Ciclo 2	Exploración de ventanas contextuales para el castellano.	Definición de los contextos implementados.	Propuesta e implementación de una mejora al mejor algoritmo del ciclo 1 basado en los contextos y ejecución de los experimentos y selección de la mejor versión preliminar del algoritmo.	Análisis de resultados y emisión de conclusiones

Tabla 1 – Actividades definidas en cada ciclo. Fuente: Elaboración propia.

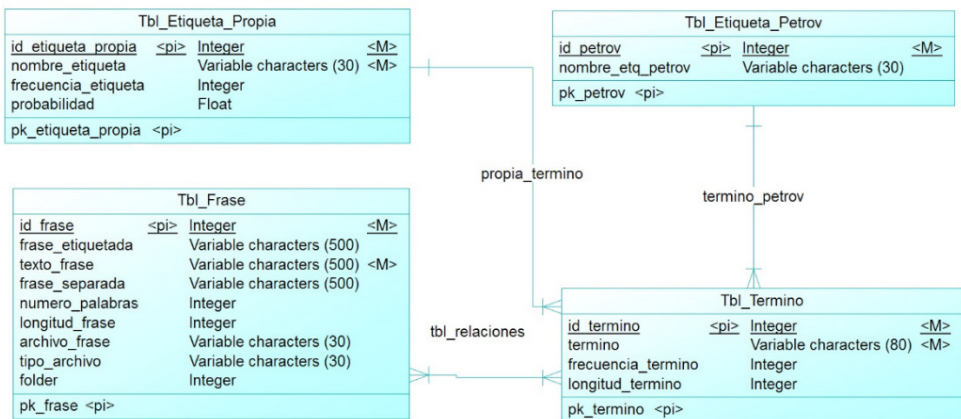


Figura 1 – Modelo conceptual de la base de datos.



En segunda instancia, y partiendo del modelo conceptual presentado en la Figura 1, se generó el modelo físico de la base de datos para el motor SQL Server 2017. En (Tobar & Solano, 2020) se encuentran los scripts de la base de datos que incluyen la estructura y los datos. En tercera instancia, se procedió a cargar la información en la base de datos construida mediante un algoritmo en Python, que incluye la lectura del archivo del Corpus IULA, toma el término con su etiqueta y realiza la equivalencia con la etiqueta EAGLES (EAGLES, 2004) del término con su correspondiente etiqueta Universal (Petrov *et al.*, 2011) según el archivo de equivalencias “es-eagles.map” (universal-pos-tags, 2015). En la Tabla 2, se presenta un fragmento de la equivalencia entre etiquetas. Finalmente, con la lectura de estos términos se organizó cada frase hasta completar la totalidad de términos y frases del corpus en la base de datos.

Id	Etiq_IULA	Etiq_Petrov	Id	Etiq_IULA	Etiq_Petrov
1	AQoMSo	ADJ	259	Z	NUM
182	SPSoo	ADP	265	PP1CSNoo	PRON
184	RG	ADV	363	VMIP2Po	VERB
186	CC	CONJ	555	W	X
188	DDoMSo	DET	557	Fat	.
235	NCMSooo	NOUN			

Tabla 2 – Equivalencia de etiquetas EAGLES a PETROV.

Como resultado del procesamiento del corpus, se logró consolidar una base de datos con 42.079 frases y 37.763 términos. Dada la cantidad de registros y la cantidad de consultas que debe atender, se llevó a cabo un proceso de indexación sobre las tablas, para las llaves con mayor número de relaciones.

Una vez se completó el procesamiento del corpus IULA, se procedió a realizar los experimentos con los algoritmos GBHS, GBHS2, GBHS3, HSTagger, HSTagger2 y HSTagger3 y una búsqueda aleatoria (Azar), utilizando validación cruzada de cinco folders. Los resultados de estos experimentos se presentan en la sección 6.

Como resultado de los experimentos se pudo apreciar que el algoritmo memético GBHS Tagger 2, utilizando el optimizador local con probabilidades de 0.3, 0.5 y 0.7 logró obtener los mejores resultados para el corpus IULA, con una precisión de 97.6051%. Previamente con el Corpus Brown del inglés (Francis & H. Kucera, 1979) en (Sierra Martínez *et al.*, 2017), se obtuvo una precisión de 95.1959% y en Nasa Yuwe (Sierra Martínez *et al.*, 2018) una precisión de 66.5787%.

Por tanto, el algoritmo memético GBHS Tagger 2, utilizando el optimizador local, fue seleccionado para realizarle modificaciones en pro de mejorar su desempeño en el problema de etiquetado. A continuación, se presenta el proceso seguido y la mejora propuesta para este algoritmo.

### 5. Mejora propuesta al algoritmo memético GBHS Tagger 2

El contexto utilizado en (Sierra Martínez *et al.*, 2017) para el etiquetado con el algoritmo memético GBHS2Tagger fue un trigramma, es decir, al momento de asignar la etiqueta de la palabra se tenía en cuenta la etiqueta de la palabra predecesora y la de la palabra sucesora, como se muestra en la Figura 2a.

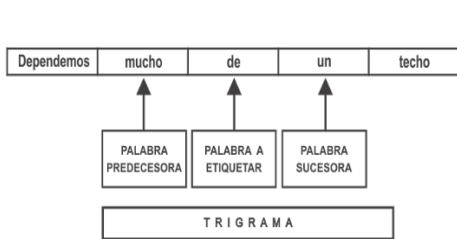


Figura 2a - Contexto del trigramma.

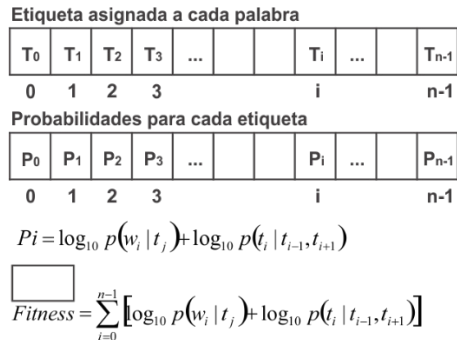


Figura 2b - Representación de la solución.

La representación de la solución fue organizada, como se muestra en la Figura 2b, así: el primer vector contiene las etiquetas asignadas a cada palabra de la frase a etiquetar, donde T<sub>0</sub>, representa la etiqueta de la primera palabra y así sucesivamente para todas las palabras de la frase; el segundo vector contiene cada una de las probabilidades acumuladas para cada etiqueta, representadas en la Figura 2b como los P<sub>i</sub>; finalmente, se tiene otro campo que almacena el valor de la función fitness, que se calcula como la sumatoria de los logaritmos de los P<sub>i</sub> (Sierra Martínez *et al.*, 2017).

Teniendo en cuenta esa representación, las mejoras propuestas en la presente investigación, se enfocaron en revisar el desempeño del algoritmo memético GBHS Tagger 2 con diferentes contextos; se seleccionaron 4 contextos que mantienen la representación de la solución de la Figura 2b, cambiando la forma en que se calcula los P<sub>i</sub> del segundo vector y la función fitness, así:

- **Contexto 1**, tiene en cuenta un tetragrama, conformado por dos palabras predecesoras, la palabra a etiquetar y una sucesora; realizando el cálculo de los P<sub>i</sub> utilizando la Ecuación 1.

$$P_i = \log_{10} P(w_i | t_i) + \log_{10} P(t_i | t_{i-2}, t_{i-1}, t_{i+1})$$

Ecuación 1 – Probabilidad del contexto 1.

- **Contexto 2**, también se representa con un tetragrama conformado por: una palabra predecesora, la palabra a etiquetar y dos sucesoras; realizando el cálculo de los P<sub>i</sub> utilizando la Ecuación 2.

$$P_i = \log_{10} P(w_i | t_i) + \log_{10} P(t_i | t_{i-1}, t_{i+1}, t_{i+2})$$

Ecuación 2 – Probabilidad del contexto 2.

- **Contexto 3**, es un trigramma organizado así: la palabra a etiquetar y dos sucesoras; realizando el cálculo de los  $P_i$  utilizando la Ecuación 3:

$$P_i = \log_{10} P(w_i | t_i) + \log_{10} P(t_i | t_{i+1}, t_{i+2})$$

Ecuación 3 – Probabilidad del contexto 3.

- **Contexto 4**, también un trigramma organizado así: dos palabras predecesoras y la palabra a etiquetar; realizando el cálculo de los  $P_i$  utilizando la Ecuación 4.

$$P_i = \log_{10} P(w_i | t_i) + \log_{10} P(t_i | t_{i-2}, t_{i-1})$$

Ecuación 4 – Probabilidad del contexto 4.

- **Contexto 5**, hace referencia al trigramma original del algoritmo, es decir, una palabra predecesora, la palabra a etiquetar y una sucesora. El cálculo de los  $P_i$  se hace como se presenta en la Figura 2b.

Seguidamente a la definición de los contextos, se configuraron experimentos preliminares que involucraron la construcción de un dataset con 5.000 frases, tomadas de forma aleatoria del dataset descrito en la sección 4. Los experimentos se ejecutaron utilizando validación cruzada de 5 folders, por ejemplo, si las oraciones del folder 1 fueron tomadas como datos de prueba, las oraciones de entrenamiento son tomadas desde el folder 2 a 5, y así sucesivamente para todos los folders. Cada folder con 1.000 oraciones de prueba y un promedio de palabras superior a 4.000, de las cuales el 35% o 36% eran desconocidas. Cada contexto se implementó e identificó en el algoritmo GBHS2Tagger así: GBHS2Pred2Suc, para el Contexto 1, GBHS2PredSuc2 Contexto 2, GBHS2Suc2 Contexto 3, GBHS2Pred2 Contexto 4, y finalmente, GBHS2PredSuc Contexto 5. En la Tabla 3, se presentan los resultados de los experimentos preliminares.

Contexto	Algoritmo	Núm. de oraciones	Precisión (%)	Desviación estándar
Contexto 4	GBHS2Pred2 0.5 0.5	5000	94.2810022	7.897156773
Contexto 5	GBHS2PredSuce 0.5 0.5	5000	94.14608674	7.702875326
Contexto 2	GBHS2PredSuc2 0.5 0.5	5000	94.09230958	7.68880168
Contexto 1	GBHS2Pred2Suc 0.5 0.5	5000	94.0811572	7.722820905
Contexto 3	GBHS2Suc2 0.5 0.5	5000	94.07903069	7.902208265

Tabla 3 – Resultados de la ejecución del algoritmo GBHS2 Tagger con diferentes contextos.

Como se puede apreciar, los resultados muestran que el algoritmo GBHS2Pred2 (Contexto 4) supera en precisión a los demás etiquetadores, incluso al trigramma presentado en (Sierra Martínez *et al.*, 2017) para el caso del castellano, pero, una prueba t de Student muestra que con un  $\alpha=0,05$  y 58 grados de libertad no se encuentran diferencias estadísticas entre las medias obtenidas. Con este resultado orientador

(no definitivo), el paso siguiente fue la ejecución del algoritmo en su versión mejorada GBHS2Pred2 con el dataset completo del corpus IULA, utilizando igualmente validación cruzada de 5 folders, los resultados se muestran en la Tabla 6 de la sección 6, donde se pueden apreciar las diferencias con el algoritmo memético GBHS 2 Tagger propuesto en (Sierra Martínez *et al.*, 2017).

## 6. Resultados de los experimentos realizados

Los experimentos fueron realizados sobre los algoritmos metaheurísticos: 1) Memético GBHS2Pred2 con la mejora del contexto presentada en la sección 5, 2) los metaheurísticos Azar (búsqueda aleatoria), GBHS Tagger, GBHS2 Tagger, GBHS3 Tagger, HSTagger, HSTagger2 y HSTagger3 presentados en (Sierra Martínez *et al.*, 2017). Todos los algoritmos se ejecutaron sobre el dataset IULA de la sección 4.

Para la ejecución de los experimentos se utilizó un modelo cliente – servidor, con una base de datos en la nube (servidor), en donde los clientes (máquinas) solicitan cierto número de tareas, cada tarea tiene la frase y esta es ejecutada 30 veces en la maquina local, una vez finalizada la tarea se hace conexión con la base de datos en la nube y se graban los resultados, así hasta terminar las tareas solicitadas. Este proceso se repite por parte de los clientes hasta que se terminan las tareas por ejecutar en la base datos. Todos los experimentos se ejecutaron utilizando validación cruzada de 5 folders. En la Tabla 4, se muestra los conjuntos de datos (datasets) de prueba y entrenamiento para cada folder. Los parámetros usados para todos los algoritmos de la línea base fueron los definidos en (Sierra Martínez *et al.*, 2017).

Folder Prueba	Oraciones Prueba	Palabras Prueba	Folder Entrenamiento	Palabras Entrenamiento	Palabras comunes	Palabras desconocidas
1	8416	16316	2, 3, 4, 5	65521	12422	3894 (24%)
2	8416	16357	1, 3, 4, 5	65480	12494	3863 (24%)
Folder Prueba	Oraciones Prueba	Palabras Prueba	Folder Entrenamiento	Palabras Entrenamiento	Palabras comunes	Palabras desconocidas
3	8416	16466	1, 2, 4, 5	65371	12506	3960 (24%)
4	8416	16290	1, 2, 3, 5	65547	12409	3881 (24%)
5	8415	16408	1, 2, 3, 4	65429	12509	3899 (24%)

Tabla 4 – Conjunto de datos de prueba y entrenamiento para los experimentos.

La Tabla 5 muestra la precisión obtenida en orden ascendente y los valores de la desviación estándar para cada algoritmo, también se puede apreciar que los mejores resultados son los del algoritmo GBHS Tagger 2 con la mejora propuesta. La medida de precisión usada para la evaluación de los algoritmos es la siguiente:

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Número Palabras correctamente etiquetadas}}{\text{Número de palabras de la frase}}$$

Ecuación 5 – Medida de Precisión. Fuente: (Forsati & Shamsfard, 2014b).

Algoritmo	Parámetro	Num Oraciones	Precisión (%)	Desviación	Precisión (%) Palabras desconocidas	Desviación (Palabras desconocidas)
<i>Azar</i>	-	42079	94.8647	6.7539	90.0717	7.9378
<i>HSTagger 3</i>	-	42079	95.3244	6.8978	89.2502	7.7518
<i>HSTagger</i>	-	42079	96.9699	5.8722	93.1611	7.5736
<i>HSTagger 2</i>	-	42079	96.982	5.8321	93.1185	7.4774
<i>GBHS Tagger 2</i>	0.0	42079	97.1298	5.8183	93.4895	7.5877
<i>GBHS Tagger 3</i>	0.0	42079	97.158	5.8163	93.5645	7.6159
<i>GBHSTagger</i>	0.0	42079	97.1753	5.8456	93.6521	7.7179
<i>GBHSTagger</i>	0.3	42079	97.4002	5.8272	94.1479	7.8776
<i>GBHSTagger</i>	0.5	42079	97.4002	5.8272	94.1479	7.8776
<i>GBHSTagger</i>	0.7	42079	97.4002	5.8272	94.1479	7.8776
<i>GBHS Tagger 3</i>	0.3	42079	97.4124	5.7942	94.1507	7.8123
<i>GBHS Tagger 3</i>	0.5	42079	97.4124	5.7942	94.1507	7.8123
<i>GBHS Tagger 3</i>	0.7	42079	97.4124	5.7942	94.1507	7.8123
<i>GBHS Tagger 2</i>	0.3	42079	97.4306	5.7844	94.1928	7.8055
<i>GBHS Tagger 2</i>	0.5	42079	97.4306	5.7844	94.1928	7.8055
<i>GBHS Tagger 2</i>	0.7	42079	97.4306	5.7844	94.1928	7.8055
<b>GBHS2Pred2</b>	0.5	42079	<b>97.6051</b>	<b>5.6494</b>	<b>94.4238</b>	<b>7.8071</b>

Tabla 5 – Resultados de desempeño de los algoritmos en dataset IULA para castellano.

A los resultados de los experimentos realizados se le aplicó la prueba estadística no paramétrica de Friedman, que confirma que el GBHS2Pred2 supera en rendimiento a los demás algoritmos. La Tabla 6, muestra los resultados obtenidos en la prueba. Esta prueba tiene 17 grados de libertad (82.319298) y un valor p de 1.9663E-10, que lo hace estadísticamente significativo.

Algoritmo	Ranking Friedman	Algoritmo	Ranking Friedman	Algoritmo	Ranking Friedman
<b>GBHS2Pred2 0.5</b>	<b>1</b>	GBHS3 0.7	6.6	GBHS2 0.0	13
		0.5		0.5	
<i>GBHS2 0.3 0.5</i>	3	GBHS 0.3	8.4	HSTagger2	14.2
				0.5	
<i>GBHS2 0.5 0.5</i>	3	GBHS 0.5	8.4	HSTagger	14.8
<i>GBHS2 0.7 0.5</i>	3	GBHS 0.7	8.4	HSTagger3	16.2
				0.5	
<i>GBHS3 0.3 0.5</i>	6.6	GBHS 0.0	11	Azar	16.8
<i>GBHS3 0.5 0.5</i>	6.6	GBHS3 0.0	12		
		0.5			

Tabla 6 – Resultados Test de Friedman. Fuente: Propia Uso KEEL (Alcalá-Fdez *et al.*, 2009).

## 7. Conclusiones

Los contextos (ventanas) son indispensables al momento de realizar los experimentos, ya que al aportar más información al etiquetado se mejora la precisión, sin embargo, esto depende de las características propias de la lengua y el comportamiento del algoritmo sobre estos contextos.

El algoritmo memético GBHS2 Tagger demostró que, al incluir más conocimiento sobre el problema de etiquetado como información contextual, se obtienen resultados superiores sobre los otros algoritmos presentados en este trabajo; sin embargo, también se aprecia que el desempeño de los otros algoritmos metaheurísticos es muy cercano al mejor. El uso de validación cruzada de 5 folders favoreció la independencia entre los datos de entrenamiento y de prueba.

Como trabajo futuro, se propone primero, la adaptación de otros algoritmos metaheurísticos al problema de etiquetado, como Jaya (Singh & Chaudhary, 2018), Particle Swarm Optimization (PSO) (Neri, Mininno, & Iacca, 2013), Hill Climbing (Brownlee, 2011), Hill Climbing with Random Restart (Luke, 2015) y Evolución Diferencial (Sierra, Cobos, & Corrales, 2014); y segundo, evaluar los algoritmos metaheurísticos sobre otros corpus como el Brown (Francis & H. Kucera, 1979) y el Nasa Yuwe (Sierra Martínez *et al.*, 2018), con el fin de observar el desempeño sobre las ventanas contextuales del algoritmo mejorado en este trabajo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca, por toda su colaboración.

## Referencias

- Alcalá-Fdez, J., Sánchez, L., García, S., del Jesus, M. J., Ventura, S., Garrell, J. M., ... Herrera, F. (2009). KEEL: A software tool to assess evolutionary algorithms for data mining problems. *Soft Computing*, 13(3), 307–318. <https://doi.org/10.1007/s00500-008-0323-y>
- Alhasan, A., & Al-taani, A. T. (2018). POS Tagging for Arabic Text Using Bee Colony Algorithm. *Procedia Computer Science*, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.471>
- Alonso, H. M., & Zeman, D. (2016). Universal dependencies for the AnCora treebanks. *Procesamiento de Lenguaje Natural*, 57, 91–98.
- Araujo, L., Luque, G., & Alba, E. (2004). *Metaheuristics for Natural Language Tagging*. 889–900. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24854-5\\_90](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24854-5_90)
- Bordoloi, M., & Biswas, S. K. (2019). Graph-Based Sentiment Analysis Model for E-Commerce Websites' Data. In *Cognitive Informatics and Soft Computing: Proceeding of CISC 2017*, 453–462. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0617-4>
- Brants, T. (2000). *A Statistical Part-of-Speech Tagger*. Sixth Applied Natural Language Processing Conference, 5, 1–7.

- Brill, E. (1992). A simple rule-based part of speech tagger. *Proceedings of the Third Conference on Applied Natural Language Processing*. <https://doi.org/10.3115/974499.974526>
- Brownlee, J. (2011). Clever Algorithms. In *Search*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- De Marneffe, M.-C., MacCartney, B., & Manning, C. D. (2006). Generating Typed Dependency Parses from Phrase Structure Parses. In *Proceedings of LREC*. <https://doi.org/10.1145/1391729.1391731>
- EAGLES. (2004.). ETIQUETAS EAGLES. Retrieved December 3, 2018, from <http://blade10.cs.upc.edu/freeling-old/doc/tagsets/tagset-es.html>
- Forsati, R., & Shamsfard, M. (2014a). Hybrid PoS-tagging: A cooperation of evolutionary and statistical approaches. *Applied Mathematical Modelling*, 38(13), 3193–3211. <https://doi.org/10.1016/J.APM.2013.11.047>
- Forsati, R., & Shamsfard, M. (2014b). Novel harmony search-based algorithms for part-of-speech tagging. *Knowledge and Information Systems*, 42(3), 709–736. <https://doi.org/10.1007/s10115-013-0719-6>
- Francis, W. N., & H. Kucera. (1979). Brown Corpus Manual. Retrieved December 3, 2018, from <http://clu.uni.no/icame/manuals/BROWN/INDEX.HTM#bc8>
- Güngör, T. (2011). Handbook of Natural Language Processing ( second edition ). In *ACM Computing Surveys*. <https://doi.org/10.1007/s10590-011-9117-6>
- Huet, S., Gravier, G., & Sébillot, P. (2008). Morphosyntactic resources for automatic speech recognition. In *6th International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2008*, 692–698.
- Institut Universitari de Lingüística Aplicada (IULA), U. P. F. (2012). *IULA Spanish LSP Treebank*.
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2009). Speech and Language Processing. *Speech and Language Processing An Introduction to Natural Language Processing Computational Linguistics and Speech Recognition*, 21, 151–176. <https://doi.org/10.1162/089120100750105975>
- Kabashi, B., & Proisl, T. (2016). A Proposal for a Part-of-Speech Tagset for the Albanian Language. *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 4305–4310.
- Karimpour, R., Ghorbani, A., Pishdad, A., Mohtarami, M., Aleahmad, A., Amiri, H., & Oroumchian, F. (2009). Improving persian information retrieval systems using stemming and part of speech tagging. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5706, 89–96. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04447-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04447-2_10)



- Lavid, J., Arús, J., DeClerck, B., & Hoste, V. (2015). Creation of a High-quality, Register-diversified Parallel (English-Spanish) Corpus for Linguistic and Computational Investigations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 198, 249–256. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2015.07.443>
- Luke, S. (2015). *Essentials of Metaheuristics*.
- Ma, J., Liu, H., Huang, D., & Sheng, W. (2011). An English part-of-speech tagger for machine translation in business domain. In *7th International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering*, 183–189. <https://doi.org/10.1109/NLPKE.2011.6138191>
- Marcus, M. P., Marcinkiewicz, M. A., & Santorini, B. (1993). Building a large annotated corpus of English: the penn treebank. *Computational Linguistics*, 19(2), 313–330. <https://doi.org/10.1162/coli.2010.36.1.36100>
- Neri, F., Mininno, E., & Iacca, G. (2013). Compact particle swarm optimization. *Information Sciences*, 239, 96–121. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.03.026>
- Paul, A., Purkayastha, B. S., & Sarkar, S. (2015). Hidden Markov Model based Part of Speech Tagging for Nepali language. In *2015 International Symposium on Advanced Computing and Communication (ISACC)*. IEEE. <https://10.1109/ISACC.2015.7377332>
- Petrov, S., Das, D., & McDonald, R. (2011). *A Universal Part-of-Speech Tagset*. <https://doi.org/10.1038/hdy.2008.34>
- Pratt, K. S. (2009). Design Patterns for Research Methods: Iterative Field Research. *AAAI Spring Symposium: Experimental Design for Real*, (1994), 1–7.
- Ratnaparkhi, A. (1996). A Maximum Entropy Model for Part-Of-Speech Tagging. In *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing EMNLP-96*, 133–142. <https://doi.org/10.1007/s00280-013-2178-x>
- Schmid, H. (1994). Part-of-speech tagging with Neural Networks. *European Journal of Cancer Prevention*, 27(4), 296–302. <https://doi.org/10.1097/CEJ.0000000000000354>
- Sierra, L. M., Cobos, C., & Corrales, J. C. (2014). Continuous Optimization Based on a Hybridization of Differential Evolution with K-means. In: *Advances in Artificial Intelligence*, 8864, 381–392. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12027-0\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12027-0_31)
- Sierra M, L. M., Cobos, C. A., & Corrales, J. C. (2017). Memetic algorithm based on global-best harmony search and hill climbing for part of speech tagging. *Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10682 LNAI, 198–211. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71928-3\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71928-3_20)



- Sierra Martínez, L. M., Cobos, C. A., Muñoz Corrales, C. J., Curieux Rojas, T., Herrera-viedma, E., & Peluffo-ordóñez, D. H. (2018). Building a Nasa Yuwe Language Corpus and Tagging with a Metaheuristic Approach. *In 19th International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics*, 22(3), 881–894. <https://doi.org/10.13053/CyS-22-3-3018>
- Silva, A. P., Silva, A., & Rodrigues, I. (2013a). A New Approach to the POS Tagging Problem Using Evolutionary Computation. *Proceedings of Recent Advances in Natural Language Processing*, (September), 619–625.
- Silva, A. P., Silva, A., & Rodrigues, I. (2013b). BioPOS : Biologically Inspired Algorithms for POS Tagging. *Proceedings of the First International Workshop on Optimization Techniques for Human Language Technology*, 2(December), 1–16.
- Singh, P., & Chaudhary, H. (2018). A Modified Jaya Algorithm for Mixed-Variable Optimization Problems. *Journal of Intelligent Systems*, 0(0), 1–21. <https://doi.org/10.1515/jisys-2018-0273>
- Universal Pos-tags (2015). slavpetrov/universal-pos-tags: Automatically exported from code.google.com/p/universal-pos-tags.. Retrieved June 27, 2019, from <https://github.com/slavpetrov/universal-pos-tags>
- Surendran, D., & Levow, G.-A. (2006). Dialog Act Tagging with Support Vector Machines and Hidden Markov Models. *Interspeech 2006 and 9th International Conference on Spoken Language Processing*, 1950–1953.
- Tobar, J., & Solano, M. (2020). Scripts Dataset IULA. <https://bit.ly/38pr5oh>
- Universal Dependencies. (2014). Universal Dependencies. Retrieved December 17, 2018, from <http://universaldependencies.org/>
- Zeman, D. (2008). Reusable Tagset Conversion Using Tagset Drivers. *In Proceedings of LREC*.
- Zeroual, I., Lakhouaja, A., & Belahbib, R. (2017). Towards a standard Part of Speech tagset for the Arabic language. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 29(2), 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.01.006>

# Diseño de un procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software alineados a la guía del PMBOK

Luz María Hernández Cruz<sup>1</sup>, Brenda Bravo Díaz<sup>2</sup>

lmhernan@uacam.mx, bbavad@ipn.mx

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Campeche, 24085, Campeche, México.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, 07738, Distrito Federal, México.

**Pages: 229–241**

**Resumen:** La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos PMBOK es un estándar internacional cuyo propósito general es normalizar todos los procesos que se llevan a cabo en la dirección de proyectos. Particularmente, esta norma está evolucionando para adaptarse a la gestión ágil de proyectos debido a la naturaleza dinámica de los proyectos actuales. La presente investigación propone un nuevo enfoque basado en la idea de establecer una forma específica de implementar los procesos de la gestión ágil en proyectos de desarrollo de software. El objetivo principal del estudio es diseñar un procedimiento de gestión ágil de proyectos de desarrollo de software capaz de integrar un modelo de proceso, procesos y una metodología ágil que conlleve al éxito de los mismos alineados a la guía del PMBOK. Contribuyendo a la comunidad científica con un método integrador que gobierne la gestión ágil de proyectos para el desarrollo de software.

**Palabras-clave:** procedimiento; gestión; ágil; PMBOK.

## *Design of a procedure for the agile management of software development projects aligned to the PMBOK Guide*

**Abstract:** The PMBOK Guide is an international standard whose general purpose is to normalize all the processes that are carried out in the project management. In particular, this standard is evolving to adapt to agile project management due to the dynamic nature of current projects. The investigation proposes a new approach based on the idea of establishing a specific way to implement agile management processes in software development projects. The main objective of the study is to design an agile management procedure for software development projects, capable of integrating a process model, processes and an agile methodology that leads to their success aligned to the PMBOK guide. Contributing to the scientific community with an integrative method that governs the agile management of software development projects.

**Keywords:** procedure; management; agile; PMBOK.

## 1. Introducción

Los métodos de desarrollo ágil han despertado interés principalmente en la ingeniería de software, pero también en otras disciplinas, incluidos los sistemas de información y la gestión de proyectos (Dingsoeyr, Falessi, & Power, 2019).

La gestión ágil de proyectos es un estilo de gestión de proyectos que se centra en entrega temprana de valor comercial, mejora continua de productos y procesos del proyecto, flexibilidad de alcance, aportes del equipo y entrega de productos bien probados que reflejan las necesidades del cliente. Se denomina gestión ágil de proyectos a un conjunto de metodologías que permiten el desarrollo de proyectos que precisan de una especial rapidez y flexibilidad en su proceso y en especial, aquellos desarrollados en entornos donde encontramos una incertidumbre muy alta (Layton & Ostermiller, 2017).

En este tipo de proyectos, se halla el desarrollo de software, ya que su producción tiene una naturaleza diferente. El software no posee pasos intermediarios que puedan ser verificables como válidos durante su ciclo de vida (Laínez, 2015). El software se desarrolla a través de un proceso. No es algo que se fabrica a partir de materia prima, ni se ensambla a partir de piezas pequeñas. El software presenta esta característica especial en comparación con otros tipos de productos, es decir, no se fabrica en el sentido clásico, sino que se desarrolla a través de un proceso de ingeniería (Pressman, 2010). Asimismo, una correcta conducción de un proyecto se realiza siguiendo procesos definidos, aplicando las mejores prácticas que han dado resultado en distintas industrias y proyectos, y sin duda alguna la gestión de un líder competente (Urso, 2013).

En este sentido, es indiscutible el uso de un estándar que sirva de guía para el actuar en la gestión ágil de proyectos. El Project Management Institute (PMI) es una organización sin fines de lucro que avanza la profesión de la dirección de proyectos a través de estándares y certificaciones reconocidas mundialmente, mediante comunidades de colaboración, de un extenso programa de investigación y de oportunidades de desarrollo profesional. La Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) es un libro creado por el PMI en el que se presentan estándares, pautas y normas para la gestión de proyectos (Project Management Institute, Inc., 2019).

La presente investigación propone estipular a partir del enfoque del PMI, con el estándar la Guía del PMBOK v6.0, una forma específica de implementar los procesos de la gestión ágil en proyectos de desarrollo de software. Teniendo como objetivo principal concretar el diseño de un procedimiento de gestión ágil de proyectos de desarrollo de software que conlleve al éxito de los mismos.

La sección 2 El estudio de la investigación, exhibe la estructura general de la presente investigación. La sección 3 Desarrollo del estudio, abarca el análisis que contextualiza y apoya el diseño del procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software. La sección 4 Resultados, expone el procedimiento propuesto para la gestión ágil de desarrollo de software. Finalmente, la sección 5 Conclusiones, exterioriza los objetivos alcanzados de la investigación.

## 2. El estudio de la investigación

En particular, los proyectos de desarrollo de software, por su naturaleza dinámica, requieren de una gestión particular basada en conceptos propios de la Ingeniería de Software (Sommerville, 2015). Un modelo de desarrollo de software define una filosofía o marco de actuación para obtener un software que se ajuste a determinadas características. Éstos se implementan a través de sus metodologías que van describiendo el proceso de ingeniería, junto con las herramientas a aplicar, para obtener el producto que verifique las especificaciones del modelo (Alonso, Martínez, & Segovia, 2005). Un proceso de software descrito como un conjunto de actividades y resultados asociados que producen un producto de software (Ramos, Noriega, Láinez, & Durango, 2017).

El estudio de la investigación plantea la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software integrando los conocimientos y buenas prácticas de la Guía del PMBOK, la Guía Práctica Ágil y la Metodología Scrum. La Figura 1 muestra el enfoque del estudio.

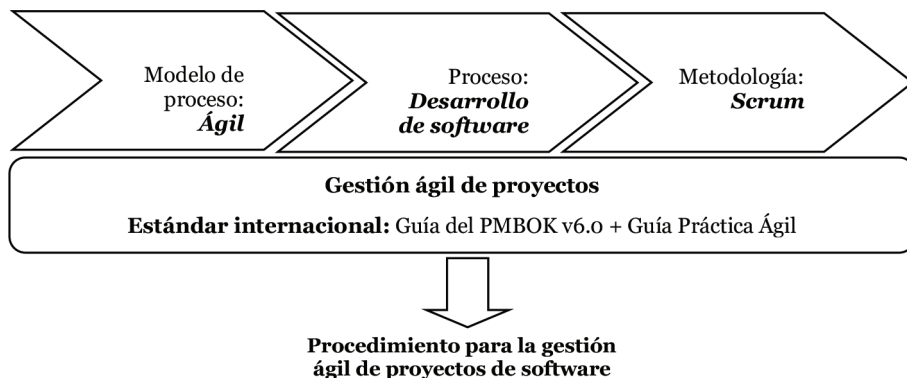


Figura 1 – Esquema del estudio de investigación. Fuente propia.

El objetivo de este trabajo es diseñar un procedimiento de los proyectos de desarrollo de software y servir de base para lograr el éxito de los mismos. Para lograr este objetivo propuesto, se contempla:

1. Analizar la relación de los Postulados del Manifiesto Ágil con la Guía del PMBOK y la Guía Práctica Ágil del PMI con la finalidad de establecer el enfoque propio de la gestión ágil propuesta por el PMI.
2. Examinar Scrum como una metodología aplicada en el desarrollo de software e identificar los procesos primordiales del procedimiento a diseñar.
3. Finalmente, diseñar un procedimiento alineado a los estándares internacionalmente aceptados y la metodología Scrum para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software.

### 3. Desarrollo del estudio

#### 3.1. Análisis de los postulados del manifiesto ágil en la guía del PMBOK y la guía práctica ágil

Para hablar de una gestión ágil, sin lugar a dudas, es necesario retomar el origen de esta corriente, como esencia del objeto de estudio. Los cuatro postulados ágiles que sustentan el concepto de agilidad son (Cunningham, 2001):

- **Individuos e interacciones** sobre procesos y herramientas.
- **Software funcionando** sobre documentación excesiva.
- **Colaboración con el cliente** sobre negociación contractual.
- **Respuesta ante el cambio** sobre seguir un plan.

La primera etapa del estudio corresponde al análisis de los estándares la Guía del PMBOK v6.0 y la Guía Práctica Ágil respecto a los cuatro postulados ágiles. Para ello, se utiliza el software de uso específico MAXQDA que admite análisis cualitativo de datos y métodos mixtos de investigación (VERBI GmbH, 2020). Este análisis se lleva a cabo con una metodología de codificación de datos. Los cuatro códigos definidos son: individuos e interacciones, software funcionando, colaboración con el cliente y respuesta ante el cambio; posteriormente, se realiza la asignación de códigos en ambos documentos a través de un análisis exhaustivo. La Figura 2 muestra la interfaz del software MAXQDA utilizado para el análisis de los estándares.

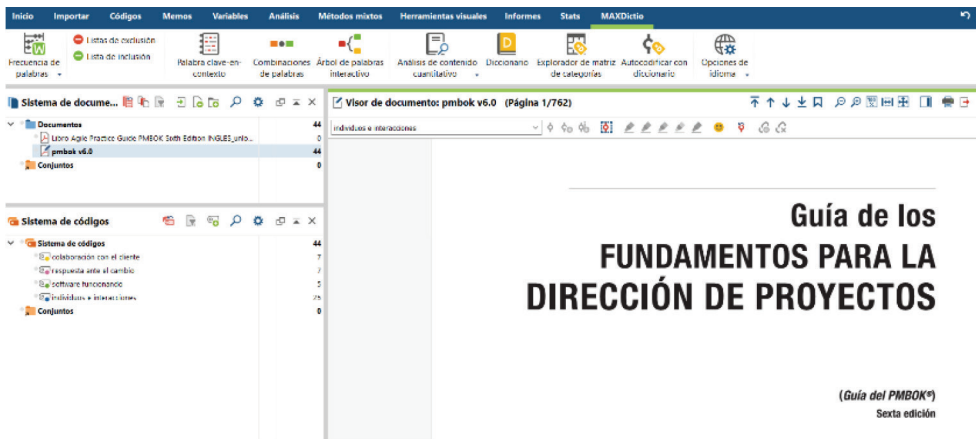


Figura 2 – Interfaz de Análisis en el software MAXQDA. Fuente propia.

Con respecto a la Guía del PMBOK v6.0, el análisis concluye con las siguientes frecuencias de códigos: individuos e interacciones 25 (56.8%), colaboración con el cliente y respuesta al cambio 7 (15.9%) y software funcionando 5 (11.4%), con un total de 44 asignaciones en todo el documento. La Figura 3 muestra el resultado de frecuencias del análisis de la Guía del PMBOK v6.0 y los Postulados Ágiles.

### Análisis de la Guía del PMBOK v6.0 y los Postulados Ágiles

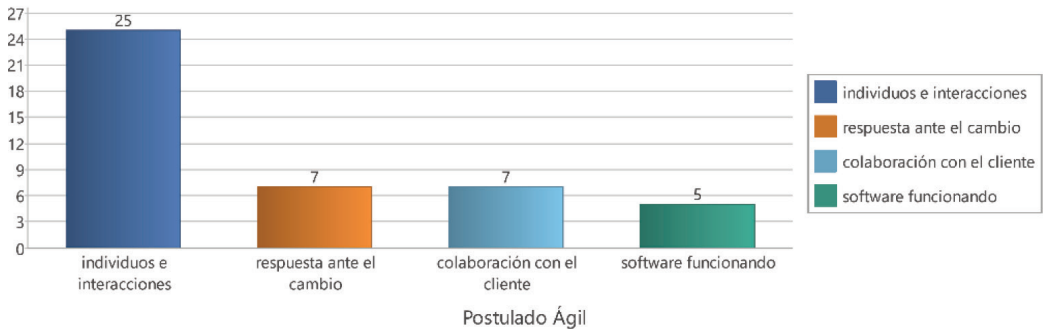


Figura 3 – Resultado del análisis de códigos en la Guía del PMBOK. Fuente propia.

También, se puede resaltar, que la Guía del PMBOK v6.0, de acuerdo a su retrato de documento y nube de palabras, a pesar de contener algunas recomendaciones de agilidad afines a los postulados ágiles, no es un documento con un enfoque ágil. La Figura 4 muestra el retrato de documento y la nube de palabras del análisis realizado de la Guía del PMBOK v6.0, destacando que los términos, en su mayoría, conciernen a un enfoque predictivo.



Figura 4 – Retrato de documento y nube de palabras de la guía del PMBOK v6.0. Fuente propia.

En relación al análisis de la Guía Práctica Ágil se obtuvo como mayor frecuencia 8 asignaciones (32%) para los códigos *individuos e interacciones* y *software funcionando*. Una frecuencia de aparición de 6 (24%) para *respuesta ante el cambio* y únicamente 3 (12%) para *colaboración con el cliente*. La Figura 5 muestra el resultado de frecuencias del análisis de la Guía Práctica Ágil y los Postulados Ágiles.





Postulado Ágil	Estándar internacionalmente aceptado Guía del PMBOK v6.0 y Guía Práctica Ágil
<b>Individuos e interacciones</b> <i>sobre procesos y herramientas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo determina cómo han de integrarse planes y componentes.</li> <li>• El éxito del proyecto depende directamente de la participación activa de los interesados.</li> <li>• Los proyectos que experimentan un alto grado de cambio requieren de la participación activa y el involucramiento de los interesados del proyecto.</li> <li>• La demostración y la revisión ayudan a comprobar el progreso contra el plan y determinan si se necesitan cambios en el alcance del proyecto, el cronograma o los procesos de ejecución.</li> <li>• Los proyectos con alta variabilidad se benefician de estructuras de equipo que maximizan el enfoque y la colaboración, tales como equipos autoorganizados con especialistas en temas generales.</li> <li>• La colaboración es necesaria para aumentar la productividad y facilitar la resolución innovadora de problemas.</li> <li>• En proyectos ágiles, la gestión de la calidad es llevada a cabo por todos los miembros del equipo durante todo el proyecto.</li> <li>• Las reuniones diarias permiten establecer compromisos, descubrir problemas y garantizar que el trabajo fluya a través del equipo. No debe tardar más de 15 minutos.</li> </ul>
<b>Software funcionando</b> <i>sobre documentación excesiva</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los métodos ágiles deliberadamente construyen y revisan prototipos y liberan versiones con el fin de perfeccionar los requisitos.</li> <li>• El trabajo en los ciclos de vida de proyectos ágiles, iterativos y adaptativos es dirigido y gestionado a través de iteraciones. Cada iteración es un periodo breve y fijo para llevar a cabo el trabajo, seguido de una demostración de la funcionalidad o el diseño.</li> <li>• Las retrospectivas recurrentes verifican regularmente la efectividad de los procesos de calidad.</li> <li>• El riesgo se considera a la hora de seleccionar el contenido de cada iteración, y los riesgos también serán identificados, analizados y gestionados durante cada iteración.</li> <li>• Retrospectivas. El equipo evalúa para aprender, mejorar y adaptar su producto y su proceso.</li> </ul>
<b>Colaboración con el cliente</b> <i>sobre negociación contractual</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A menudo el cliente, el usuario y el desarrollador intercambian información en un proceso dinámico co-creativo que conduce a un mayor involucramiento de los interesados y una mayor satisfacción.</li> <li>• La entrega ocurre frecuentemente con subconjuntos del producto global valorados por el cliente.</li> <li>• En un ciclo de vida adaptativo o ágil, el patrocinador y los representantes del cliente deberían estar continuamente involucrados en el proyecto para proporcionar retroalimentación sobre los entregables a medida que son generados y para garantizar que el registro de trabajos pendientes asociado al producto refleje sus necesidades actuales.</li> <li>• Revisiones. Una parte fundamental de lo que agiliza un proyecto es la entrega frecuente de un producto en funcionamiento.</li> </ul>
<b>Respuesta ante el cambio</b> <i>sobre seguir un plan</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El ciclo de vida del proyecto debe ser lo suficientemente flexible para enfrentar la diversidad de factores incluidos en el proyecto.</li> <li>• El director de proyectos debe establecer un entorno colaborativo para la toma de decisiones y asegurar que el equipo tenga la capacidad de responder a cambios.</li> <li>• El cambio es incorporado en tiempo real durante la entrega.</li> <li>• El riesgo y los costos son controlados a medida que surgen los requisitos y limitaciones.</li> <li>• Preparación de la Lista de Trabajo. Es la lista ordenada de todo el trabajo (Historias).</li> <li>• Refinamiento de la Lista de Trabajo. Es importante realizar reuniones para refinar las Historias antes de trabajar sobre ellas.</li> </ul>

Tabla 1 – Resumen del análisis de la Guía del PMBOK v6.0 y la Guía Práctica Ágil. Fuente: (Project Management Institute, Inc., 2017) y (Project Management Institute, Inc., 2017).



### 3.2. Análisis de la metodología Scrum

Específicamente, en proyectos de desarrollo software, Scrum se está convirtiendo en la metodología preferida por la comunidad de ingenieros de software ya que puede intervenir de manera adaptativa a problemas complejos, a la vez que entrega productos con máximo valor posible de manera productiva y creativa. Al mismo tiempo, se enfoca en agregar beneficio a los procesos de negocio de los clientes mediante la verificación continua, adaptación e innovación (Schwaber & Sutherland, 2017). La metodología de desarrollo Scrum, es un framework iterativo, rápido, eficaz, flexible y con altos índices de adaptabilidad al cambio. La satisfacción de las necesidades del cliente es el enfoque primordial de esta metodología a través del progreso continuo (Sangacha Tapia, y otros, 2019).

A continuación, se analiza la metodología Scrum para determinar los procesos del procedimiento a diseñar. El análisis se realiza mediante una exploración bibliográfica de diez libros específicamente relacionados con la metodología Scrum, utilizando la herramienta MAXDictio del software MAXQDA. La Tabla 2 muestra la estructura del diccionario definido para el análisis.

Categoría	Términos de la búsqueda
<i>Procesos o Prácticas comunes ágil</i>	Sprint, sprint planning, daily scrum, sprint review, sprint retrospective, increments, retrospective, daily standups, demonstrations, review.
<i>Roles</i>	Management project, customer, scrum master, team, product owner.
<i>Documentos</i>	Document, product backlog, sprint backlog, backlog.
<i>Herramientas</i>	Tools.

Tabla 2 – Diccionario creado para el análisis con MAXDictio. Fuente propia.

MAXDictio realiza una codificación automática en todos los documentos (libros), identificando la frecuencia de cada palabra del diccionario, proporcionando además un resumen de texto de cada coincidencia encontrada usado para el análisis de datos. La Figura 7 muestra el resultado de frecuencias del análisis de las fuentes bibliográficas.

Documento	Palabras	Procesos o Prácticas comunes ágil	Roles	Documentos	Herramientas
Scrum and Xp from the Trenches, 2nd Edition	40,398	871	1,027	236	21
The_Scrum_Framework_by_International_...	22,816	430	722	259	10
the_beginners_guide_to_project_managem...	3,280	5	36	2	1
SCRUM-Body-of-Knowledge	87,324	817	2,050	985	250
How-to-Outsource-Scrum-Projects	6,279	19	100	13	5
Scrum-Guide	7,284	247	225	159	1
Learning Agile	162,326	524	3,428	321	115
Scrum For Dummies	128,327	1,465	2,153	531	57
Scrum Shortcuts without Cutting Corners	64,401	715	744	153	37
Scrum in Action	63,991	415	873	124	5

Figura 7 – Resultado del análisis bibliográfico con MAXDictio. Fuente propia.

Con el resultado anterior, se establece un orden de prioridad para la inspección de los detalles de las asignaciones, así el análisis permite seleccionar las bibliografías pertinentes por cada una de las categorías y la exclusión de las dos fuentes bibliográficas con frecuencias más bajas que no aportan información relevante para el estudio. Además, desde el diccionario se identifica la información clave por palabra y categoría de forma fácil y rápida para concretar el estudio. La Figura 8 muestra un resumen del análisis bibliográfico mediante la matriz de categorías.

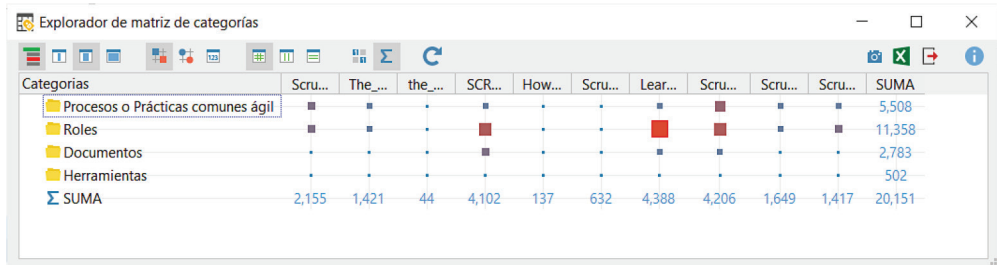


Figura 8 – Resultado del análisis bibliográfico con MAXDictio. Fuente propia.

## 4. Resultados

### 4.1. Diseño de un procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software

Es precisamente, a partir de todo el análisis previo y los hallazgos obtenidos, que se unifican y establecen los siguientes componentes principales para el diseño del procedimiento:

1. Fases. La fase representa cada una de las etapas de la gestión ágil como parte del ciclo de vida del proyecto derivado del modelo de proceso.
2. Procesos. Conjunto de acciones y actividades interrelacionadas a seguir por cada uno de los roles.
3. Roles. Define un conjunto de responsabilidades y habilidades específicas relacionadas con la gestión ágil que deben ser llevadas a la práctica dentro del proyecto de desarrollo de software por un miembro del equipo.
4. Documentos. Producto de trabajo de la gestión ágil.

Considerando la información obtenida de los análisis previos se identifican los procesos principales para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software integrando los estándares la Guía del PMBOK v6.0, la Guía Práctica Ágil y la Metodología Scrum. La Tabla 3 muestra los procesos identificados para el diseño del procedimiento de gestión ágil de proyectos de desarrollo de software.

Enseguida se presenta el procedimiento diseñado como resultado del estudio. La Figura 9 muestra el procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software. La Figura 10 muestra los subprocesos incluidos en el procedimiento diseñado.

<b>Identificador</b>	<b>Actividad</b>
<i>F1 Iniciación del proyecto</i>	P1.1 Crear la visión del proyecto
	P1.2 Definir el Caso de negocio del proyecto
	P1.3. Integrar el Equipo Scrum
	P1.4. Identificar el Scrum Master y los Interesados
	P1.5. Realizar el Plan de Entregas o Lanzamiento
	P1.6 Elaborar Historias de usuario
	P1.7 Priorizar y ordenar Historias de usuario
	P1.8 Aprobar, estimar y asignar Historias de usuario
	P1.9 Formulación del Backlog del producto
	P1.10 Definir la duración del Sprint
<i>F2 Planificación del Sprint</i>	P2.1 Revisar el Backlog del producto
	P2.2 Definir el Objetivo del Sprint
	P2.2 Formulación del Sprint Backlog
	P2.4 Elaborar, dividir y estimar Tareas del Sprint Backlog
<i>F3 Seguimiento del Sprint</i>	P3.1 Llevar a cabo la reunión diaria
	P3.2 Análisis, diseño y codificación del producto
	P3.3 Integración y pruebas del producto
	P.3.4 Refinamiento del Backlog del producto
	P.3.5 Incremento del producto
<i>F4 Revisión y retrospectiva del Sprint</i>	P4.1 Demostración y validación del Sprint
	P4.2 Acciones de mejora continua del Sprint
<i>F5 Cierre del proyecto</i>	P5.1 Envío de entregables
	P5.2 Retrospectiva del proyecto

Tabla 3 – Procesos para el procedimiento de gestión ágil con la metodología Scrum.  
Fuente propia.

## 5. Conclusiones

La gestión ágil es una práctica que conlleva al éxito de proyectos que poseen dinamismo significativo. Concretamente, para proyectos de desarrollo de software los modelos, procesos y metodologías que envuelven el desarrollo de software tendrán que integrarse adecuadamente y, esto dependerá en gran medida del uso de estándares que regulen y guíen los procesos a seguir.

Los resultados conseguidos en el estudio realizado, corresponden a un análisis cualitativo y mixto de investigación, después de haber contrastado los referentes de los estándares la Guía del PMBOK v6.0 y la Guía Práctica Ágil con los Postulados Ágiles. Asimismo, un análisis bibliográfico de la metodología Scrum que delimita las pautas del diseño del procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software alineado a los principales hallazgos teóricos y de implementación encontrados para la gestión de proyectos.

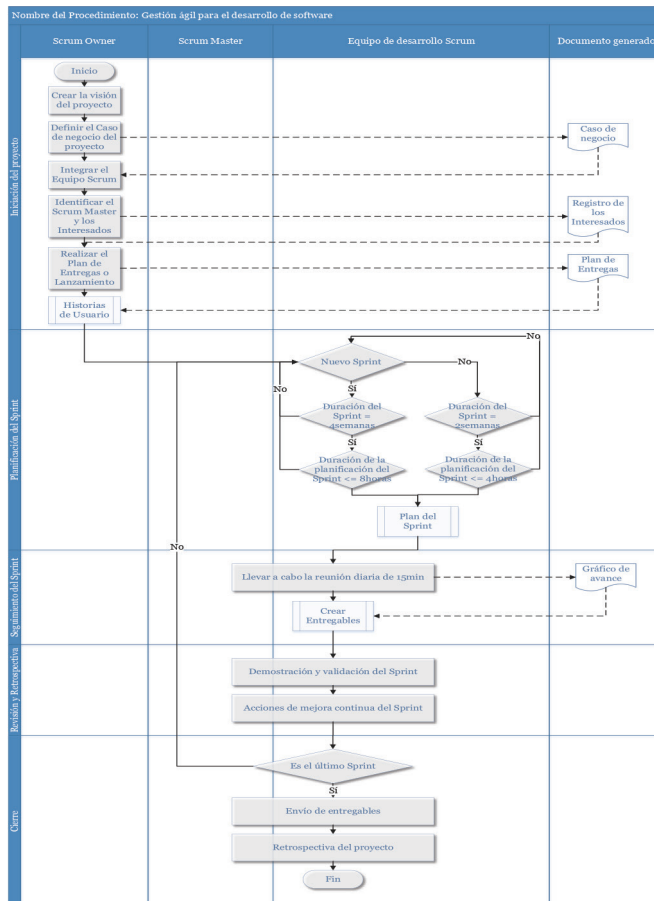


Figura 9 – Procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software. Fuente propia.

La gestión ágil de proyectos, está caracterizada por la adaptabilidad, flexibilidad, equipos autoorganizados y resistencia al cambio, en general, se persiguen los preceptos del enfoque ágil. Por lo cual, cada proceso y actividad definida en el procedimiento propuesto se alinea y está emparejada con los estándares mencionados, otro elemento importante del diseño es la mínima asignación de tareas y documentos para evitar que dificulten la práctica eficiente de gestión ágil. El procedimiento plantea y permite abordar de forma clara, precisa y definida los procesos principales a llevarse a cabo en la gestión ágil, siendo la base de actuación para la ejecución de una gestión ágil en el desarrollo de proyectos de software.

Por último, en trabajos futuros, se plantea la implementación y validación del procedimiento propuesto en un contexto específico para la mejora continua de su diseño. Al mismo tiempo, hay un campo muy amplio de investigación para diversos estudios,

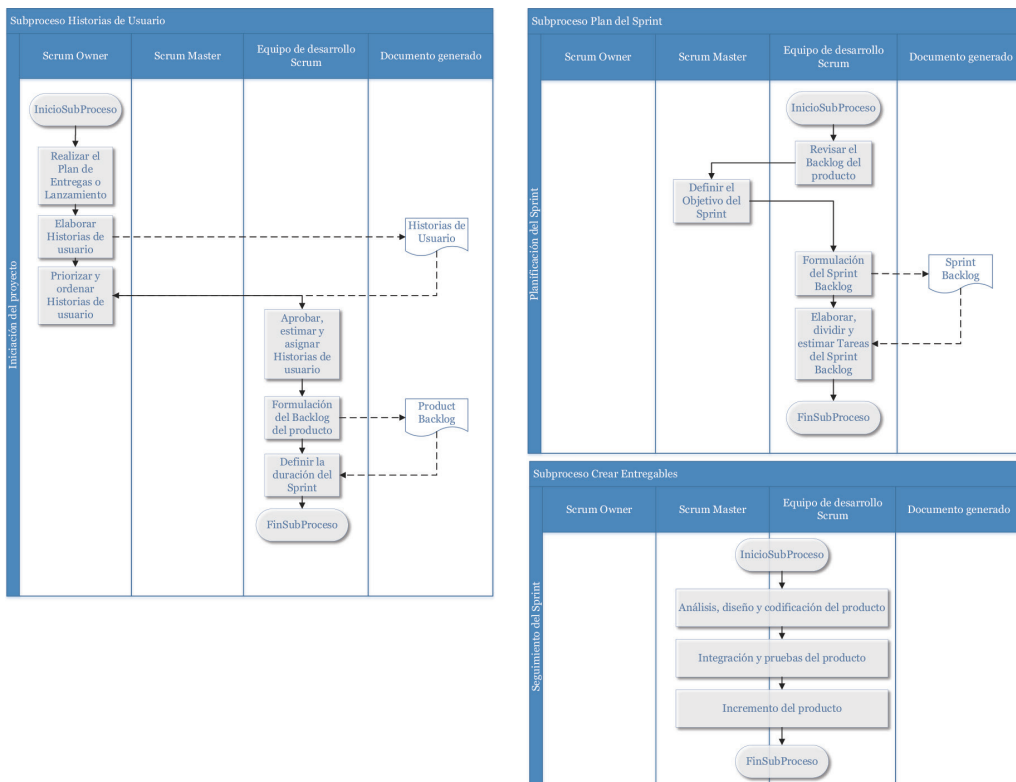


Figura 10 – Subprocesos del procedimiento para la gestión ágil de proyectos de desarrollo de software. Fuente propia.

considerando nuevos paradigmas, metodologías, estándares y la integración de ellos, siendo ciertamente una oportunidad indiscutible para el avance científico y tecnológico en el área de la Ingeniería de Software.

## Referencias

Alonso, F., Martínez, L., & Segovia, J. (2005). *Introducción a la Ingeniería del Software: Modelos de desarrollo de programas*. Madrid: Delta publicaciones.

Cunningham, W. (2001). *Manifiesto por el Desarrollo Ágil de Software*. Obtenido de <https://agilemanifesto.org/iso/es/manifiesto.html>

Dingsoeyr, T., Falessi, D., & Power, K. (2019). Agile Development at Scale: The Next Frontier. *IEEE Software*, 36(2), 30-38.

Laínez, J. R. (2015). *Desarrollo de Software Ágil: Extremme Programming y Scrum*. (2da. edición ed.). IT Campus Academy.

- Layton, M. C., & Ostermiller, S. J. (2017). *Agile Project Management for Dummies* (2da. Edición ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Pressman, R. S. (2010). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (7a. edición ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Project Management Institute, Inc. (2017). *Agile Practice Guide*. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- Project Management Institute, Inc. (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos: Guía del PMBOK sexta edición*. Pennsylvania, Estados Unidos de América: Project Management Institute, Inc.
- Project Management Institute, Inc. (07 de 11 de 2019). *Project Management Institute*. . Obtenido de Project Management Institute. America Latina: <https://americalatina.pmi.org/latam/AboutUS/WhatIsPMI.aspx>
- Ramos, D., Noriega, R., Laínez, J. R., & Durango, A. (2017). *Curso de Ingeniería de Software* (2da. edición ed.). IT Campus Academy.
- Sangacha Tapia, L. M., Varela Tapia, E., Ortiz Zambrano, J. A., Ortiz Aguirre, I., Masabanda Campoverde, L. G., & Ferruzola Duque, W. S. (2019). Aplicación móvil en los ambientes educativos en Ecuador: "Monitoreando tareas y Asistencia en tiempo Real". *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Información*(E22), 33.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). Obtenido de La Guía de Scrum: <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100>
- Sommerville, I. (2015). *Software Engineering* (10a. edición ed.). Pearson Education.
- Urso, C. (2013). *Dirección de Proyectos Exitosos. Cómo dejar de administrar el caos y encarar proyectos posibles y previsibles*. . México: Granica.
- VERBI GmbH. (2020). *MAXQDA. The Art of Data Analysis*. Obtenido de [https://es.maxqda.com/software-analisis-datos-cualitativos?gclid=CjwKCAjwiMj2BRBFEiwAYfTbCqamBPtBqPDrOCvGoZjxKB-MtlRmKorZxtK1567YfHN4or1rXR YBLxoCMigQAvD\\_BwE](https://es.maxqda.com/software-analisis-datos-cualitativos?gclid=CjwKCAjwiMj2BRBFEiwAYfTbCqamBPtBqPDrOCvGoZjxKB-MtlRmKorZxtK1567YfHN4or1rXR YBLxoCMigQAvD_BwE)

# Aplicación de técnicas de minería de datos para la predicción del consumo de tabaco y alcohol en estudiantes universitarios

Priscila Valdiviezo-Díaz<sup>1</sup>, Pablo Torres-Carrión<sup>1</sup>, Byron Fernando Bustamante-Granda<sup>2</sup>, Rafael Nicolás Sánchez-Puertas<sup>2</sup>

**pmvaldiviezo@utpl.edu.ec, pvtorres@utpl.edu.ec, bfbustamante@utpl.edu.ec, rnsanchez@utpl.edu.ec**

<sup>1</sup> Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, 110110, Loja, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Psicología, 110110, Loja, Ecuador.

**Pages: 242–255**

**Resumen:** La adicción al tabaco es un problema de salud social, alcanzando un 30% de la población adulta a nivel mundial. Para los organismos de salud, es indispensable disponer de herramientas que les permitan aplicar políticas de atención y prevención. Se propone un estudio piloto para descubrir patrones de características de los poli-consumidores de tabaco y alcohol en jóvenes universitarios. Así, se levantó información de 478 jóvenes universitarios ecuatorianos, de los que se evaluaron 73 variables socio-demográficas, psicosociales, de salud y consumo. Se aplica un método de minería de datos para la predicción: pre-procesamiento, análisis de la muestra, aplicación de algoritmos y análisis de resultados. Se obtienen siete variables con mayor implicación en la predicción, que se validan en dos experimentos, aplicando árboles de decisión y redes neuronales.

**Palabras-clave:** policonsumidores; tabaco; alcohol; minería de datos; predicción, red neuronal.

## ***Application of data mining techniques for the prediction of tobacco and alcohol use in university students***

**Abstract:** Tobacco addiction is a social health problem, reaching 30% of the adult population worldwide. For health organizations, it is essential to have tools that allow them to apply care and prevention policies. A pilot study is proposed to discover patterns of characteristics on tobacco and alcohol poli-consumers in university students. Thus, the information was collected from 478 Ecuadorian young university students, obtaining records of 73 socio-demographic, psychosocial, health and consumption variables. A method of data mining is applied for prediction: pre-processing, sample analysis, application of algorithms and analysis of results. Seven variables with greater involvement in the prediction are obtained, which are validated in two experiments, applying decision trees and neural networks.

**Keywords:** *policonsumer*; tobacco; alcohol; data mining; prediction; neuronal network.

## 1. Introducción

El problema del poli-consumo de tabaco y alcohol es de gran interés y a la vez de preocupación debido a las consecuencias en salud y socio-económicas asociadas. Según lo señala la Oficina de la Naciones Unidas contra La droga y el Delito (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), 2019) “275 millones de personas en todo el mundo, es decir, aproximadamente el 5,6% de la población mundial de edades comprendidas entre los 15 y los 64 años, consumió drogas en al menos una ocasión en 2016” (p.1); el 30% de la población adulta fuma tabaco; 50% de la población consume alcohol. El problema de adicción es parte de las políticas estatales y gubernamentales que están señaladas en varios enunciados de diversas leyes, por ejemplo, en la Constitución del Ecuador, art. 364 manifiesta que “Las adicciones son un problema de salud pública”. Según Bustamante, López, Ruisoto, & Sanchez (2018), el 90% de los estudiantes universitarios en Ecuador consumen alcohol y un tercio, podría tener consecuencias a nivel social, académico y de salud por consumo problemático. Ante esto se ve la necesidad de realizar un estudio que permita descubrir las características cuando al consumo de alcohol se le incrementa otra sustancia como el tabaco, es decir cuando se presenta el patrón de poli-consumo tipo A (Hernández-Serrano, Font-Mayolas, & Gras-Pérez, 2015).

Si bien es cierto que el consumo de alcohol es muy elevado en los universitarios, no es desdeñable el porcentaje de consumidores de tabaco en esta población, y en estos consumidores de tabaco es muy raro encontrar consumidores exclusivos de esta sustancia, pues generalmente va acompañada del consumo de alcohol (Bustamante et al., 2018). En relación al tabaco, hay algunas variables psicosociales que se deberían analizar, por ejemplo Farris, Zvolensky, & Schmidt, (2015), determinaron que la evasión experiencial (i.e. inflexibilidad psicológica) específica del tabaquismo con respecto a la abstinencia, el deseo o el afecto negativo durante un intento de dejar de fumar fueron variables importantes para la comprensión de los intentos por dejar de fumar. En un estudio posterior Farris et al., (2016) it is unclear whether sustained smoking abstinence is associated with subsequent reductions in smoking-specific experiential avoidance. Methods Daily smokers (n = 149 realizaron dos modelos de ruta que incluye el sexo, la condición del tratamiento y la dependencia de nicotina antes del cese, evitación experiencial específica para fumar y presencia de trastornos emocionales como covariables; como resultados relevantes, destacan que la abstinencia de fumar sostenida se asoció con una reducción en la puntuación total de inflexibilidad psicológica, y la abstinencia de fumar sostenida se asoció con reducciones en la evitación experiencial, en sus dos componentes: 1) pensamientos y sentimientos relacionados con el tabaquismo ( $\beta = -.44, p < .001$ ) y 2) sensaciones corporales internas ( $\beta = -.41, p < .001$ ). Los estudios de Ferris, aunque no se sostienen en técnicas de minería de datos, proporcionan un acercamiento que permiten relacionarlo con los objetivos de esta investigación.

Otro estudio relacionado como el de Christophi, Pampaka, Paisi, Ioannou, & DiFranza (2016) evalúa la dependencia física del tabaco entre adolescentes de escuelas intermedias y secundarias de Chipre (edad: 13 - 18 años) y la asociación entre el consumo de cigarrillos y las actitudes hacia el tabaquismo, observando asociaciones significativas entre la dependencia física y la dificultad percibida para dejar de fumar, así como la expectativa de continuar fumando durante los próximos cinco años; también asociaciones significativas entre la dependencia física y el número de días propensos a fumar.



Por otro lado, basados en los resultados de la revisión sistemática de Torres-Carrión, Reátegui, Valdiviezo-Díaz, Bustamante-Granda, & Vaca-Gallegos (2020), sobre la aplicación de técnicas basadas en inteligencia artificial para la predicción del consumo de drogas y sustancias, se conoce que el tabaco y el alcohol son las dos sustancias que más se investigan por separado, pero rara vez se investigan como un patrón de policonsumo. Además, estos autores, sostienen que las técnicas de inteligencia artificial más aplicadas son: aprendizaje automático, minería de datos, clasificación, predicción y procesamiento de lenguaje natural; y en cuanto a los problemas el más relevante es la adicción.

Un trabajo reciente de Torres-Carrión, Reátegui, et al., (2020), que aplica análisis clúster en universitarios abstemios, se determinaron dos subtipos, a través del análisis de las siguientes características psicosociales: nivel de depresión, inflexibilidad psicológica, percepción de soledad, satisfacción con la vida e impulsividad cognitiva. Mientras que en el estudio Reátegui et al., (2020), se realiza un análisis de conglomerados utilizando el algoritmo Sparse K-means; y se identificaron también las características psicosociales de los consumidores de alcohol, tabaco y otras drogas, obteniendo tres clúster de una muestra poblacional de 3741 estudiantes universitarios de Ecuador. Este trabajo se centra en un subgrupo (i.e. policonsumidores tipo A de alcohol y tabaco) que busca complementar los trabajos anteriores.

Son pocas las investigaciones que trabajan técnicas de minería de datos para la predicción del consumo de tabaco y alcohol en forma simultánea. Kharabsheh et al. (2019) investigan la capacidad de las metodologías de aprendizaje automático para clasificar el nivel de dependencia de nicotina del fumador, aplicable a mujeres fumadoras de tabaco con pipa de agua, usando características que incluyen la edad, residencia y el nivel educativo. Huang, Elghafari, Relia, & Chunara (2017) desde una data de auto-informes de twitter, estudian patrones de comportamiento relacionados con el tabaco y el alcohol, para descubrir los factores de riesgo y diseñar sistemas de intervención; combinan el procesamiento del lenguaje natural, el aprendizaje automático y los análisis de series de tiempo, descubriendo que las representaciones de comportamientos en el dominio del tiempo (sub-diario, diario y semanal) y la frecuencia en las redes sociales proporcionan información significativa y única. Guydish et al., (2016) combina las características del enfoque de un sistema experto con incentivos para dejar de fumar, en un programa que ha logrado una disminución de cigarrillos por día, así como la disminución de dependencia de nicotina.

Este estudio forma parte del Proyecto PROY.PSC.1055 financiado por la Universidad Técnica Particular de Loja, en el que se trabajó con una base de 7905 estudiantes universitarios del Ecuador, y del cual se han obtenido entre otros resultados la validación del test AUDIT para población Ecuatoriana (López et al., 2019), y este estudio tiene como objetivo utilizar algoritmos de minería de datos para predecir el poli-consumo de tabaco y alcohol en universitarios ecuatorianos, y así proveer información para intervención y prevención en salud mental y física. Se realiza una serie de experimentos con árboles de decisión y redes neuronales a fin de obtener el mejor clasificador. Para el proceso de minería de datos se aplica un método general que abarca cuatro fases: pre-procesamiento, análisis de la muestra, aplicación de algoritmos y análisis de resultados. Se trabaja con una muestra de 478 sujetos que cumplen el patrón de poli-consumo simultáneo de tabaco y alcohol, y 73 variables sociodemográficas, de salud, y psicosociales. Se trata de un estudio preliminar, como base para sustentar otras técnicas

de minería de datos aplicables a los datos. El resto del artículo se encuentra estructurado de las siguientes secciones: 2) contiene la metodología de este trabajo, 3) contiene los experimentos y el análisis de los resultados, y 4) describe las conclusiones.

## 2. Metodología

La metodología aplicada en este trabajo consiste en la selección y análisis de los datos de personas que consumen simultáneamente tabaco y alcohol; se identifican patrones de comportamientos de los usuarios que poseen este consumo. Luego, se aplica un algoritmo de predicción basado en técnicas de minería de datos para inferir conocimiento del usuario analizando su comportamiento, y para descubrir estrategias que permitan dar soporte a la problemática encontrada; por último, se realiza una evaluación de los resultados obtenidos para determinar la exactitud de la predicción.

El modelo de predicción se construye con base en información sociodemográfica y psicosocial del usuario, de acuerdo a la metodología usada en los estudios de (Ruisoto, Cacho, López-Goñi, Vaca, & Jiménez 2016; Ruisoto, Vaca, López-Goñi, Cacho, & Fernández-Suárez, 2017). En los que se aplicaron los siguientes instrumentos: 1) encuesta sociodemográfica ad hoc; 2) el test Alcohol Use Disorders Identification Test, para evaluar el consumo de alcohol (Babor, Higgins-Biddle, & Monteiro, 2001; Reinert & Allen, 2002), 3) Test de Fagerstrom, que evalúa el consumo problemático de tabaco (Heatherton, Kozlowski, Frecker, & Fagerstrom, 1991), 4) Test ASSIST, evalúa el consumo de alcohol, tabaco y otras drogas (World Health Organization WHO, 2002), 5) Patient health questionnaire of depression and Anxiety (PHQ-4) (Wingenfeld, Schneider, & Brähler, 2010), para establecer la presencia y severidad de la depresión, 6) Avoidance and action questionnaire (AAQ7) (Ruiz, Luciano, Cangas, & Beltrán, 2013), que mide la inflexibilidad psicológica, 7) Type A Behavior Scale.6 que mide rasgos como la competitividad, la exigencia por el logro, la hostilidad, agresividad, impaciencia y sensación exagerada de urgencia, este patrón se asocia a muerte prematura y enfermedades cardio-vasculares. 8) Loneliness scale (UCLA-R) (Hughes, Waite, Hawkey, & Cacioppo, 2004), para determinar la percepción de de soledad, 8) Satisfaction with life Questión (SLQ) (Dolan, Layard, & Metcalfe, 2001) una pregunta que mide del 0 al 10 el nivel de satisfacción vital, 9) Perceived Stress Scale (PSS-14) (Cohen, Kamarck, & Mermelstein, 1983; Remor 2006), que mide el grado de estrés y la capacidad que posee la persona durante el último mes para controlarlo, 10) The Life Engagement Test (TVC) (Scheier, et al., 2006) que mide el compromiso vital, o la capacidad de los sujetos para guiar su vida por los valores.

Una vez obtenida la información, se siguen las siguientes fases:



Figura 1 – Fases para la predicción.

## 2.1. Pre-procesamiento

Se desarrolla un pre-procesamiento de los datos que servirán de entrada para los algoritmos de minería de datos. Esto incluye la transformación de datos y normalización. Las técnicas de reducción de datos se orientan a obtener una representación reducida de los datos originales, manteniendo en la mayor medida posible la integridad de los mismos.

Luego del proceso de reducción de datos de la base original de 7905 estudiantes, se selecciona a todos aquellos sujetos que han consumido alcohol y tabaco durante los últimos tres meses, con base en las respuestas en los test AUDIT, TDFN y ASSITS, obteniendo una muestra de 478 registros, de cada uno de ellos se analizan 73 variables, entre sociodemográficas, de salud y psicosociales.

El conjunto de datos resultante se considera suficiente para el estudio preliminar desarrollado, con el que la idea es descubrir patrones comprensibles que se encuentran ocultos en los datos y que puedan ser la base para futuras investigaciones relacionadas a este proyecto.

Debido a la forma de distribución de los datos, se realiza un proceso de normalización de los datos, haciendo un ajuste en la distribución, para esto se usa la técnica de normalización basados en min-max (Al Shalabi & Shaaban, 2006), en la cual los atributos son ubicados desde su dominio en un nuevo rango de valores entre (0, 1). La fórmula es la siguiente:

$$\frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Donde,  $x$  representa el valor original del conjunto de datos.

En vista del gran número de variables se utiliza el método “*Fselector*”, el cual permite seleccionar atributos desde un conjunto de datos dado. Con este método se redujo el número de variables consideradas en la aplicación del algoritmo, en el presente caso del conjunto de 73 variables se identificó que solo 7 variables tienen más implicación en la predicción, con las cuales se realiza un detallado análisis. Las variables seleccionadas fueron:

Variables	Descripción
Región	Región: costa, sierra, oriente e insular
Sexo	Sexo: femenino, masculino
Probabilidad de perder el ciclo (Prob_Perder_Empleo-Perc)	Probabilidad perder el ciclo en un puntaje del 1 al 10
Consumo de Psicofármacos (Psicofármacos)	Antecedentes personales de consumo de psico-fármacos
Personalidad tipo A (PTA-total)	Personas muy exigentes competitivas, personalidad tipo A, medido en un puntaje que va desde 0 a 10, y se interpreta que a mayor puntaje mayor presencia del rasgo
Compromiso Vital (TCV_total)	Compromiso vital, o capacidad para direccionar el comportamiento en base a los valores. Se mide a través de un puntaje de 6 a 30 puntos, a mayor puntaje mayor es la presencia de esta tendencia en las personas
Índice de masa corporal (IMC-Recod)	Índice de masa corporal calculado entre el peso y Altura informados

Clase (variable a predecir)	
Poli-consumo de Tabaco y Alcohol (TABALC)	Poli-consumo tipo A: Tabaco y alcohol que se dicotomiza en 1 consume y 0 no consume.

Tabla 1 – Variables consideradas para la predicción.

De la muestra seleccionada, el 28,5% son mujeres y el 71,5% son hombres, en su gran mayoría los estudiantes pertenecen a la región sierra (78,1%), el resto se encuentra distribuido entre la región costa y oriente. La edad promedio de los estudiantes es de 22 años.

## 2.2. Análisis de la muestra

A fin de analizar las variables que están más relacionadas entre sí y que tendrían alguna implicación en la clasificación del posible policonsumo o no del tabaco y alcohol, se realiza un análisis de toda la muestra, una vez reducido el número de variables.

Mediante el siguiente gráfico se analiza la matriz de correlación de las variables seleccionadas, el cual permite visualizar gráficamente la relación existente entre cada una de las variables usadas para la predicción y si dicha relación podría ayudar a clasificar el consumo de tabaco y alcohol. En vista que, para este tipo de análisis es importante tener en cuenta que las variables analizar sean de naturaleza continua, la matriz de correlación se obtuvo con el conjunto de datos normalizado, ya que en esta fase se llevó a cabo una transformación de las variables cualitativas implicadas, creando para cada una de ellas una variable continua que toma como valor el resultado obtenido de la normalización. Se consideró además como referencia el estudio de (Khalifi, 2015), busca explicar posibles correlaciones entre distintas variables traduciendo las variables cualitativas a cuantitativas mediante la asignación de valores continuos, y lo señalado en (Pérez & Santín, (2008), donde se obtienen coeficientes de correlación para variables cualitativas.

Al analizar la figura 2, se puede observar que hay una correlación entre las variables *probabilidad de perder el ciclo* y *personalidad tipo A*, y también entre la *probabilidad de perder el ciclo* y *el compromiso Vital*.

Analizando la correlación positiva, se observa que se da una baja correlación positiva entre las variables *probabilidad de perder el ciclo* y *personalidad tipo A* ( $r=0.11$ ,  $p<.05$ ), se puede observar también que hay una relación positiva baja entre la variable Antecedentes de consumo de *psicofármacos* y *compromiso vital* ( $r= 0.20$ ,  $p<.05$ ), de manera que un cambio en la una predice el cambio en la otra variable, ambas variables varían al mismo tiempo. De acuerdo algunos autores un valor de correlación bajo no significa que no exista relación entre las variables, ya que las variables pueden tener una relación no lineal.

Por otro lado, se observó una correlación negativa entre *Personalidad tipo A* y *compromiso vital* ( $r=-0.20$ ,  $p<.05$ ); y entre la *probabilidad de perder el ciclo* y *el compromiso vital* ( $r=-0.12$ ,  $p<.05$ ), esto quiere decir que cuando una variable cambia, la otra lo hace de forma contraria. De esta forma tenemos que la relación entre estas variables es negativa, lo que indica que a medida que una persona es más exigente, tiene

una percepción menor de poder perder el ciclo, y a su vez un menor compromiso vital puede estar asociado a mayor probabilidad de perder el ciclo.

Se determina la correlación entre las variables seleccionadas, con el fin de conocer la asociación que existen entre ellas, de acuerdo al tamaño de la muestra, cualquier coeficiente diferente de 0 puede ser significativo para nuestro estudio. Aunque los valores de correlación sea bajos, los resultados brindan una idea de la posible relación que existe entre las variables que serán utilizadas para la aplicación de los algoritmos. Considerando lo mencionado por van Stralen, Jager, Zoccali, & Dekker, (2008) donde indican que el análisis de correlación es muy sensible al rango de valores en estudio, para futuros trabajos consideramos aumentar el tamaño de la muestra y comparar los resultados con otros métodos de medición.

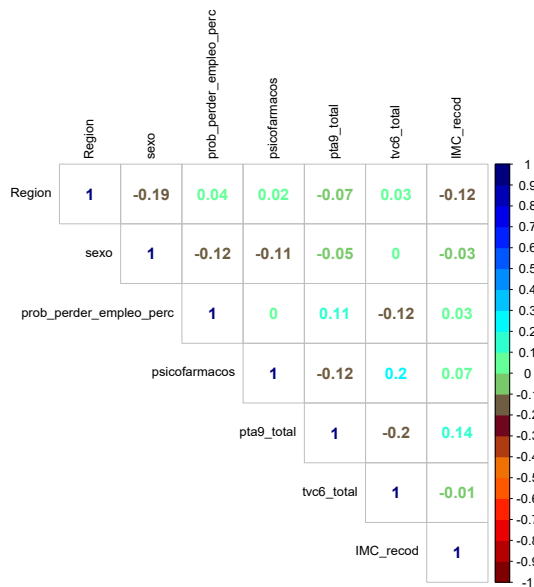


Figura 2 – Matriz de correlación del estudio del consumo de Tabaco y Alcohol.

### 2.3. Aplicación de algoritmos

En este artículo se consideran dos experimentos: el primero se realiza con árboles de decisión, los cuales están enfocados en aprender de un conjunto de instancias independientes, éstos realizan una serie de clasificaciones bajo ciertas reglas con el fin de clasificar instancias asociadas a ciertas clases (García, Luengo, & Herrera, 2015). Estos modelos predictivos se usan en base a variables de entrada para predecir valores de sus posibles variables destino, en este caso la entrada estaría formada por las variables seleccionadas y la salida sería la clase: Policonsumo Tabaco y alcohol (TABALC). Luego se realiza un segundo experimento con redes neuronales, las cuales se han aplicado de manera exitosa en distintos ámbitos científicos, para las tareas de clasificación y aproximación.

## 2.4. Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados se aplican métricas, que permitan medir la capacidad de predicción de los algoritmos. Para esto se usa el *error medio absoluto*, la precisión de la clasificación y la tasa de aciertos en la predicción.

## 3. Aplicación de algoritmos y análisis de resultados

En vista de que el objetivo es predecir si un usuario consumiría o no tabaco y alcohol, es necesario hacer uso de un algoritmo que permita alcanzar dicho objetivo, en este caso se realizan dos experimentos usando técnicas de clasificación como: árboles de decisión y redes neuronales, a fin de determinar el algoritmo que mejor se ajusta a los datos.

### 3.1. Experimentación con árbol de decisión

El algoritmo utilizado para este primer experimento es “*rpart*”, con lo cual se construye el siguiente árbol de decisión.

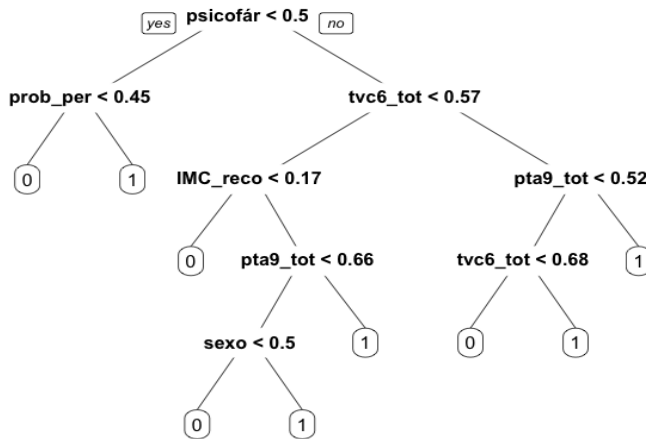


Figura 3 – Árbol de decisión para la predicción del poli-consumo de Tabaco y Alcohol.

La figura 3, muestra el esquema del árbol de clasificación. Cada inciso indica la regla de clasificación que le corresponde. Por cada nodo se muestra la proporción del total de datos que han sido agrupados allí. Estas proporciones nos dan una idea de la precisión de nuestro modelo al hacer predicciones.

En este caso se evidencia que el psicofármaco es la variable más relevante en la determinación del policonsumo tabaco y alcohol de los estudiantes universitarios, seguida por la probabilidad de perder el empleo y el compromiso vital. Como se observa en el árbol, hay cuatro caminos de decisión para encontrar posibles policonsumidores tipo A:

1. Un alumno universitario que tiene antecedentes de consumo de un psicofármaco y ve que tiene riesgo de perder el ciclo.
2. Un alumno universitario que no tiene el antecedente de consumo de fármacos, pero presenta un compromiso vital bajo, más obesidad - IMC alto (i.e. conducta contraria al valor de “proteger su salud”) y mayor presencia de personalidad de tipo A alta.
3. Un alumno Varón universitario que no tiene el antecedente de consumo de fármacos, compromiso vital bajo, IMC alto y menor presencia de personalidad de tipo A.
4. Mientras que se presenta un árbol de decisión en el que se entrelazan las variables personalidad Tipo A y compromiso vital de la siguiente manera: Alumno universitario sin antecedentes de psicofármacos con compromiso vital alto, y alta presencia de personalidad Tipo A.

Una vez obtenida la predicción se hace la validación con los datos reales de nuestro conjunto de prueba para obtener los indicadores que permiten determinar la precisión al hacer predicciones, obteniendo de esta forma un a precisión del 72.72%

Con el fin de elegir el modelo que mejores resultados presente en la predicción, se procede a construir otro modelo usando la técnica de red neuronal, y luego compararlo con los resultados obtenidos con el árbol de decisión.

### 3.2. Experimentación con redes neuronales

La red neuronal construida está formada de 1 capa de entrada, 2 capas ocultas y 1 capa de salida. La capa de entrada consta de 7 neuronas que corresponden a las variables de entradas seleccionadas anteriormente. La capa de salida consta de una neurona que corresponde a la variable de salida a predecir, en este caso Policonsumo de tabaco y alcohol (*TABALC*), que indica si un usuario consumiría tabaco y alcohol (1), o no consumiría tabaco y alcohol (0). En este caso la capa de salida, tiene una salida discreta (0, 1), por ser un problema de clasificación.

Las neuronas de la capa oculta realizan las transformaciones no lineales sobre la información ingresada a la red mediante la función de activación, la cual permite obtener valores entre 0 y 1.

A continuación se presenta la arquitectura de la red neuronal obtenida con el paquete “neuralnet” de *R*, el cual permitió realizar múltiples repeticiones de entrenamiento del modelo.

Para evaluar este modelo se comprueba si el valor predicho coincide con el valor esperado, calculando la métrica del error medio absoluto (MAE, por sus siglas en ingles). Al calcular el MAE se tiene un error de 0.41% por lo cual es aceptable.

De forma complementaria a la métrica anterior, también se ha calculado un estadístico que nos indica la cantidad de aciertos en la predicción con respecto al número total de muestras en el conjunto de test. Este indicador es la Tasa de acierto (%), medida en términos porcentuales, dónde un valor de 0.63 nos indicará un grado de acierto del 63% del posible consumo de tabaco y alcohol en las predicciones realizadas. Esto nos permitirá estimar el rendimiento de nuestra red neuronal.



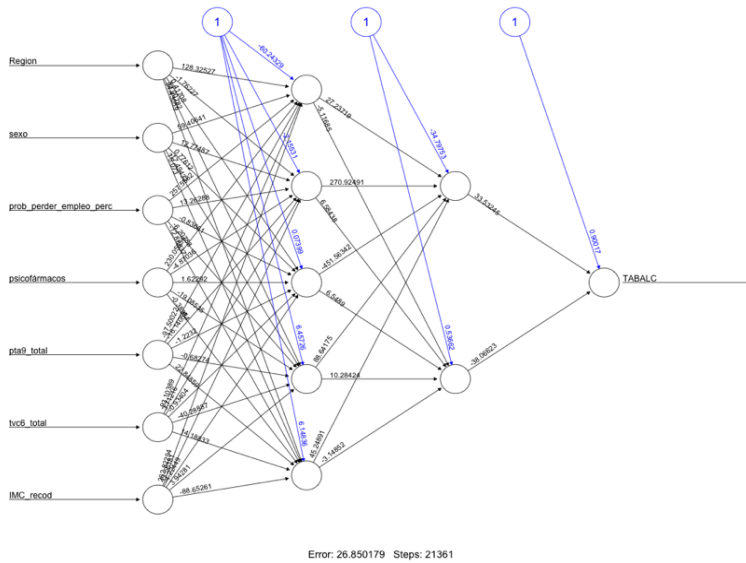


Figura 4 – Arquitectura de la red neuronal - clasificación del consumo de Tabaco y Alcohol.

Al comparar la precisión de ambos modelos podemos observar que el árbol de decisión obtuvo mejores resultados de precisión 72%, por lo que el modelo a utilizar será el obtenido con “*rpart*”.

Algoritmo	Precisión
Árbol de decisión	72.72%
Red neuronal	63%

Tabla 2 – Comparación de algoritmos.

#### 4. Conclusiones

Del análisis de las variables podemos observar que no es necesario el uso de todas las variables del conjunto de datos, los resultados son mejores si se utiliza un conjunto reducido de variables como se presenta en este trabajo en este caso 7 de 73 variables.

De los experimentos realizados se pudo determinar una aproximación de un modelo de predicción tanto con árboles de decisión como con redes neuronales, que permita conocer la posible tendencia de un usuario a consumir tabaco y alcohol de acuerdo a la información obtenida de encuestas y test psicológicos como los mencionados en este trabajo.

De los experimentos realizados con la red neuronal se puede establecer que según se incrementa la complejidad de la red neuronal utilizada, mayor es el error que se produce



y menor es la capacidad predictiva de ésta. Al comparar los resultados de ambos modelos: árboles de decisión y red neuronal, se pudo determinar una mejor precisión con el árbol de decisión lo cual se considera aceptable a la hora de predecir si un usuario consumiría o no tabaco y alcohol.

Los resultados obtenidos con ambos algoritmos de minería de datos, sugieren enfocar la atención en los estudiantes universitarios que tienen algún antecedente de consumo de psicofármacos, ya que su uso estaría asociado a una peor salud mental, que se complicaría con el policonsumo de tabaco y alcohol. Esto apoyaría tendencias de estudios recientes en relación a la patología dual en las adicciones o consumo problemático de sustancias.

Otras de las variables importantes a analizar, según este estudio son el compromiso vital y la personalidad de tipo A, como variables psicosociales en las que se podría trabajar tanto en el ámbito de la evaluación como en la prevención de consumo problemático de sustancias en los universitarios. Es posible obtener resultados mejores o semejantes a los obtenidos en este estudio aumentando el tamaño del conjunto de datos y usando otro tipo de técnicas de predicción como las redes bayesianas y regresión logística, en un futuro trabajo se pretende realizar otras experimentaciones con estas técnicas, y comparar el desempeño de los modelos obtenidos.

## Referencias

- Al Shalabi, L., & Shaaban, Z. (2006). Normalization as a preprocessing engine for data mining and the approach of preference matrix. In *2006 International conference on dependability of computer systems* (pp. 207–214). IEEE.
- Babor, T. F., Higgins-Biddle, J. C., Saunders, J. B., & Monteiro, M. G. (2001). *The alcohol use disorders identification test*. Geneva: World Health Organization.
- Bustamante, B., López, C., Ruisoto, P., & Sánchez, R. (2018). Consumo de Alcohol en Universidades del Ecuador. Resultados preliminares de un estudio Nacional. In *III Congreso Científico Internacional “Sociedad del Conocimiento: Retos y Perspectivas”*. Guayaquil: Universidad ECOTEC.
- Christophi, C. A., Pampaka, D., Paisi, M., Ioannou, S., & DiFranza, J. R. (2016). Levels of physical dependence on tobacco among adolescent smokers in Cyprus. *Addictive Behaviors*, *60*, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2016.04.004>
- Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, *385–396*.
- Dolan P, Layard R, & Metcalfe R. (2011) Measuring subjective well-being for public policy. Office for National Statistics. Available at: <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/special/cepsp23.pdf>.
- Farris, S. G., Dibello, A. M., Heggeness, L. F., Reitzel, L. R., Vidrine, D. J., Schmidt, N. B., & Zvolensky, M. J. (2016). Sustained smoking abstinence is associated with reductions in smoking-specific experiential avoidance among treatment-seeking smokers. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *51*, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2015.12.003>

- Farris, S. G., Zvolensky, M. J., DiBello, A. M., & Schmidt, N. B. (2015). Validation of the avoidance and inflexibility scale (AIS) among treatment-seeking smokers. *Psychological Assessment, 27*(2), 467–477. <https://doi.org/10.1037/pas0000059>
- Farris, S. G., Zvolensky, M. J., & Schmidt, N. B. (2015). Smoking-specific experiential avoidance cognition: Explanatory relevance to pre- and post-cessation nicotine withdrawal, craving, and negative affect. *Addictive Behaviors, 44*, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2014.07.026>
- García, S., Luengo, J., & Herrera, F. (2015). *Data Preprocessing in Data Mining. Intelligent Systems Reference Library* (Vol. 72). Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10247-4>
- Guydish, J., Gruber, V. A., Le, T., Tajima, B., Andrews, K. B., Leo, H., Tsoh, J. Y. (2016). A Pilot Study of a Readiness Group to Increase Initiation of Smoking Cessation Services among Women in Residential Addiction Treatment. *Journal of Substance Abuse Treatment, 63*, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.jsat.2015.12.002>
- Heatherton, T. F., Kozlowski, L. T., Frecker, R. C., & Fagerstrom, K. (1991). The Fagerström test for nicotine dependence: a revision of the Fagerstrom Tolerance Questionnaire. *British Journal of Addiction, 86*(9), 1119–1127.
- Hernández, J., Ramirez, M. J., & Ferri, C. (2004). *Introducción a la Minería de Datos* (1st ed.). Madrid, España: Pearson Prentice Hall.
- Hernández Serrano, O., Font-Mayolas, S., & Gras Pérez, M. (2015). Policonsumo de drogas y su relación con el contexto familiar y social en jóvenes universitarios = Polydrug use and its relationship with the familiar and social context amongst young college students, *Adicciones, 27*(3), 205–213.
- Huang, T., Elghafari, A., Relia, K., & Chunara, R. (2017). High-resolution temporal representations of alcohol and tobacco behaviors from social media data. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 1*(CSCW). <https://doi.org/10.1145/3134689>
- Hughes, M. E., Waite, L. J., Hawkey, L. C., & Cacioppo, J. T. (2004). A short scale for measuring loneliness in large surveys: Results from two population-based studies. *Research on Aging, 26*(6), 655–672.
- Kharabsheh, M., Meqdadi, O., Alabed, M., Veeranki, S., Abbadi, A., & Alzyoud, S. (2019). A machine learning approach for predicting nicotine dependence. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 10*(3), 179–184. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100323>
- Khalifi, L., & El, C. (2015). *Metodología de Minería de Datos Aplicada a la Competencia Hotelera*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID.
- Kroenke, K., Spitzer, R. L., & Williams, J. B. W. (2001). The PHQ-9: validity of a brief depression severity measure. *Journal of General Internal Medicine, 16*(9), 606–613.

- López, V., Paladines, B., Vaca, S., Cacho, R., Fernández-Montalvo, J., & Ruisoto, P. (2019). Psychometric properties and factor structure of an Ecuadorian version of the Alcohol Use Disorders Identification Test (AUDIT) in college students. *PLOS ONE*, *14*(7), e0219618. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219618>
- Moyano, N. C., Tais, M. M., & Muñoz, M. P. (2013). Propiedades psicométricas de la Escala de Satisfacción con la Vida de Diener. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*, *22*(2), 161–168.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (2019). *World Drug Report 2019*. Lima - Perú: UNODC Research. Retrieved from [https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR2019\\_B1\\_S.pdf](https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR2019_B1_S.pdf)
- Pérez, C., Santín, D. (2008). Minería de datos. Técnicas y herramientas. (1st ed.). Madrid, España: Thomson Ediciones Parainfo, S.A.
- Reátegui, R., Torres-Carrión, P. V., López, V., Galárraga, A., Grondona, G., & López Nuñez, C. (2020). Cluster analysis base on psychosocial information for alcohol, tobacco and other drugs consumers. *Communications in Computer and Information Science*, *1195*.
- Reinert, D. F., & Allen, J. P. (2002). The alcohol use disorders identification test (AUDIT): a review of recent research. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, *26*(2), 272–279.
- Remor E. (2006) Psychometric properties of a European Spanish version of the Perceived Stress Scale (PSS). *Span J Psychol*, *9*:86–93.
- Renau, V., Oberst, U., Gosling, S., Rusiñol, J., & Chamarro, A. (2013). Translation and validation of the ten-item-personality inventory into Spanish and Catalan. *Aloma: Revista de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport*, *31*(2).
- Ruisoto, P., Cacho, R., López-Goñi, J. J., Vaca, S., & Jiménez, M. (2016). Prevalence and profile of alcohol consumption among university students in Ecuador. *Gaceta Sanitaria*, *30*(5), 370–374. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.02.008>
- Ruisoto, P., Vaca, S. L., López-Goñi, J. J., Cacho, R., & Fernández-Suárez, I. (2017). Gender differences in problematic alcohol consumption in university professors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph14091069>
- Ruiz, F. J., Luciano, C., Cangas, A. J., & Beltrán, I. (2013). Measuring experiential avoidance and psychological inflexibility: The Spanish version of the Acceptance and Action Questionnaire-II. *Psicothema*, *25*(1), 123–129.
- Scheier, M. F., Wrosch, C., Baum, A., Cohen, S., Martire, L. M., Matthews, K. A., Zdzaniuk, B. (2006). The Life Engagement Test: Assessing Purpose in Life. *Journal of Behavioral Medicine*, *29*(3), 291–298. <https://doi.org/10.1007/s10865-005-9044-1>

- Steinberg, L., Sharp, C., Stanford, M. S., & Tharp, A. T. (2013). New tricks for an old measure: The development of the Barratt Impulsiveness Scale–Brief (BIS–Brief). *Psychological Assessment, 25*(1), 216.
- Torres-Carrión, P. V., Reátegui, R., Bustamante-Granda, B., Gordón, J., Boada, M. J., & Ruisoto, P. (2020). Cluster analysis for abstemious characterization base on psychosocial information. *Communications in Computer and Information Science, 1195*.
- Torres-Carrión, P. V., Reátegui, R., Valdiviezo-Díaz, P., Bustamante-Granda, B., & Vaca-Gallegos, S. (2020). Application of techniques based on Artificial Intelligence for predicting the consumption of drugs and substances. A Systematic Mapping Review. *Communications in Computer and Information Science*.
- van Stralen, K. J., Jager, K. J., Zoccali, C., & Dekker, F. W. (2008). Agreement between methods. *Kidney International, 74*(9), 1116–1120. <https://doi.org/10.1038/ki.2008.306>
- Wingenfeld K, Schneider A, & Brähler E. (2010) A 4-item measure of depression and anxiety: validation and standardization of the Patient Health Questionnaire-4 (PHQ-4) in the general population. *J Affect Disord, 122*:86–95.
- World Health Organization WHO. (2002). The alcohol, smoking and substance involvement screening test (ASSIST): development, reliability and feasibility. *Addiction, 97*(9), 1183–1194.

# MOOCs and Empathy as core tools for preparing professionals in charge of sexual abuse prevention

Verónica Egas-Reyes<sup>1</sup>, Diego Ordóñez-Camacho<sup>2</sup>, Valeria Grijalva-Vásquez<sup>1</sup>,  
Paulina Barahona-Cruz<sup>3</sup>, Fabián Negrete<sup>4</sup>, Carlos Ignacio Man-Ging<sup>5</sup>

**megas776@puce.edu.ec, dordonez@ute.edu.ec, vkgrijalva@puce.edu.ec,  
pbarahona@puce.edu.ec, pfnegrete@puce.edu.ec, cimanging@puce.edu.ec**

<sup>1</sup> Centro de Psicología Aplicada, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Informática (GrIInf), Universidad UTE, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Facultad de Psicología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

<sup>4</sup> Dirección de Informática, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

<sup>5</sup> Facultad Eclesiástica de Ciencias Filosófico-Teológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador

**Pages: 256–265**

**Abstract:** This study presents an interdisciplinary experience between the fields of Information and Communication Technologies for Education and Psychology, by ways of a MOOC aimed at preventing sexual abuse of children and adolescents. The study builds on previous research and validates both, the influence of empathy on professionals in the field of prevention, and how it can be improved by means of adequate training. The objectives were reached thanks to an online training program carried out in several cohorts for six years. The role of dispositional empathy was evaluated with personal interviews, focus groups, participant observation and specifically designed polls. The results were statistically correlated and contrasted considering how social events may influence the perception of participants. The results validate not only the methodology, but also the importance of training on empathy for the professionals in the area.

**Keywords:** empathy; sexual abuse prevention; MOOC; online education; professional training.

## 1. Introduction

Sexual abuse of children and adolescents has captured the attention of media and society at all levels; globally and regionally (Cook et al., 2017; Dupret, 2012). This is an increasingly alarming problem, given some of the current complex generalized situations like domestic violence, carelessness in professional training and the diffuse ethical boundaries of society.

The key to prevent this problem is empathy, that can be considered as the ability to understand and share the feelings of others, within the sphere of interpersonal

communication (Decety, 2010; Sepp & Embree, 2010). Moreover, previous studies (Man-Ging et al., 2015) highlighted not only the relevance of empathy, but also the prospect of improving or increasing it, for example by ways of specialized training (Egas-Reyes et al., 2018).

The main tool used in this work is an online training platform which underwent a complex adaptation process over time, as reported in (Egas-Reyes, Ordóñez-Camacho, Barahona-Cruz, et al., 2019). This platform serves not only for the transmission of knowledge, but also to allow those participants dealing with situations of abuse and violence, to share their work experiences. Considering the sensitivity of the topic discussed in this course, there are additional face-to-face meetings with qualified tutors who support the participants.

Our objectives in this study were twofold. First, to report how, thanks to a blend of qualitative and quantitative methods, this interdisciplinary experience between Information and Communication Technologies for Education (ICTE) and Psychology was conceived, resulting in a MOOC aimed at preventing sexual abuse of children and adolescents. Second, this work validates both, the influence of empathy and the ability to improve it by means of adequate training. Finally, the results show the importance of blending virtual and face-to-face formative work, thus allowing for close support of the participants.

### **1.1. Background and related work**

In 2012 the “Center for Child Protection” (McElwee, 2015) was opened in Munich. This institute was primarily dedicated to the prevention of sexual abuse of children and adolescents through research and online education. In 2015 it was decided to transfer this operation to the Gregorian University of Rome (UNIGRE) also for the purpose of increasing the internationalization of the online courses offered. The institute is currently partnered with 7 countries and offers the course in 4 languages. During the first 3 years more than 1000 students attended and graduated from the offered MOOCs.

The present work is based on this initiative because Ecuador is one of the countries associated to this project through the Pontifical Catholic University of Ecuador (PUCE). Since 2016, PUCE, together with UNIGRE, has proposed the “Online Training Program for the Prevention of Sexual Abuse of girls, boys and young people”, aimed at professionals and people who are working in the field of social education.

Compared to face-to-face classes, the pedagogical approaches applied in MOOCs can improve learning outcomes, specifically in cases related to sexuality education, where instructors have stated that students in online courses have achieved at least equal, if not better, results than students in face-to-face courses (Goldman, 2016).

In the project for the Prevention of Sexual Abuse, a MOOC was applied as an innovative technological tool, which turned out to be an important complement to the face-to-face meeting. Furthermore, considering that the complexity of the courses’ content is the prevention of sexual abuse of minors, the easy and personal access to the MOOC from various locations and times, made the taking on of this training challenge more feasible.

The proposed MOOC goes beyond training on sexual abuse prevention. It addresses empathy, as stated in the introduction, as a human capacity to feel compassion, that is not a rigid element but can be learned. Despite the difficulty of reaching a consensus on its definition (Nowak, 2011), we can consider empathy as a cognitive, affective and dispositional process that relates to the emotional state of another person (Chung, 2014; Lietz et al., 2011).

Some works on empathy (Carich et al., 2003) study how it provides the ability to express compassion for victims of violent acts, while other investigators present studies in samples of sexual offenders (García et al., 2008; Hanson et al., 2010) where it was observed that the violators treated, showed higher values of empathy than both the untreated rapists and the non-sexual offenders.

Other researchers noted a deficit in the dispositional empathy of high-risk parents, regarding child physical abuse. These parents showed less feelings of warmth, compassion and concern for others, but instead, more feelings of anxiety and discomfort as a result of witnessing another person's negative experience (Heugten & Wilson, 2017; Perez-Albeniz & de Paul, 2003).

There are many studies on sexual abuse of children that analyze risk factors and conditions that have led to hiding problems (Nurcombe, 2016; Sinanan, 2011). The quality of child and youth care for people at risk of being sexually abused is a public health affair which must be addressed in a professional manner, resulting in medium and long-term prevention goals. We must not leave out of sight the fact that, as confirmed by Echeburúa, Corral, and Amor (2002); Soler, Barreto, and González (2005), and Pereplechikova and Kaufman (2010), there exists a strong relationship between traumatic experiences and emotional and behavioral sequelae in the medium and long term.

## **2. Methodology**

This work has a prominent interdisciplinary nature, combining ICTE, and Psychology, while searching for a technological transition which would favor a better methodological approach and an improved course coverage, thanks to the participation of trained online tutors.

The investigation followed a blended approach: quantitative and qualitative research. Since this mixed approach was proposed, a mixed-method design (DEXPLIS sequential explanatory model) was applied, which involved the initial work from a quantitative approach (collection of data through online questionnaires for subsequent analysis) moving forward to a second phase through a qualitative phase (using observation, focus groups and individual interviews) (Hernández Sampieri, 2018).

Data gathering from the participants was performed at different stages of the course using online surveys, interviews with the tutors and forum analysis. Indicators generated from this data allowed us to determine the degree of commitment, satisfaction index and dropout rate, among others.



Where empathy was concerned, the quantitative logic was used and the basic tool applied for research was the Davis scale (Davis, 2018). The questionnaire contains 28 items which are distributed in 4 subscales: Perspective (PT), Fantasy (FS), Empathic Concern (EC) and Personal Discomfort (PD), with seven sub-themes each. An important element of this instrument is that it measures both: the cognitive aspect and the emotional reaction of the individual. In the questionnaire the test subject must answer questions related to thoughts and feelings which arise in different situations. PT and FS subscales refer to the cognitive area, while EC and PD subscales to the emotional area (Man-Ging et al., 2015). Figure 1 shows these subscales.

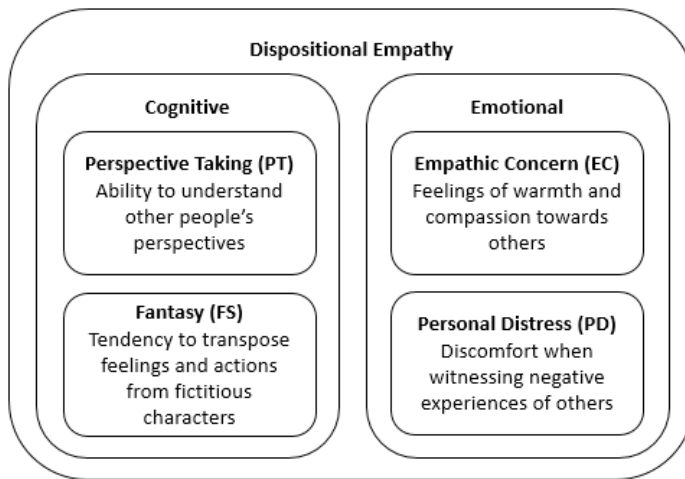


Figure 1 – Dispositional Empathy and its subscales.

The sample for the study was determined by the number of participants in each training course. The description of each group: cohort, type of participants, data gathering stage, and number of participants, can be found in Table 1.

Group	Cohort	Participants	Sampling	#
1	2013	Teachers Fe y Alegría	T1 & T2	94
2	2016	Teachers PUCE, Fe y Alegría	T1	81
3	2016	Teachers PUCE, Fe y Alegría	T1 & T2	
4	2017	Teachers UPS	T1	16
5	2017	Teachers UPS	T1 & T2	

Table 1 – Groups and sample size.

As far as quantitative process is concerned, the reliability of the original test and the samples obtained were verified through the Pearson coefficient, as well as with the



methodology of the exploratory and confirmatory factor analysis. The data of the different groups and samplings (see Table 1) were compared in each of the Davis subscales. Significant differences were sought through t-tests, using the statistical software R, version 3.15, and the stats package, version 3.5.1 (R Core Team, 2018). Only significant differences were considered (95% confidence;  $p < 0.05$ ).

The data gathering and analysis orientation was not purely quantitative, but to a greater extent also qualitative, mainly through work with focus groups and in situ observation during face-to-face meetings. Qualitatively, the methods applied were participant observation (PO), focus groups (FG) and individual interviews (II), in each one of those the anonymity was respected. PO allowed to gather general impressions on the training: about the participants' expectations and how they change as the course progresses.

FGs were used to discuss on how the participants perceive the online course (friendliness, ergonomics, intuitiveness), and on the contents of the different units; these groups were formed at random with about 40% of those participants attending face-to-face meetings. Finally, about 15% of the participants were invited to IIs for an in-depth discussion on topics of interest highlighted by the previous methods. Data analysis was organized on two stages: transcription and categorization. FG and II meetings were fully transcribed and for PO a diary of notes was used. Categorization was based on the transcripts and the observation journals.

The qualitative analysis of information was carried out by systematizing the data through main and secondary categories (focus groups), and discourse analysis (individual interviews). By the end of the analysis, in 2018, a division into two large groups was carried out along with a total of 7 meetings where participants were observed; 4 focus groups with 47 participants, and 6 interviews were organized.

Next, in Section 3, we attempt to answer the question: what aspects of empathy improve after the application of the sexual abuse prevention program? The analysis was based on the use of the Davis scale to assess the impact of the course on Dispositional Empathy.

### 3. Results and discussion

For the remainder of this section, data will be presented and compared as depicted in Table 1, by cohort (2013, 2016, 2017), group (1 to 5) and sampling (T1 and T2). Only significant differences between means will be presented (with a 95% confidence).

When comparing the results between the first and the second samplings, some significant differences, according to the Dispositional Empathy criteria, are observed by cohort. Table 2 presents the relevant scales. We can see that in 2016, in FS, there was a significant decrease of 0.3 points, indicating that at the end of the course the participants shifted from a rather theoretical point of view to a more human-centered approach.

In 2017, for EC, there is also a significant reduction of 0.54 points between samplings. This could be interpreted as the participants changing their feelings of warmth regarding people involved in the problem. Participants' perspective could have changed with respect to their own limits and how they supported the victims when the course began.

Davis scale	Cohort	Mean T1	Mean T2	p (95%)
Fantasy (FS)	2016	2.439349	2.136905	0.030
Empathic concern (EC)	2017	3.468468	2.927536	0.004

Table 2 – Significant differences in the Davis scale, by cohort and sampling.

Table 3 presents relevant differences between groups at the time of enrollment (sampling T1). Group 3 presents a PT value 0.45 points higher than Group 1. This could be related with an increased presence in media, at the time, of sexual abuse cases; it also points out, for Group 3, a more defined perspective in relation to the theoretical and accompaniment aspects regarding these cases. Group 4 has higher values than Group 1 on PT (+0.54) and EC (+0.38), showing that those participants taking the course later, presented a more defined theoretical perspective and greater concern regarding their personal approach to the subject. Group 4 also received a lot of media influence. Group 2 is lower than Group 3 in EC (-0.27) and at the same time higher in FS (+0.34). Group 2 therefore, mostly composed of university professors, had greater interest in the theoretical approach to the subject, learning from experiences where there are not personal involvement; there is a clear relation with lower scores in EC, since it shows they are interested in the subject, but with a personal distance from it.

Davis scale	Groups (x vs. y)	Mean x	Mean y	p (95%)
Perspective Taking (PT)	3 vs. 1	4.000000	3.547619	0.0062
Perspective Taking (PT)	4 vs. 1	4.083333	3.547619	0.0128
Empathic Concern (EC)	4 vs. 1	4.125000	3.746032	0.0386
Empathic Concern (EC)	2 vs. 3	3.606061	3.880952	0.0470
Fantasy (FS)	2 vs. 3	2.480114	2.136905	0.0359

Table 3 – Significant differences in the Davis scale, by group: T1 sampling.

Some relevant differences between groups also exist in the post-test (sampling T2), after the course; they are reported in Table 4. Group 3 has a PT score 0.45 higher than Group 1, showing that after the course they had greater interest in the psychological accompaniment and a better definition on how to approach the subject in practical terms. On the EC scale, Group 5 shows lower values than Group 3 (-1.07) and Group 4 (-0.77), suggesting that at the end of the course, although Group 5 did not neglect the empathic aspect, they dealt with the subject with greater objectivity, leaving aside a purely personal perspective. It is worth noticing that the participants of Group 5 lived in Cuenca, where many cases were being reported by the media, during that period, regarding children sexual abuse involving a well-known cleric. Participants were closely affected, with an undeniable influence on the reported outcomes.

It can be inferred, then, that at the end of the course, participants have a greater perspective on how they can intervene and what type of accompaniment can be provided. There is a bigger sensibilization and empathy regarding those persons directly involved

in situations of sexual abuse, and it is important to notice that this sensibilization is not only an emotional personal issue; it is embedded with important theoretical aspects that guarantee objectivity when supporting the victims. Also, participants who started the course with a greater theoretical background, achieved greater awareness and sensibilization towards those individuals personally involved in the problem.

Davis scale	Groups (x vs. y)	Mean x	Mean y	p (95%)
Perspective Taking (PT)	3 versus 1	4.000000	3.547619	0.0062
Empathic Concern (EC)	3 versus 5	4.000000	2.927536	9.838e-08
Empathic Concern (EC)	1 versus 5	3.698413	2.927536	1.407e-05

Table 4 – Significant differences in the Davis scale, by group: T2 sampling.

Media has proven to be a source of great influence, especially with respect to the PT, FS and EC scales. Cohorts following the course during peaks of cases reported by the media, have shown different perspectives and are sensitive to the problem in a rather personal way.

Semi-structured interviews were a valuable source of information allowing us to better understand how the participants felt about the subject. In general terms they feel more sensitive to the problem and they are more aware of the specific signals of sexual abuse a person can show. Regarding empathy, they believe they can accompany the victims with a more human-centered approach. Finally, the participants considered that the contents of the course allowed them to open their points of view regarding aggressors, understanding that they also need some type of specialized work and support.

The results confirm the initial research question: the training program shows an improvement on the empathy levels in the participants. These observations are consistent with the stability of the Davis scale that measures dispositional empathy in its cognitive (PT, FS) and emotional (EC, PD) aspects (Perez-Albeniz & de Paul, 2004).

With respect to the online course and the tutors, mainly regarding Psychology and Education, the articulation of the face-to-face and the virtual aspects strengthens the educational processes. It is shown then, that learning is not merely a phenomenon of repetition or transmission of content but rather a process of human interaction where the articulation between the psychic, the affective and the contents is *sine qua non*. How the spiritual and the psychological articulate, manifests in the problem itself: sexual abuse and how participants and tutors handled this issue. Tutors supporting and accompanying participants (whether virtually or face-to-face) in affectional or emotional difficulties due to certain module contents. The Information and Communication Technologies, thanks to the virtual technological platforms, overlaps the rest of the fields, since the MOOC platform becomes not only a tool to host contents and modules, but also a means to communicate between tutors-participants on issues of support and accompaniment.

Finally, it is worth highlighting the importance of previous studies (Egas-Reyes et al., 2018; Egas-Reyes, Ordóñez-Camacho, Grijalva-Vásquez, et al., 2019; Man-Ging et al., 2015) which laid out the person-centered methodological foundations, that gave rise to the technological evolution. It was this technological transition of the platform that

led to training the tutors, improving empathy in the participants and searching for an innovative response regarding the problem of sexual abuse prevention.

#### 4. Conclusions and recommendations

This work allowed us to deduce some ideas related to the use of MOOCs, from different aspects: their relevance in delicate contexts, the place of tutors and the coexistence of the virtual and the face-to-face. Delivering a virtual course that deals with sexual abuse in children and adolescents, required not only to ensure the relevance and accuracy of the formal contents to be transmitted, but also having capable tutors accompanying the participants, for a close and sustained monitoring. The accompaniment of tutors also involved the inclusion of a virtual-face-to-face learning dynamic that gave positive results, lowering the participants dropout rate.

Media played an important role, showing influence on the general public with respect to their vision and position against sexual abuse. However, at the end of the course, participants can have a broader approach to the difficulties of victims and aggressors, in addition to being closer to the reality presented in the media. It would be important to further investigate the place and impact of the media on the population with respect to this problem.

It is interesting to note how empathy surrounds several fields. Initially (Man-Ging et al., 2015), the approach was aimed at the concept of empathy directly related with the participants. Then, in a second moment the impact of the media and its influence on the reaction of both the participants and the tutors was evidenced (Egas-Reyes et al., 2018). Finally, with the MOOC, we realized the importance of having friendly and assertive platforms that give confidence and security to both participants and tutors, achieving an impact on empathy and on the learning process. Empathy, therefore, surrounds people (participants-tutors), ICTs (platforms) and media (press, internet, radio), as a main element to consider in processes of sexual abuse prevention in children and adolescents.

It has been shown, thanks to the various methods and instruments used, that there is a great need to discuss the problem, to train and to have clear action criteria in the presence or suspicion of sexual abuse. The training program has contributed to the development of sensibilization on the participants regarding how they handle the cases, not only with a professional criterion but with a human perspective. The media have contributed to make cases of sexual abuse public, in a society that has not yet discussed the issue; this allowed a greater interest in addressing these problems. This course is a response from the academy to this endeavor.

#### References

- Carich, M. S., Metzger, C. K., & Harper, J. J. (2003). Enhancing Victim Empathy for Sex Offenders. *Journal of Child Sexual Abuse*, 12(3-4), 255-276. [https://doi.org/10.1300/JO70v12n03\\_10](https://doi.org/10.1300/JO70v12n03_10)
- Chung, M. S. (2014). Relations on Self-esteem, Empathy and Interpersonal Relationship for Reinforcing Competence in Communication of Nursing Students. *The Journal of Korean Academic Society of Nursing Education*, 20(2), 332-340. <https://doi.org/10.5977/jkasne.2014.20.2.332>

- Cook, A., Spinazzola, J., Ford, J., Lanktree, C., Blaustein, M., Cloitre, M., DeRosa, R., Hubbard, R., Kagan, R., Liautaud, J., Mallah, K., Olafson, E., & Kolk, B. van der. (2017). Complex Trauma in Children and Adolescents. *Psychiatric Annals*, *35*(5), 390–398. <https://doi.org/10.3928/00485713-20050501-05>
- Davis, M. H. (2018). *Empathy: A Social Psychological Approach* (Edición: 1). Routledge.
- Decety, J. (2010). The Neurodevelopment of Empathy in Humans. *Developmental Neuroscience*, *32*(4), 257–267. <https://doi.org/10.1159/000317771>
- Dupret, M. A. (2012). *La violencia intrafamiliar contra niños, niñas y adolescentes*. Abya-Yala.
- Echeburúa, E., Corral, P., & Amor, P. J. (2002). Evaluación del daño psicológico en las víctimas de delitos violentos. *Psicothema*, *14*(1), 139–146.
- Egas-Reyes, V., Ordóñez-Camacho, D., Barahona-Cruz, P., Grijalva-Vásquez, V., & Man-Ging, C. I. (2019). Learning in the Technological Transition Process of a MOOC of Social Interest. *2019 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 274–279. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS49368.2019.00050>
- Egas-Reyes, V., Ordóñez-Camacho, D., Grijalva-Vásquez, V., Barahona-Cruz, P., & Man-Ging, C. (2018). Evaluando la importancia de la empatía en la prevención del abuso sexual en niñas, niños y adolescentes. In *Libro de Memorias del VI Congreso de la Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y Posgrados* (pp. 376–383). UTN. <https://www.utn.edu.ec/jornadasinvestigacion/index.php/libro/>
- Egas-Reyes, V., Ordóñez-Camacho, D., Grijalva-Vásquez, V., Barahona-Cruz, P., & Man-Ging, C. I. (2019). *Learning in the technological transition process of a MOOC of social interest*. 4th International Conference on Information Systems and Computer Science.
- García, M. M., Illescas, S. R., Ramírez, M. P., & Forero, C. G. (2008). Empatía en una muestra española de delinquentes sexuales. *Psicothema*, *20*(2), 199–204.
- Goldman, J. (2016). Can MOOCs enhance sexuality education? *Sex Education*, *16*(5), 487–502. <https://doi.org/10.1080/14681811.2015.1112261>
- Hanson, R. K., Helmus, L., & Thornton, D. (2010). Predicting recidivism amongst sexual offenders: A multi-site study of Static-2002. *Law and Human Behavior*, *34*(3), 198–211. <https://doi.org/10.1007/s10979-009-9180-1>
- Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Education.
- Heugten, K. van, & Wilson, E. (2017). Witnessing intimate partner violence: Review of the literature on coping in young persons. *Aotearoa New Zealand Social Work*, *20*(3), 52–62. <https://doi.org/10.11157/anzswj-vol20iiss3id342>
- Lietz, C. A., Gerdes, K. E., Sun, F., Geiger, J. M., Wagaman, M. A., & Segal, E. A. (2011). The Empathy Assessment Index (EAI): A Confirmatory Factor Analysis of a Multidimensional Model of Empathy. *Journal of the Society for Social Work and Research*, *2*(2), 104–124. <https://doi.org/10.5243/jsswr.2011.6>

- Man-Ging, C. I., Böhm, B., Fuchs, K. A., Witte, S., & Frick, E. (2015). Improving Empathy in the Prevention of Sexual Abuse Against Children and Youngsters. *Journal of Child Sexual Abuse, 24*(7), 796–815. <https://doi.org/10.1080/10538712.2015.1077366>
- McElwee, J. (2015). Sexual abuse prevention center moves to Rome's Gregorian University. *National Catholic Reporter*. <https://www.ncronline.org/news/accountability/sexual-abuse-prevention-center-moves-romes-gregorian-university>
- Nowak, M. (2011). The Complicated History of Einfühlung. *Argument: Biannual Philosophical Journal, 1*(2), 301–326.
- Nurcombe, B. (2016). Child Sexual Abuse I: Psychopathology: *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1046/j.1440-1614.2000.00642.x>
- Perepletchikova, F., & Kaufman, J. (2010). Emotional and behavioral sequelae of childhood maltreatment. *Current Opinion in Pediatrics, 22*(5), 610–615. <https://doi.org/10.1097/MOP.0b013e32833e148a>
- Perez-Albeniz, A., & de Paul, J. (2003). Dispositional empathy in high- and low-risk parents for child physical abuse. *Child Abuse & Neglect, 27*(7), 769–780. [https://doi.org/10.1016/S0145-2134\(03\)00111-X](https://doi.org/10.1016/S0145-2134(03)00111-X)
- Perez-Albeniz, A., & de Paul, J. (2004). Gender differences in empathy in parents at high- and low-risk of child physical abuse. *Child Abuse & Neglect, 28*(3), 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.chiabu.2003.11.017>
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Sepp, H. R., & Embree, L. (Eds.). (2010). *Handbook of Phenomenological Aesthetics*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2471-8>
- Sinanan, A. N. (2011). The impact of child, family, and child protective services factors on reports of child sexual abuse recurrence. *Journal of Child Sexual Abuse, 20*(6), 657–676. <https://doi.org/10.1080/10538712.2011.622354>
- Soler, E., Barreto, P., & González, R. (2005). Cuestionario de respuesta emocional a la violencia doméstica y sexual. *Psicothema, 17*(2), 267–274.



# Introducing perfectly nested circuits

Zenaida Castillo<sup>1</sup>, Nerio Borges<sup>2</sup>, Ramón Pino<sup>3</sup>, María Carrasco<sup>†</sup>

[zenaida.castillo@esPOCH.edu.ec](mailto:zenaida.castillo@esPOCH.edu.ec), [nerio.borges@epn.edu.ec](mailto:nerio.borges@epn.edu.ec), [pino@ula.ve](mailto:pino@ula.ve)

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060155, Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup> Escuela Politécnica Nacional, 170517, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad de Los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

**Pages: 266–278**

**Abstract:** Nested graphs have been used in different applications, for example to represent knowledge in semantic networks. On the other hand, graphs with cycles are really important in surface reconstruction, periodic schedule and network analysis. Also, of particular interest are the cycle basis, which arise in mathematical and algorithm problems. In this work we develop the concept of perfectly nested circuits, exploring some of their properties. The main result establishes an order isomorphism between some sets of perfectly nested circuits and equivalence classes over finite binary sequences. This main result could be useful for analyzing binary sequences. As a particular case of nested graphs, PCNs could be useful in applications where general nested graphs are used; and this is in the immediate future of this research.

**Keywords:** nested graphs; binary sequences; circuits; paths; order isomorphisms.

## 1. Introduction

For decades several authors have used conceptual structures in research related with logic, linguistics and artificial intelligence. In (Sowa, 1976) the author presented the conceptual graph structure as a way to interpret questions and assertions in natural language to make inference in relational databases. The concept was developed in detail in (Sowa, 1984). Recently, the authors in (Trunfio, 2018) used nested graphs to design a model of efficiently distribute multi-agent system on clusters in a HPC environment.

Nested graphs are introduced and used for representing knowledge, see for example (Lehmann, 1992; Chein & Mugnier, 1992; Helbig, 2006). Given the notion of simple conceptual graphs the authors in (Chein, Mugnier, & Simonet, 1998) present the nested conceptual graphs to represent complex information. They show how nested graphs can be more convenient to represent knowledge. In this work we explore a new nested graph, specifically nested circuits, that could be used in these applications, when the graph is a circuit.

This article studies the characteristics of a similar structure that we have called Perfectly Nested Circuit (PNC). A mathematical framework is presented to analyze the properties

of this kind of graphs. An interesting consequence of these properties is the existence of an order isomorphism between PNCs and equivalence classes of finite binary sequences.

This paper is organized as follows: In section 2 we introduce reductions and the order induced by them, in a setting slightly more general than PNCs. In section 3 we define perfectly nested circuits and its properties, which are required to follow the results in Section 4, where we state and prove the main results. Finally, in Section 5 we summarize the results obtained and discuss some possible extensions of this work.

## 2. Circuits reductions

In this section we define two kind of operations on simple graphs that will be central to our work. We mostly follow the notation and terminology on graph theory from (Diestel, 2017). Particularly, we consider a path in the graph  $G$  as a set of vertices  $v_0 v_1 \dots v_n$  such that  $v_i v_{i+1}$  is an edge in  $G$ . If  $v_0 = v_n$  then the path is closed. A circuit is a closed path with non-repeated edges. We denote as  $(i, j)$  the path between vertices  $v_i$  and  $v_j$ .

**Definition 1.** Let  $\gamma = v_0 v_1 \dots v_n$  be a circuit. If there are  $i \neq j$  such that  $v_i = v_j$  we say that  $\gamma' = v_i v_{i+1} \dots v_j$  is a sub-circuit of  $\gamma$ . If  $(i, j) \neq (0, n)$  then  $\gamma'$  is a proper sub-circuit. The sub-circuit  $\gamma'$  is denoted by  $[i, j]$ .

**Definition 2.** Let  $\gamma = v_0 v_1 \dots v_n$  be a circuit with a proper sub-circuit  $v_i \dots v_j$ . The internal reduction of  $\gamma$  at  $i$  is the closed walk

1.  $v_0 \dots v_i v_{j+1} \dots v_n$  for  $i \neq 0$ ,
2.  $v_j \dots v_n$  for  $i = 0$ .

The external reduction of  $\gamma$  at  $i$  is the closed walk  $v_i v_{i+1} \dots v_j$ .

**Observation 1.** Notice that if  $[i, j]$  is a proper sub-circuit of  $\gamma$ , then:

1. The internal reduction of  $\gamma$  at  $i$  is  $\gamma - \{v_{i+1}, \dots, v_{j-1}\}$ .
2. The external reduction of  $\gamma$  at  $i$  is  $\gamma - \{v_0, \dots, v_{i-1}, v_{j+1}, \dots, v_{n-1}\}$  if  $i \neq 0$ , and  $\gamma - \{v_{j+1}, \dots, v_{n-1}\}$  if  $i = 0$ .

In all the cases a reduction of  $\gamma$  has less vertices than  $\gamma$ .

**Lemma 1.** If  $\delta$  is a reduction of a circuit  $\gamma$ , then it is a circuit.

*Proof.* Any external reduction of  $\gamma$  is a circuit since it is by definition a sub-circuit. Now suppose that  $\gamma = v_0 v_1 \dots v_n$  and  $\delta$  is an internal reduction of  $\gamma$  at some  $i$ . There are two possible cases. In each case we want to check two conditions: that  $\delta$  is a closed walk and that every edge in  $\delta$  is also an edge of  $\gamma$ . Then every repeated edge in  $\delta$  is necessarily a repeated edge in  $\gamma$ , hence if  $\gamma$  is a circuit,  $\delta$  is a circuit too.

1. If  $i \neq 0$  then  $\delta$  is closed since  $\delta = v_0 \dots v_i v_{j+1} \dots v_n$  and  $v_0 = v_n$  by hypothesis. On the other hand, it is immediate that any edge  $v_k v_{k+1}$  with  $1 \leq k < i$  or  $j < k < n$  is an edge in  $\gamma$ . The edge  $v_i v_{j+1}$  is also in  $\gamma$  because  $v_i = v_j$  thus  $v_i v_{j+1} = v_j v_{j+1}$ .



2. If  $i = 0$  then  $\delta = v_j \dots v_n$ , and it is closed since  $v_o = v_j = v_n$ . This also implies that the edges  $v_n v_j$  and  $v_n v_o$  are the same, hence  $v_n v_j$  is an edge in  $\gamma$ . Any other edge in  $\delta$  is clearly in  $\gamma$ .

Therefore, any reduction of a circuit, whether internal or external is again a circuit.

In what follows we will use the following notation regarding binary relations:

- $\overset{\circ}{\rightarrow}$  denotes the identity relation.
- $\overset{i+1}{\rightarrow}$  is the  $(i + 1)$ -fold composition of the relation  $\rightarrow$  with itself.
- $\overset{+}{\rightarrow}$  is the *transitive closure* of  $\rightarrow$  i.e. the smallest transitive relation containing  $\rightarrow$ .
- $\overset{*}{\rightarrow}$  is the binary reflexive and transitive relation, while  $\overset{\circ}{\rightarrow}$  is the smallest reflexive and transitive relation containing  $\rightarrow$ , we call it the *transitive, reflexive, closure* of  $\rightarrow$ . Notice that  $\overset{*}{\rightarrow} = \overset{+}{\rightarrow} \cup \overset{\circ}{\rightarrow}$ .

The binary relation  $\rightarrow$  is *terminating* if there is no infinite sequence  $a_0, a_1, \dots$  such that  $a_0 \rightarrow a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow \dots$  and so on.

**Definition 3.** Given two circuits  $\gamma, \delta$  the binary relation  $\rightarrow_c$  is defined as:

$$(\gamma \rightarrow_c \delta) \Leftrightarrow (\delta \text{ is a reduction of } \gamma \text{ at some } i).$$

Since  $\gamma \rightarrow_c \delta$  implies  $\delta = \gamma - U$  for some non-empty subset  $U$  of vertices of  $\gamma$ , it is clear that  $\gamma \rightarrow_c \delta \Rightarrow |\delta| < |\gamma|$ . Hence the relation  $\rightarrow_c$  terminates.

**Definition 4.** The family of reductions of a circuit  $\gamma$  is the set

$$X_\gamma = \left\{ \delta \subseteq \gamma : \gamma \overset{*}{\rightarrow}_c \delta \right\}.$$

**Theorem 1.** If  $\gamma$  is a circuit then each element of  $X_\gamma$  is a circuit.

*Proof.* Suppose  $\delta \in X_\gamma$ . Then by definition  $\gamma \overset{*}{\rightarrow}_c \delta$  i.e. there are a non-negative integer  $k$  and paths  $\delta_0, \delta_1, \dots, \delta_k$  such that  $\gamma = \delta_0 \rightarrow_c \delta_1 \rightarrow_c \dots \rightarrow_c \delta_k = \delta$ . Thus, we will prove by induction in  $k$  that  $\delta$  is a circuit.

If  $k = 0$  then  $\gamma = \delta$  thus  $\delta$  is a circuit. Notice that  $k = 1$  implies  $\gamma \rightarrow_c \delta$  and by Lemma 1,  $\delta$  is a circuit.

Suppose now that  $\gamma = \delta_0 \rightarrow_c \delta_1 \rightarrow_c \dots \rightarrow_c \delta_k \rightarrow_c \delta_{k+1} = \delta$ , by inductive hypothesis  $\delta_k$  is a circuit and by Lemma 1 we have that  $\delta = \delta_{k+1}$  is a circuit. Therefore, every element in the family of reductions of  $\gamma$  is a circuit.

The following lemma is a direct consequence of definition 4 and theorem 1.

**Lemma 2.** If  $\gamma$  is a circuit and  $\delta \in X_\gamma$  then  $X_\delta \subseteq X_\gamma$ .

### 3. Perfectly nested circuits

In this section we present and develop the concept of PNC in an appropriate context.

Nested circuits can be considered an extension on conceptual graphs (Chein, Mugnier, & Simonet, 1998). Thus, perfectly nested circuits make reference to a kind of nested



**Example 1.** Figure 1 shows a PNC  $\gamma$ . Given the sequence  $k_1 = 2, k_2 = 6, k_2' = 10, k_1' = 12$ , it can be notice that:

1. The set of intersections is  $I_\gamma = \{(2,12), (6,10)\}$  and their images are  $\varphi(2,12) = v_2$  and  $\varphi(6,10) = v_6$ . Hence  $\varphi(I_\gamma) = \{v_{k_1}, v_{k_2}\}$ .
2. As we saw  $\varphi(2,12) = v_2$  and  $\varphi(6,10) = v_6$  i.e.  $\varphi(v_{k_1}, v_{k_1'}) = v_{k_1}$  and  $\varphi(v_{k_2}, v_{k_2'}) = v_{k_2}$ .
3.  $v_{k_1} = v_2 \neq v_{k_2} = v_6$ .

**Definition 8.** Given a circuit  $\gamma = v_0 v_1 \dots v_n$  the relation  $<_I$  is defined in  $\{0, \dots, n\}^2$  by:

$$(i, j) <_I (k, \ell) \Leftrightarrow k < i < j < \ell.$$

The following lemma follows this definition.

**Lemma 3.** The relation  $<_I$  is a partial order on  $\{0, \dots, n\}^2$ .

**Definition 9.** If  $u = \varphi(i, j)$  and  $v = \varphi(k, \ell)$  are two internal vertices in a PNC  $\gamma$ , then  $u < v \Leftrightarrow (i, j) <_I (k, \ell)$ .

If  $u < v$  then  $u$  is more internal than  $v$  or, equivalently, we say  $v$  is more external than  $u$ . The relation  $<$  is well defined, as  $\gamma$  is a PNC, then if  $v$  is an internal vertex there is a unique  $i$  such that  $v = \varphi(k_i, k'_i)$ .

**Lemma 4.** Let  $u, v$  be two vertices in a PNC  $\gamma$ , with internal sequence:

$$k_1, \dots, k_m, k'_m, \dots, k'_1.$$

Then  $u < v$  iff there are indexes  $k_n < k_p$  in the internal sequence such that

$$u = k_p, v = k_n.$$

*Proof.* Since  $u$  and  $v$  are internal vertices of  $\gamma$  there are indexes  $k_p, k_n$  in the internal sequence such that  $u = \varphi(k_p, k_{p'})$  and  $v = \varphi(k_n, k_{n'})$ . If  $u < v$  then by definition  $(k_p, k_{p'}) <_I (k_n, k_{n'})$  thus  $k_n < k_p$ .

On the other hand, if  $u = v_{k_p}$  and  $v = v_{k_n}$  with  $k_n < k_p$  then  $u = \varphi(k_p, k_{p'})$  and  $v = \varphi(k_n, k_{n'})$ . Since  $k_n < k_p$  we have that  $k_{p'} < k_{n'}$ , hence  $(k_p, k_{p'}) <_I (k_n, k_{n'})$  and  $u < v$ .

**Definition 10.** If  $\gamma$  is a PNC with internal sequence  $k_1, k_2, \dots, k_m, k'_m, \dots, k'_1$  then  $v_{k_1}$  and  $v_{k_m}$  are respectively its outermost and innermost vertices.

**Theorem 2.** The binary relation ' $<$ ' is a total order on the set of the internal vertices of a PNC  $\gamma$ .

*Proof.* Let  $k_1, \dots, k_m, k'_m, \dots, k'_1$  be the internal sequence of  $\gamma$ . We check the order properties:

1. Irreflexivity: Suppose  $v$  is an internal vertex. Then  $v = \varphi(k_i, k'_i)$  for some index  $k_i$  and  $v \not< v$  since  $(k_i, k_i) <_I (k_i, k_i)$ .

2. Antisymmetry: Let  $u, v$  be internal vertices of  $\gamma$  such that  $u \prec v$ . By Lemma 4 there are indexes  $k_i, k_j$  in the internal sequence with  $k_j < k_i$  such that  $u = v_{k_i}$  and  $v = v_{k_j}$ . Since  $k_i \not\prec k_j$  we have, again by Lemma 4, that  $v \not\prec u$ .
3. Transitivity: If  $u, v, w$  are three internal vertices, then there are indices  $k_i, k_j, k_\ell$  such that  $u = v_{k_i}, v = v_{k_j}, w = v_{k_\ell}$ . If  $u \prec v$  and  $v \prec w$  then, by Lemma 4, follows that  $k_j < k_i$  and  $k_\ell < k_j$ . Hence  $k_\ell < k_i$  and  $u \prec w$  by Lemma 4.
4. Trichotomy: Suppose  $u, v$  are two different internal vertices, thus  $u = v_{k_i}$  and  $v = v_{k_j}$  with  $k_i \neq k_j$ . Hence  $k_i < k_j$  or  $k_j < k_i$ . If  $k_i < k_j$  then  $v \prec u$  and if  $k_j < k_i$  then  $u \prec v$ . It is immediate that it is impossible  $k_j < k_i$  and  $k_i < k_j$  at the same time, hence one and only one of the following is satisfied:

$$u = v \text{ or } u \prec v \text{ or } v \prec u.$$

**Theorem 3.** *If  $\gamma$  is a PNC then each element of  $X_\gamma$  is a PNC.*

*Proof.* It is enough to prove that if  $\gamma \rightarrow_C \delta$  and  $\gamma$  are PNC then  $\delta$  is a PNC. Thus,  $\gamma$  is a PNC iff it has an internal sequence  $k_1, \dots, k_m, k'_m, \dots, k'_1$  such that:

1. A vertex  $v$  is internal iff  $v = v_{k_j}$  for some  $k_j$ ,
2.  $v_{k_j} = v_{k'_j}$ ,
3. the only proper sub-circuits of  $\gamma$  are of the form  $[k_j, k'_j]$  and
4.  $v_{k_j} \neq v_{k'_\ell}$  if  $j \neq \ell$ .

Suppose that  $\gamma \rightarrow_C \delta$ . We have to examine two cases:

First, if  $\delta$  is an internal reduction of  $\gamma$  then it necessarily must be the reduction at  $k_i$  for some  $i$  with  $1 \leq i \leq m$  because the only proper sub-circuits of  $\gamma$  have the form  $[k_i, k'_i]$ . In this case, due to Observation 1, we have that:

$$\delta = \gamma - \{v_{k_{i+1}}, \dots, v_{k'_{i-1}}\}.$$

Notice that this operation preserves properties 1 to 4, thus  $\delta$  is a PNC.

Second, if  $\delta$  is an external reduction, then it is a proper sub-circuit of  $\gamma$ , hence it is  $\delta = v_{k_i} v_{k_{i+1}} \dots v_{k'_i}$  for some  $i$ . As a consequence of  $\gamma$  being a PNC:

1. The internal vertices of  $\delta$  are  $v_{k_{i+1}}, v_{k_{i+2}}, \dots, v_{k'_m}$ ,
2.  $v_{k_j} = v_{k'_j}$  for each  $i < j \leq m$ ,
3. The only proper sub-circuits of  $\delta$  have the form  $[k_j, k'_j]$  with  $i < j \leq m$ , and
4.  $v_{k_j} \neq v_{k'_\ell}$  whenever  $j \neq \ell$ .

Therefore  $\delta$  is a PNC.

Hence if  $\gamma$  is a PNC and  $\gamma \rightarrow_C \delta$  then  $\delta$  is a PNC. Thus if  $\gamma$  is a PNC and  $\gamma \xrightarrow{*}_C \delta$  it is easy to prove with an inductive argument that  $\delta$  is a PNC.

Thus, every element of  $X_\gamma$  is a PNC.

**Definition 11.** Given a circuit  $\gamma$  in a graph, we define the binary relation  $\leq_\gamma$  on  $X_\gamma$ :

$$\xi \leq_\gamma \eta \iff \eta \xrightarrow{*} \xi.$$

**Theorem 4.** The relation ' $\leq_\gamma$ ' is a partial order on  $X_\gamma$ .

*Proof.* Reflexivity and transitivity are direct from the same properties for  $\xrightarrow{*}$ .

To prove reflexivity notice that  $\xi \xrightarrow{*} \xi$  because  $\xrightarrow{*}$  is reflexive thus  $\xi \leq_\gamma \xi$  for each  $\xi \in X_\gamma$ .

For transitivity suppose that  $\xi \leq \eta$  and  $\eta \leq_\gamma \mu$ . Then  $\eta \xrightarrow{*} \xi$  and  $\mu \xrightarrow{*} \eta$ . Since  $\xrightarrow{*}$  is transitive, we have  $\mu \xrightarrow{*} \xi$  hence  $\xi \leq_\gamma \mu$ .

It remains to prove antisymmetry. Suppose that  $\xi \leq_\gamma \eta$  and  $\eta \leq_\gamma \xi$ . It implies that  $\eta \xrightarrow{*} \xi$  and  $\xi \xrightarrow{*} \eta$ . We know by Observation 1 that  $|\eta| \leq |\xi|$  and  $|\xi| \leq |\eta|$  so  $|\eta| = |\xi|$ . As  $\xi \xrightarrow{*} \eta$  then it must be  $\xi \xrightarrow{o} \eta$ . Thus  $\eta = \xi$ .

Henceforth  $\leq_\gamma$  is a partial order on  $X_\gamma$ .

**Observation 3.** If  $\gamma$  is a PNC and  $\delta \in X_\gamma$ :

1. If  $\delta$  is a cycle then it is a minimal element in  $\leq_\gamma$  i.e. it has no predecessors.
2. If  $\delta$  is not a cycle, then its immediate predecessors are the circuits obtained by reducing  $\delta$  at its outermost and innermost vertices.
3.  $\gamma$  is the maximum element in the order  $\leq_\gamma$ .
4. If  $\gamma$  is the circuit  $v_0 v_1 \dots v_n$  with exactly one intersection  $(i, j)$  then it is a PNC with  $v_i$  as its only internal vertex.

Notice that there are exactly two cycles in the circuit: the internal and the external reductions of  $\gamma$  at  $i$ .

**Example 2.** We show that if  $\gamma$  is not perfectly nested then each node can have more than two immediate predecessors in the order  $\leq_\gamma$ .

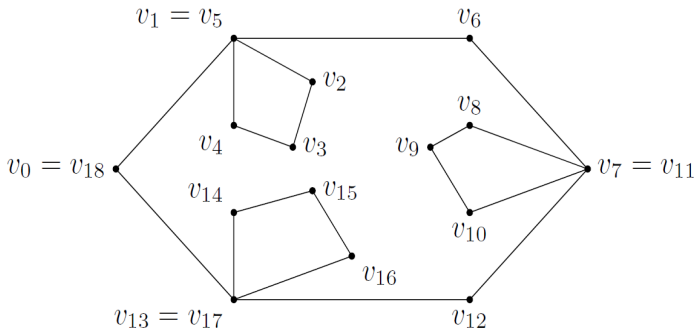


Figure 2 – Circuit  $\gamma$ . A circuit which is non-perfectly nested.

Consider the circuit  $\gamma = v_0 v_1 \dots v_{18}$  with  $v_1 = v_5$ ,  $v_7 = v_{11}$ ,  $v_{13} = v_{17}$  and  $v_0 = v_{18}$  (see Figure 2), then the internal vertices of  $\gamma$  are  $v_1, v_7$  and  $v_{13}$ . The sub-circuits of  $\gamma$  are  $v_1 v_2 v_3 v_4 v_5$ ,  $v_7 v_8 v_9 v_{10} v_{11}$  and  $v_{13} v_{14} v_{15} v_{16} v_{17}$ . These three sub-circuits are disjoint, thus  $\gamma$  is not a PNC by Observation 2.

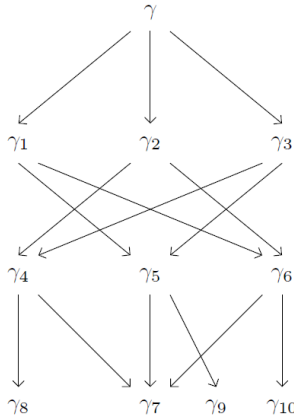


Figure 3 – Diagram of  $\rightarrow_C$ .

Label the circuits  $v_1 v_2 v_3 v_4 v_5$ ,  $v_7 v_8 v_9 v_{10} v_{11}$  and  $v_{13} v_{14} v_{15} v_{16} v_{17}$  as  $\gamma_8$ ,  $\gamma_9$  and  $\gamma_{10}$  respectively. These three sub-circuits are the only external reductions of  $\gamma$ . The internal reductions of  $\gamma$  are:

$$\gamma = v_0 \underbrace{v_1 v_2 v_3 v_4 v_5}_{\gamma_8} v_6 \underbrace{v_7 v_8 v_9 v_{10} v_{11}}_{\gamma_9} v_{12} \underbrace{v_{13} v_{14} v_{15} v_{16} v_{17}}_{\gamma_{10}} v_{18}$$

$$\gamma_1 = v_0 v_1 v_6 \underbrace{v_7 v_8 v_9 v_{10} v_{11}}_{\gamma_9} v_{12} \underbrace{v_{13} v_{14} v_{15} v_{16} v_{17}}_{\gamma_{10}} v_{18}$$

$$\gamma_2 = v_0 \underbrace{v_1 v_2 v_3 v_4 v_5}_{\gamma_8} v_6 v_7 v_{12} \underbrace{v_{13} v_{14} v_{15} v_{16} v_{17}}_{\gamma_{10}} v_{18}$$

$$\gamma_3 = v_0 \underbrace{v_1 v_2 v_3 v_4 v_5}_{\gamma_8} v_6 \underbrace{v_7 v_8 v_9 v_{10} v_{11}}_{\gamma_9} v_{12} v_{13} v_{18}$$

$$\gamma_4 = v_0 \underbrace{v_1 v_2 v_3 v_4 v_5}_{\gamma_8} v_6 v_7 v_{12} v_{13} v_{18}$$

$$\gamma_5 = v_0 v_1 v_6 \underbrace{v_7 v_8 v_9 v_{10} v_{11}}_{\gamma_9} v_{12} v_{13} v_{18}$$

$$\gamma_6 = v_0 v_1 v_6 v_7 v_{12} \underbrace{v_{13} v_{14} v_{15} v_{16} v_{17}}_{\gamma_{10}} v_{18}$$

$$\gamma_7 = v_0 v_1 v_6 v_7 v_{12} v_{13} v_{18}$$

Figure 2 shows a diagram of the relation  $\rightarrow_C$ . Since  $\leq_\gamma$  is the inverse relation of  $\rightarrow_C$  it is clear that  $\gamma$  has three immediate predecessors.

#### 4. Binary sequences and perfectly nested circuits

In this section we describe, given some  $m \in \mathbb{N}$ , an equivalence relation on the set of binary sequences less or equal than  $m$ . Then we give an order to the set of equivalence classes and finally we prove our main result namely that this ordered set is isomorphic to the family of reductions of a PNC with  $m$  internal vertices.

##### 4.1. Binary sequences

The length of a sequence  $s$  is denoted as  $\ell(s)$ . We denote the empty sequence by  $\emptyset$ . The set of all the binary sequences of length at most  $m$  is denoted by  $2^{\leq m}$ . We denote as  $s \cdot t$  the concatenation of sequences  $s$  and  $t$ .

**Definition 12.** *The pair  $(s, t)$  of sequences in  $2^{\leq m}$  belong to the relation  $\sim_m$  iff:*

1.  $\ell(s) = \ell(t)$ , and
2.  $s$  and  $t$  have the same number of 1's, and consequently, the same number of 0's.

We will denote by  $|s|_0$  and  $|s|_1$  respectively the number of 0's and 1's in  $s$ .

**Observation 5.** *Notice that  $\sim_m$  is an equivalence relation. We denote the quotient set  $2^{\leq m} / \sim_m$  as  $S_m$ .*

**Definition 13.** *We define a binary relation  $\leq_m$  on  $S_m$  as follows:  $[s] \leq_m [t]$  iff there are sequences  $s' \in [s], t' \in [t]$  such that  $s'$  extends  $t'$ .*

**Theorem 5.** *The relation  $\leq_m$  is an order on  $S_m$ .*

*Proof.* Let  $[s]$  be an element of  $S_m$ . Since it extends itself it is clear that  $[s] \leq_m [s]$ , so  $\leq_m$  is reflexive.

To check antisymmetry, suppose that  $[s], [t]$  are two equivalence classes in  $S_m$  such that  $[s] \leq_m [t]$  and  $[t] \leq_m [s]$ . Since  $[s] \leq_m [t]$  there are sequences  $s' \in [s]$  and  $t' \in [t]$  such that  $s'$  extends  $t'$  thus  $\ell(t) = \ell(t') \leq \ell(s') = \ell(s)$ , and  $|t|_1 = |t'|_1 \leq |s'|_1 = |s|_1$ .

Besides, since  $[t] \leq_m [s]$  there are sequences  $\tilde{s} \in [s]$  and  $\tilde{t} \in [t]$   $\tilde{t}$  extends  $\tilde{s}$  so

$$\ell(s) = \ell(\tilde{s}) \leq \ell(\tilde{t}) = \ell(t)$$

thus,

$$|s|_1 = |\tilde{s}|_1 \leq |\tilde{t}|_1 = |t|_1.$$

Hence  $\ell(s) = \ell(t)$  and  $|s|_1 = |t|_1$ . As a consequence  $s \sim_m t$  and therefore  $[s] = [t]$ .

To prove transitivity suppose that  $[r], [s], [t]$  are three classes in  $S_m$  such that  $[r] \leq_m [s]$  and  $[s] \leq_m [t]$ . As  $[r] \leq_m [s]$  there are sequences  $r' \in [r]$  and  $s' \in [s]$  with  $r'$  extending  $s'$  thus  $|s|_0 = |s'|_0 \leq |r'|_0 = |r|_0$  and  $|s|_1 = |s'|_1 \leq |r'|_1 = |r|_1$ . Analogously, since  $[s] \leq_m [t]$ , there are sequences  $\tilde{s} \in [s]$  and  $\tilde{t} \in [t]$  such that  $\tilde{s}$  extends  $\tilde{t}$ .

Hence  $|t|_0 = |\tilde{t}|_0 \leq |\tilde{s}|_0 = |s|_0$  and  $|t|_1 = |\tilde{t}|_1 \leq |\tilde{s}|_1 = |s|_1$ . Thus,

$$|t|_0 \leq |r|_0 \quad |t|_1 \leq |r|_1$$

and since  $\ell(t) = |t|_0 + |t|_1$  and  $\ell(r) = |r|_0 + |r|_1$  we have that

$$t' = \underbrace{0, \dots, 0}_{|t|_0}, \underbrace{1, \dots, 1}_{|t|_1}$$

is an element of  $[t]$  and

$$\tilde{r} = \underbrace{0, \dots, 0}_{|t|_0}, \underbrace{1, \dots, 1}_{|t|_1}, \underbrace{0, \dots, 0}_{|r|_0 - |t|_0}, \underbrace{1, \dots, 1}_{|r|_1 - |t|_1}$$

is an element of  $[r]$  that extends  $t'$ .

Therefore  $[r] \leq_m [t]$ .

### 4.2. Order isomorphism between perfectly nested circuits and classes of binary sequences

**Definition 14.** Let  $\gamma = C_0 C_1 \dots C_m$  be a PNC with internal sequence  $k_1, k_2, \dots, k_m, k'_m, \dots, k'_1$ . The 0-reduction of  $\gamma$  is the internal reduction of  $\gamma$  at vertex  $v_{k_m}$  i.e. the circuit

$$C_0 C_1 \dots C_{m-1}$$

and the 1-reduction is the external reduction of  $\gamma$  at vertex  $v_{k_1}$  i.e.  $C_1 \dots C_m$ .

**Definition 15.** Suppose  $\delta \in X_\gamma$ . A 0-1-sequence for  $\delta$  is a sequence  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_p$  of elements in  $X_\gamma$  such that  $\gamma_0 = \gamma, \gamma_p = \delta$  and for each  $0 \leq i < p$ ,  $\gamma_{i+1}$  is obtained from  $\gamma_i$  either by a 0-reduction or a 1-reduction.

If  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_p$  is a 0-1-sequence for  $\delta$  where each  $\gamma_{i+1}$  is the 0-reduction of  $\gamma_i$ , then we say it is a 0-sequence. If instead each  $\gamma_{i+1}$  is the 1-reduction of  $\gamma_i$  we say it is a 1-sequence.

Observe that each 0-sequence and each 1-sequence are 0-1-sequences as well and that a concatenation of 0-1-sequences is again a 0-1-sequence.



**Lemma 5.** *If  $\gamma$  is a non-trivial PNC and  $\delta \in X_\gamma$  then there is a 0-1-sequence for  $\delta$  or, equivalently, for every element of  $X_\gamma$  can be obtained from  $\gamma$  by a sequence of 0-reductions and 1-reductions.*

*Proof.* Let  $\gamma$  be a PNC with internal sequence  $k_1, k_2, \dots, k_m, k'_m, \dots, k'_1$ . We know by definition that for every PNC  $\delta$  :

$$\delta \in X_\gamma \Leftarrow \gamma \xrightarrow{C} \delta$$

so it suffices to check that if  $\gamma \xrightarrow{C} \delta$  then there is a 0-1-sequence for  $\delta$ .

If  $\gamma \xrightarrow{C} \delta$  then  $\delta$  is either the internal or the external reduction of  $\gamma$  at some internal vertex  $v_{k_i}$ .

Suppose that  $\delta$  is the internal reduction of  $\gamma$  at  $v_{k_i}$ . In this case:

$$\delta = C_0 C_1 \dots C_{i-1}.$$

We take  $j = m - i$  thus  $k_i = k_{m-j}$ . Then, we prove by induction on  $0 \leq j < m$  that there is a 0-sequence  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{j+1}$  for  $\delta$ .

If  $j = 0$  then  $\delta$  is the internal reduction of  $\gamma$  at  $v_{k_m}$  then by definition it is the 0-reduction of  $\gamma$ . Then we have the 0-sequence  $\gamma_0, \gamma_1$  with  $\gamma_0 = \gamma$  and  $\gamma_1 = \delta$ .

Now suppose  $\delta$  is the internal reduction of  $\gamma$  at  $v_{k_{m-(\ell+1)}}$  with  $\ell + 1 < m$  i.e.

$$\delta = C_0 C_1 \dots C_{(m-\ell)-2}.$$

Notice that  $\delta$  is the 0-reduction of  $\delta' = C_0 C_1 \dots C_{(m-\ell)-1}$ , which in its turn is the internal reduction of  $\gamma$  at  $v_{k_{m-\ell}}$ .

By inductive hypothesis there is a 0-sequence  $\gamma_0, \dots, \gamma_{\ell+1}$  for  $\delta'$ . This implies the existence of a 0-sequence  $\gamma_0, \dots, \gamma_{\ell+2}$  for  $\delta$ . As every 0-sequence is a 0-1-sequence we have a 0-1-sequence for  $\delta$ . On the other hand, if  $\delta$  is the external reduction of  $\gamma$  at  $v_{k_i}$ :

$$\delta = C_i C_{i+1} \dots C_m.$$

We prove the existence of a 1-sequence  $\gamma_0, \dots, \gamma_i$  for  $\delta$  by induction on  $1 \leq i \leq m$ .

Our base case is  $i = 1$ . Then  $\delta = C_1 C_2 \dots C_m$  is the 1-reduction of  $\gamma$ . The 1-sequence for  $\delta$  is  $\gamma_0, \gamma_1$  with  $\gamma_0 = \gamma$  and  $\gamma_1 = \delta$ .

Now suppose  $i = \ell + 1$  with  $\ell < m$ . Then the external reduction of  $\gamma$  at  $v_{k_{\ell+1}}$  is  $\delta = C_{\ell+1} C_{\ell+2} \dots C_m$ , which is the 1-reduction of  $\delta' = C_\ell C_{\ell+1} C_{\ell+2} \dots C_m$ . By inductive

hypothesis there is a 1-sequence  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_\ell$  for  $\delta'$  hence there is a 1-sequence  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{\ell+1}$  for  $\delta$ . Since every 1-sequence is a 0-1-sequence, there is a 0-1-sequence for  $\delta$ .

We just proved that  $\gamma \rightarrow_C \delta$  implies there is a 0-1-sequence  $\gamma_0, \dots, \gamma_p$  for  $\delta$ . Since the concatenation of 0-1-sequences yields a 0-1-sequence, we conclude there is a 0-1-sequence for every  $\delta$  such that  $\gamma \xrightarrow{*}_C \delta$  i.e. there is a 0-1-sequence for each  $\delta \in X_\gamma$ . By definition this means that each  $\delta \in X_\gamma$  is obtained from  $\gamma$  by a sequence of 0-reductions and 1-reductions.

**Lemma 6.** *Let  $\gamma = v_0 v_1 \dots v_n$  be a PNC with  $m \geq 1$  internal vertices and  $\delta \in X_\gamma$ , with  $\delta \neq \gamma$ . Let  $\gamma, \gamma_1, \dots, \gamma_p$  be a 0-1-sequence for  $\delta$ .*

If  $p = p_0 + p_1$  with  $p_0$  the number of 0-reductions and  $p_1$  the number of 1-reductions in the 0-1-sequence, then

$$\delta = \gamma_p = C_{p_1} C_{p_1+1} \dots C_{m-p_0}.$$

*Proof.* We will prove this result by induction on  $p$ .

Since  $\gamma \neq \delta$  our base case is  $p = 1$ , we have two possibilities: either  $p_0 = 1$  and  $p_1 = 0$  or  $p_0 = 0$  and  $p_1 = 1$ .

If  $p_0 = 1, p_1 = 0$  then  $\delta$  is the 0-reduction of  $\gamma$  i.e.  $\delta = C_0 C_1 \dots C_{m-1}$ , and if  $p_0 = 0, p_1 = 1$  then  $\delta$  is the 1-reduction of  $\gamma$ :

$$\delta = C_1 C_2 \dots C_m.$$

In both cases we have the stated result.

Albeit 0-1-sequences for a given  $\delta \in X_\gamma$  do not need to be unique, they all have the same length.

## 5. Conclusions and further research

In this article, a kind of nested graph is presented along with its properties. It was called perfectly nested circuit after analyzing the characteristics as graph structure. Several concepts, definitions and figures were used to make clear the identification of this type of circuits that satisfy interesting properties; some of them presented in this article. As an important result we establish an order isomorphism between some sets of perfectly nested circuits and equivalence classes over finite binary sequences.

Considering similarities with nested graphs, and the work done by other authors using nested graphs, the next step should include to evaluate possible applications of perfectly nested circuits in knowledge representation, semantic of natural languages and inference in databases.

On the other hand, since that the strongest result in this work is the establishment of an isomorphism between PNCs and equivalence classes of binary sequences, the near

future in this direction will be to study the use of PNCs in the generation or analysis of binary sequences.

## References

- Chein, M., & Mugnier, M.L. (1992), Conceptual Graphs: fundamental notions, *Revue d'Intelligence Artificielle*, 6(4), 365–406.
- Chein, M., Mugnier, M.L., & Simonet, G. (1992), Nested Graphs: A Graph-based Knowledge Representation Model con FOL Semantics, *Proceedings of the 6th International Conference on Knowledge Representation and Reasoning (KR'98)*, (pp. 524–535). Trento, Italy, Morgan-Kaufmann Publishers.
- Diestel, R (2017) . *Graph Theory*. GTM series (Fifth edition). Germany, Springer editors.
- Helbig, H. (2006). Knowledge Representation and the Semantic of Natural Language. Germany, Springer-Verlag.
- Lehman, F. (1992). Semantic Networks, *Computers Math. Applic.*, 23(2-5), 1–50.
- Sowa, J. F. (1976). Conceptual graphs for a database interface, *IBM J. Research and development*, 20(4): 336–357.
- Sowa, J. F. (1984). *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*, Reading, MA, USA : Addison-Wesley.
- Trunfio, G. A., Spataro, W., & Sirakoulis, G. Ch. (2018). Nested graphs: A model to high performance computing in modeling and simulation, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 30(7).

# Propuesta metodológica para la migración de servicios de TI a un entorno de Cloud Computing

Ángel Jaramillo<sup>1</sup>, Iván Ortiz-Garcés<sup>1</sup>

angel.jaramillo@udla.edu.ec, ivan.ortiz@udla.edu.ec

<sup>1</sup> Universidad de Las Américas, Quito, Ecuador.

Pages: 279–290

**Resumen:** El presente estudio tiene como objetivo principal proponer un método para la migración de los servicios de Tecnologías de la Información de una organización hacia un entorno de cloud computing, considerando su viabilidad a través de su criticidad y características técnicas. Para ello, se definirán las diferentes etapas del método. Se realizará una caracterización de la organización, identificando los servicios de TI y su relación con los objetivos estratégicos de la misma. Una vez identificados, se procederá a analizar la criticidad de los mismos mediante un método que considera parámetros como amenazas, probabilidad de ocurrencia, tolerancia al riesgo e impacto en la organización. En la etapa final se definirá el entorno de nube adecuado considerando los modelos de servicio e implementación de cloud computing, la definición de acuerdos de nivel de servicio y un plan de ejecución de la misma para la organización.

**Palabras-clave:** cloud computing; método; migración; servicios TI.

## *Methodological proposal for the migration of IT services to a Cloud Computing environment*

**Abstract:** The main objective of this study is to propose a method for the migration of Information Technology services from an organization to a cloud computing environment, considering its viability through its criticality and technical characteristics. For this, the different stages of the method will be defined. A characterization of the organization will be carried out, identifying the IT services and their relation with the strategic objectives of the same. Once identified, it will proceed to analyze the criticality of the same by means of a method that considers parameters such as threats, probability of occurrence, tolerance to risk and impact on the organization. In the final stage the appropriate cloud environment will be defined considering the service models and implementation of cloud computing, the definition of service level agreements and a plan of execution of the same for the organization

**Keywords:** cloud computing; method; migration; IT services.

## 1. Introducción

En la actualidad, organizaciones de diferente índole están experimentando cambios en el uso de nuevas herramientas que les permitan disponer sus servicios de Tecnologías

de la Información (TI) de una manera más rápida, flexible y eficiente. La tecnología tradicional, con infraestructuras y data centers in situ, ha dado lugar a que los costos de implementación y mantenimiento de dichos servicios incrementen de manera considerable. Esto ha provocado que se analicen alternativas de tecnología que permitan mantener o disminuir los costos sin reducir la calidad de los servicios, dando oportunidad al crecimiento y mejora de los mismos.

Ante esta problemática surge un nuevo modelo que permite asignar recursos tecnológicos de una manera dinámica y bajo demanda, se denomina cloud computing. Según el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos (NIST del Inglés National Institute of Standards and Technology) cloud computing se define como:

*Un modelo para habilitar acceso conveniente por demanda a un conjunto compartido de recursos computacionales configurables, por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios, que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo mínimo de administración o de interacción con el proveedor de servicios.*

De acuerdo a un estudio de la consultora Gartner, se espera que para el 2016 las mayores inversiones en TI se orienten a tecnologías relacionadas con cloud computing (Gartner, 2013). Las bondades que ofrece el cloud computing permiten a las empresas elegir la forma de adquirir o entregar servicios de TI como seguridad, movilidad, plataformas financieras, aplicaciones de colaboración, entre otras, de una manera ajustable a la realidad de cada organización.

Los servicios relacionados a TI se han incrementado, y es así que cada vez la demanda de los mismos requerirá de infraestructuras robustas, confiables y de alta disponibilidad, para los cuales tecnologías relacionadas con cloud computing se ajustarán dependiendo de la naturaleza de cada servicio.

Considerando lo expuesto, es de suma importancia definir un método que permita el análisis de los servicios de TI de una organización, para así verificar la factibilidad de su migración hacia un entorno de cloud computing.

Para ello, en la sección II se presentarán las etapas del método a proponerse con el argumento y sustento técnico adecuado, para posteriormente en la sección III presentar los resultados de un caso de estudio en una organización del país.

Al final en la sección IV se detallarán las conclusiones más relevantes del trabajo, así como los posibles estudios a futuro que se puedan desarrollar al partir del mismo.

## **2. Metodología**

### **2.1. Levantamiento de información de la organización**

En primera instancia es necesario realizar una caracterización de la organización en la cual se va a aplicar el método. Para ello es importante tener clara la perspectiva del negocio, sus objetivos estratégicos, su misión, visión, entre otros.

Todo proyecto de TI es necesario que tenga un alineamiento con los objetivos de negocio. Esto significa que todas las iniciativas de TI deben tener una incidencia y apoyar en el alcance de los objetivos institucionales. Para esta primera etapa se propone el levantamiento de información relevante de la organización y de esta manera validar la relevancia de los servicios tecnológicos a evaluarse. Se requiere la siguiente información de la organización:

- Misión y visión.
- Planificación estratégica.
- Catálogo de servicios de TI.

Una vez dispuesta esta información se propone un análisis entre los servicios y los objetivos estratégicos que forman parte de la planificación estratégica de la organización. Para ello en la Tabla 1 se presenta un formato a aplicarse para dicho análisis.

	Obj. Est. 1	Obj. Est. 2	Obj. Est. 3	Obj. Est. ...	Obj. Est. N
Servicio 1					
Servicio 2					
Servicio 3					
Servicio ...					
Servicio N					

Tabla 1 – Formato para el análisis de servicios de ti frente a objetivos estratégicos.

Una vez identificados los servicios de TI en el eje vertical y los objetivos estratégicos en el eje horizontal, se puede seleccionar el servicio que aporta al objetivo estratégico. Este análisis se lo debe realizar con las direcciones del departamento de TI de la organización. Esta herramienta permite apreciar si los servicios seleccionados son de alto impacto en la organización y, como se dijo anteriormente, permiten alcanzar y apalancar los objetivos de negocio.

## 2.2. Criticidad de los servicios

Posteriormente se procede a definir la criticidad de los servicios de TI, para ello se consideran los siguientes parámetros:

- Tipo de amenaza
- Probabilidad de ocurrencia
- Tolerancia al riesgo
- Nivel de impacto
- Número de usuarios

Los tipos de amenazas y su probabilidad de ocurrencia se categorizan de acuerdo a las Tablas 2 y 3 respectivamente.

<b>Amenaza</b>	
Actos intencionales	Software malicioso, intrusión en la red, accesos no autorizados
Actos no intencionales	Error en el ingreso de datos, comandos incorrectamente utilizados, etc.
Naturales	Terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra, etc.
Ambientales	Falla de energía, contaminación, etc.

Tabla 2 – Categorización de amenazas.

Estas amenazas contemplan actos producidos por el hombre en algunos casos y en otros de origen natural. Así mismo la probabilidad de ocurrencia se cuantifica considerando diferentes escenarios en los que pudiera presentarse la amenaza.

<b>Probabilidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia por año</b>
0.03	Despreciable	< a 2 veces cada 5 años
0.05	Muy bajo	2-3 veces cada 5 años
0.07	Bajo	1 vez al año
0.1	Medio	1 vez cada 6 meses
0.15	Alto	1 vez por mes
0.2	Muy Alto	más de 1 vez por mes
0.4	Extremo	Mayor a 1 vez por día

Tabla 3 – Probabilidad de ocurrencia de la amenaza.

La tolerancia al riesgo por otro lado se define como el número de horas en los cuales una organización podría operar sin un servicio tecnológico. Así mismo, el nivel de impacto se considera según la afectación de dicho servicio a la misión de la organización.

En las Tablas 4 y 5 se describe la clasificación de los sistemas de información según su nivel de tolerancia al riesgo y el nivel de impacto respectivamente.

<b>Nivel de tolerancia</b>	<b>Descripción</b>
Bajo	Sistemas de información misionales y servicios de apoyo a toda la organización
Medio	Sistemas de información de apoyo a labores administrativas y servicios de administración y gestión de TI.
Alto	Sistemas de información y servicios de TI de apoyo sólo a procesos específicos.

Tabla 4 – Niveles de tolerancia al riesgo.

El nivel de tolerancia al riesgo, que se define en horas, se relaciona directamente con la relevancia de los sistemas de información y su apoyo a alcanzar los objetivos de negocio de la organización (Tabla 4).

Nivel de Impacto	Descripción
Bajo	No afecta la misión de una organización.
Medio	Afecta notablemente la misión de una organización
Alto	Impide la misión de una organización.

Tabla 5 – Niveles de Impacto del riesgo.

Este parámetro identifica el impacto que generaría la ocurrencia de un riesgo en la organización y el desarrollo de su misión. Es necesario definir una puntuación para este nivel de impacto. Como último parámetro es necesario identificar el número de usuarios que acceden a cada servicio de TI que se esté analizando.

Una vez identificados los parámetros anteriormente señalados, se procede al cálculo del índice de criticidad ( $I_C$ ) de los servicios de TI mediante la siguiente ecuación:

$$I_C = \overline{P_O} * I_R \quad (1)$$

donde,  $\overline{P_O}$  es el promedio de la probabilidad de ocurrencia de cada amenaza e  $I_R$  es el nivel de impacto del riesgo identificado.

Con el índice de criticidad y el nivel de tolerancia al riesgo se pueden identificar aquellos servicios que son aptos para migrar a un entorno de cloud computing sin que comprometan al desarrollo adecuado de la organización. Hecho esto, es necesario realizar un inventario técnico de cada servicio, identificando las plataformas de software y base de datos sobre las que están implementados, hardware y capacidades requeridas.

### 2.3. Modelo de Cloud Computing

Previo a desarrollar la estrategia de la migración a la nube de los servicios académicos de TI recomendados, es necesario tener en claro los modelos relacionados con la tecnología de cloud computing.

El Cloud Computing, muchas veces conocido como “nube”, es una tendencia que ha ido creciendo en los últimos años y que se ha posicionado tecnológicamente como una alternativa en varias organizaciones

El modelo de cloud computing está compuesto por cinco características esenciales, tres modelos de servicio y cuatro modelos de implementación.

Nivel de Impacto	Descripción
SaaS	El proveedor permite al consumidor acceder a los servicios desde diversos dispositivos como pueden ser, computadoras, teléfonos inteligentes o tabletas.
PaaS	Este tipo de servicio permite a los desarrolladores la creación de múltiples aplicaciones basadas en herramientas que son suministradas por el proveedor.
IaaS	En este modelo los consumidores son provistos de procesamiento, almacenamiento y redes, entre otros recursos informáticos fundamentales.



Nivel de Impacto	Descripción
Nube Privada	El proveedor realiza la implementación y administración del sistema para la entidad que forma parte de ella.
Nube Pública	El proveedor proporciona sus recursos de forma abierta a todas las entidades que lo deseen, desde particulares a grandes corporaciones.
Nube Híbrida	El proveedor ofrece una parte de los servicios y la información se ofrece de manera pública y otra de manera privada o comunitaria.

Tabla 6 – Características esenciales Cloud Computing.

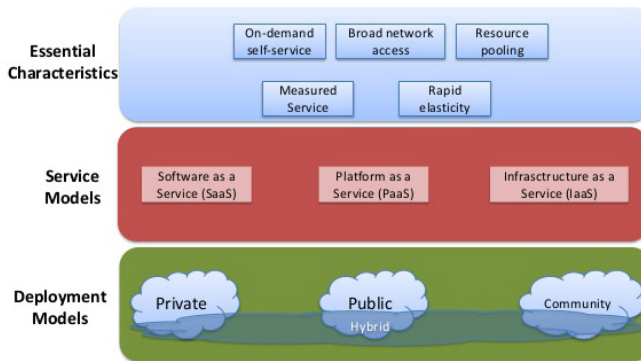


Figura 1 – Modelos de Cloud Computing. Fuente: www.edureka.co.

## 2.4. Estrategia para la migración de los servicios

En la actualidad no existe una metodología o normativa definida en cuanto a la adopción de los modelos de cloud computing en la infraestructura tecnológica de una organización. No obstante, ciertos autores proponen mejores prácticas y algunas recomendaciones que permitan progresivamente evolucionar de un modelo privado hacia uno público.

En muchos casos, cada empresa especifica sus necesidades tanto para la integración como para la estandarización de su infraestructura considerando el crecimiento que hayan definido o su visión

Según Oxford Dictionaries una estrategia es la “serie de acciones muy meditadas, encaminadas hacia un fin determinado” (Oxford Dictionaries, 2014), tomando en cuenta esto a continuación se define la estrategia que adoptar un modelo de nube en la organización.

A continuación, en la Figura 2 se muestra cada una de las fases para la migración de servicios.



Figura 2 – Estrategia de migración de servicios.

## 2.5. Análisis de proveedores de Cloud Computing

Actualmente en el país ya existen empresas proveedoras de servicios de nube lo que permite tener una gama de opciones al momento de seleccionar una de ellas. Considerando el marco del PMI, este indica que se pueden evaluar varios parámetros en un proveedor, entre ellos:

- Tiempo en el mercado.
- Integridad.
- Capacidad técnica.
- Trayectoria.
- Habilidades.
- Costos.

Esto permitirá tener un criterio más acertado al momento de seleccionar el proveedor de nube que requieren los servicios de TI de la organización.

## 2.6. Definición de acuerdos de nivel de servicio

Un acuerdo de nivel de servicio o ANS (SLA, por sus siglas en inglés) es un contrato entre un proveedor y un consumidor que especifica los requisitos de los consumidores y el compromiso del proveedor con ellos. Normalmente un SLA incluye elementos tales

como el tiempo de actividad, la privacidad, la seguridad y los procedimientos de copia de seguridad. (Cloud Computing Use Cases, 2010)

En el caso específico de servicios de cloud computing se sugieren considerar los parámetros de la Tabla 7, para definir los términos de un ANS (Cloud Computing Use Cases, 2010):

Factor	Descripción
Objetivos Empresariales	Definir el Por qué utilizar servicios de nube previo a seleccionar los servicios que se utilizarán
Responsabilidades de ambas partes	Definir tanto las responsabilidades del proveedor como las del consumidor
Continuidad empresarial / recuperación de desastres	Es necesario que el consumidor se asegure que el proveedor tiene un plan adecuado de protección frente a desastres.
Redundancia	Que tan redundantes son los sistemas del proveedor
Mantenimiento	Durante los mantenimientos del proveedor es importante conocer el tiempo que no estarán disponibles los servicios o si bajará el rendimiento.
Ubicación de los datos	Dependiendo de las regulaciones el proveedor puede garantizar que los datos serán almacenados en una ubicación determinada. Tiene que permitir auditar la situación.
Embargo de datos	Es necesario evaluar la opción de que un tercero proporcione respaldos adicionales si por alguna razón se embarga el equipo del proveedor.
Error del proveedor	Definir planes de contingencia considerando el estado financiero del proveedor
Jurisdicción	Analizar y entender las normativas locales que se aplican al proveedor
Agentes de bolsa y revendedores	En caso de que el proveedor sea un agente de bolsa o un revendedor, los términos del ANS deben aclarar cualquier cuestión de responsabilidad si algo sale mal en las instalaciones del agente de bolsa, revendedor o proveedor.

Tabla 7 – Factores a considerar para un ANS.

Es importante también considerar una norma clave sobre la responsabilidad relacionada con el rendimiento en la nube. Específicamente es la denominada “la regla de los nueves”, la cual es una métrica relacionada con las interrupciones que afectan la disponibilidad de un servicio a través del tiempo de inactividad. En la Tabla 8 se puede apreciar el tiempo de inactividad dependiendo el porcentaje de disponibilidad:

Disponibilidad (%)	Tiempo de inactividad por año	Tiempo de inactividad por mes	Tiempo de inactividad por semana	Tiempo de inactividad por día
90% ('un nueve')	36,5 días	73 horas	17,03 horas	2,433 horas
99% ('dos nueves')	3,65 días	7,30 horas	1,703 horas	14,6 minutos
99,50%	1,825 días	3,650 horas	51,1 minutos	7,3 minutos
99,9% ('tres nueves')	8,76 horas	43,8 minutos	10,22 minutos	1,46 minutos

Disponibilidad (%)	Tiempo de inactividad por año	Tiempo de inactividad por mes	Tiempo de inactividad por semana	Tiempo de inactividad por día
99,95%	4,38 horas	21,9 minutos	5,11 minutos	43,8 segundos
99,99% (‘cuatro nueves’)	52,56 minutos	4,38 minutos	1,022 minutos	8,76 segundos
99,999% (‘cinco nueves’)	5,256 minutos	26,28 segundos	6,132 segundos	0,876 segundos
99,9999% (‘seis nueves’)	31,536 segundos	2,628 segundos	0,6132 segundos	0,0876 segundos
99,99999% (‘siete nueves’)	3,154 segundos	0,263 segundos	0,0613 segundos	0,00876 segundos

Tabla 8 – Tiempo de inactividad según varios porcentajes de disponibilidad.

### 2.7. Definición del plan para la implementación del proyecto

A continuación, se propone un plan para la implementación del proyecto donde se calendarizará cada una de las actividades de la estrategia con su respectivo responsable, considerando tiempos estimados para cada una de ellas.

En la Tabla 9 se definen los responsables de cada actividad para la implementación del proyecto.

Actividad	Responsables
Selección de Modelos de Servicio	Jefe de Infraestructura Tecnológica Analista de Infraestructura Tecnológica
Selección de Modelos de Implementación	Jefe de Infraestructura Tecnológica Analista de Infraestructura Tecnológica
Análisis de Proveedores de Nube	Director de Sistemas Director de Tecnologías de Información
Análisis de la Legislación Ecuatoriana	Director de Tecnologías de Información Jefe de Infraestructura Tecnológica
Definición de acuerdos de nivel de servicio	Director de Sistemas Director de Tecnologías de Información
Ejecución de la migración	Director de Sistemas
Pruebas de la migración	Director de Sistemas

Tabla 9 – Actividades y responsables de implementación del proyecto.

## 3. Resultados

Un resultado del proyecto de suma importancia es que existe claramente un alineamiento entre la estrategia de migración propuesta y la planificación estratégica definida por las organizaciones, tomando en cuenta que los servicios de TI, seleccionados para migrar a la nube, están relacionados con varios de los objetivos estratégicos de la misma.

Es posible, además, clasificar todos los servicios de las organizaciones, considerando su criticidad, su tolerancia al riesgo y el número de usuarios afectados, dando como resultado que los más críticos son los que están relacionados con las plataformas que manejan el CORE del negocio.

La mayoría de los estudios sobre cloud computing coinciden en las ventajas de ese entorno, puesto que permite ahorrar la inversión de adquirir hardware y los costos de su operación y mantenimiento, pero a su vez también hacen énfasis en los posibles riesgos en cuanto al almacenamiento, seguridad y protección de la información, en una adecuada definición de acuerdos de nivel de servicio, en la falta de normativas e indirectamente en una fuerte dependencia de los proveedores.

El proceso de análisis y selección de proveedores de nube debe ser minucioso debido a que se debe asegurar que tengan el respaldo adecuado tanto técnica, financiera y humanamente para garantizar el rendimiento y disponibilidad de los servicios.

Dentro de los factores que se debe considerar para el éxito de la implementación del proyecto, uno de los más importantes es que debe existir un acceso a internet adecuado con su respectivo esquema de redundancia, puesto que será este factor el que brinde el medio para acceder a los servicios implementados en la nube pública.

#### **4. Conclusiones**

- El implementar los servicios críticos y de alta demanda, en un modelo de nube pública, permite un fácil acceso a la información, dispuesta en cada uno de ellos, desde cualquier lugar, incluso fuera de las organizaciones y por cualquier persona que tenga autorización para acceder a los mismos, lo que, en caso de presentarse cualquier amenaza de índole natural, aún se puede mantener la continuidad del negocio.
- El desarrollo de la metodología planteada facilita el poder realizar la evaluación de un entorno de cloud computing, como alternativa a la puesta en marcha de algunos de los servicios de TI de las organizaciones, considerando que se identifican todos los servicios que por el número de usuarios y su criticidad requieren de mayor capacidad para su adecuado rendimiento y disponibilidad, en lo posible, ininterrumpida.
- La operatividad de este modelo de nube pública contribuirá al incremento de los índices de acceso y confiabilidad de la información, por parte de los usuarios de las organizaciones en un entorno de economía de escala y globalización las cuales muchas veces generan desconfianza.
- La implementación de herramientas de monitorización y alerta temprana permitirá que la atención de todos los incidentes relacionados con los servicios críticos migrados a la nube pública se los atienda de manera oportuna y eficaz con un correcto nivel de escalamiento entre las organizaciones y los proveedores.

## Referencias

- Bernal, L. Vegega, C. Pytel, P. Pollo-Cattaneo, M. F. (2014). Propuesta de una Metodología para el Análisis de Adopción de Cloud Computing en PyMES. Recuperado el 3 de julio de 2014 de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32416>
- Ceano (2014). Qué Cloud Elegir | Cloud Pública, privada o híbrida| Cloud para PYMES. Recuperado el 15 de septiembre de 2014 de <http://ceano.colt.net/es/business-scenarios/public-vs-private-vs-hybrid-cloud/>
- Cloud Computing Use Case Discussion Group, (2010). Cloud Computing Use Cases. Recuperado el 30 de Octubre de 2014 de <http://cloudusecases.org>.
- Gartner.com, (2014). Cloud Computing | Technology Research | Gartner Inc.. Recuperado el 20 de Septiembre de 2014 de <http://www.gartner.com/technology/topics/cloud-computing.jsp>.
- Katz R., Goldstein P, Yanosky R. (2010), Cloud Computing in Higher Education. Recuperado el 20 de abril de 2014 de [http://net.educause.edu/section\\_params/conf/ccw10/highered.pdf](http://net.educause.edu/section_params/conf/ccw10/highered.pdf)
- Mather, Tim. Kumaraswamy, Subra. Latif, Shahed. (2009) Cloud Security and Privacy, O'Reilly
- Mircea M., Andreescu A., (2011, Romania), Using Cloud Computing in Higher Education: A Strategy to Improve Agility in the Current Financial Crisis. Recuperado el 20 de mayo de 2014 de <http://www.ibimapublishing.com/journals/CIBIMA/2011/875547/875547.pdf>
- Moreno, Jesús. Molina, Alberto. (2012). Computación en la nube en la formación TIC. Recuperado el 20 de junio de 2014 de [www.gonzalonazareno.org/cloud/material/cloud\\_en\\_la\\_educacion.pdf](http://www.gonzalonazareno.org/cloud/material/cloud_en_la_educacion.pdf)
- N. Ahmad, Q. N. Naveed and N. Hoda, "Strategy and procedures for Migration to the Cloud Computing," 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS), Bangkok, Thailand, 2018, pp. 1-5.
- Gartner.com. (2013). Gartner Says Cloud Computing Will Become the Bulk of New IT Spend by 2016. Recuperado el 15 de mayo de 2014 <http://www.gartner.com/newsroom/id/2613015>
- NIST. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. Recuperado el 20 de junio de 2014 de <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>
- Osanaiye, O., Chen, S., Yan, Z., Lu, R., Choo, K. K. R., & Dlodlo, M. (2017). From cloud to fog computing: A review and a conceptual live VM migration framework. IEEE Access, 5, 8284-8300.
- Páez O. (2012). La computación en la nube, como solución a los problemas de disponibilidad y continuidad en los servicios informáticos de la Aeronáutica Civil. Recuperado el 13 de Junio de 2014 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/10439/1/940745.2012.pdf>

- Paez, Omar. (2012) La computación en la nube, como solución a los problemas de disponibilidad y continuidad en los servicios informáticos de la Aeronáutica Civil. Universidad de Colombia
- Silva Filho, M. C., Monteiro, C. C., Inácio, P. R., & Freire, M. M. (2018). Approaches for optimizing virtual machine placement and migration in cloud environments: A survey. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 111, 222-250.
- Taylor, G. (2014). Definición de Cloud Computing por el NIST - Guillermo Taylor @ Microsoft - Site Home - TechNet Blogs. Blogs.technet.com. Recuperado el 14 de Octubre de 2014 de <http://blogs.technet.com/b/guillermotaylor/archive/2010/08/25/definici-243-n-de-cloud-computing-por-el-nist.aspx>
- Wieder, Philipp. Butler, Joe M. Theilmann, Wolfgang. Yahyapour, Ramin. (2011). *Service Level Agreements for Computación en la nube*. Springer.
- X. Fu, C. Zhang, J. Chen, L. Zhang and L. Qiao, "Network Traffic based Virtual Machine Migration in Cloud Computing Environment," 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chengdu, China, 2019, pp. 818-821.

# Tendencias en DevOps: un mapeo sistemático de la literatura

Jonathan Guerrero<sup>1</sup>, Camilo Certuche<sup>1</sup>, Karen Zúñiga<sup>1</sup>, César Pardo<sup>1</sup>

[jguerrero@unicauca.edu.co](mailto:jguerrero@unicauca.edu.co), [scamiloc@unicauca.edu.co](mailto:scamiloc@unicauca.edu.co), [karenza@unicauca.edu.co](mailto:karenza@unicauca.edu.co),  
[cpardo@unicauca.edu.co](mailto:cpardo@unicauca.edu.co)

<sup>1</sup>Grupo de Investigación GTI, Programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, 19002. Popayán, Colombia.

**Pages:** 291–305

**Resumen:** DevOps se ha convertido en un enfoque de gran relevancia para el desarrollo de software, éste surge con el objetivo de acelerar y aumentar la productividad en el desarrollo de productos y servicios software, facilitando la automatización, integración y despliegue continuo. Este artículo presenta los resultados de un mapeo sistemático realizado con el objetivo de conocer el estado del arte en la definición de DevOps y soluciones propuestas para su adopción en empresas. Los resultados muestran que hay poca información detallada sobre actividades, tareas, roles y otros elementos de proceso importantes para facilitar la adopción de DevOps. Asimismo, se ha concluido que no hay una terminología unificada, por lo tanto, es importante homogeneizarla para facilitar la comprensión y la aplicación de DevOps. Adicionalmente, este documento muestra una vista previa del marco de trabajo que estamos desarrollando para la adopción de DevOps.

**Palabras-clave:** DevOps; desarrollo; operaciones; despliegue; integración.

## *Trends in DevOps: a systematic mapping of the literature*

**Abstract:** DevOps has become an approach of great relevance for software development, which arises with the objective of accelerating and increasing productivity in the development of software products and services, facilitating automation, integration and continuous deployment. This article presents the results of a systematic mapping carried out with the objective of knowing the state of the art of DevOps definition and proposed solutions for adoption in software companies. The results show that there is little detailed information about activities, tasks, roles and other important process elements to facilitate the DevOps adoption. Similarly, it has been concluded that there is no a unified terminology, therefore, it is important to standardize it to simplify the understanding and application of DevOps. Furthermore, this paper shows the preview of the framework that it is being developed for the DevOps adoption.

**Keywords:** DevOps; development; operations; deployment; integration.



## 1. Introducción

La industria del software ha cambiado constantemente sus practicas buscando mejor calidad de los productos entregados, esto, de acuerdo con las necesidades de sus clientes y adaptándose a los continuos cambios en los estándares de la industria. Producto de estos cambios encontramos marcos de trabajo tradicionales tales como: CMMI, RUP, entre otros, y marcos de trabajo ágiles como: Scrum, Lean Software Development, entre otros; e incluso, marcos de trabajo híbridos. Los marcos de trabajo ágiles buscan entregar valor a sus clientes con calidad de manera continua, gestionando cambios constantes a través del tiempo y acelerando el retorno de inversión (VersionOne, 2019). Asimismo, desde la perspectiva de operaciones se encuentran marcos de trabajo de facto, tales como: ITIL y COBIT, y estándares como ISO/IEC 20000, donde se proponen elementos, prácticas y/o actividades relacionadas con la administración de servicios de tecnologías de la información (TI) y la administración de procesos de mejora continua en los servicios de TI.

Debido al alto grado de competitividad en la industria, las Empresas de Software (en adelante EMPSW) necesitan incrementar su productividad actual (Samarawickrama & Perera, 2017), y aunque hay avances respecto a modelos, soluciones o frameworks para dar soporte a los procesos involucrados en el desarrollo de software, no sea ha logrado todavía los resultados esperados en los entornos altamente productivos actuales donde se requiere despliegue continuo de servicios (Virmani, 2015). Es en este tipo de escenarios donde surge DevOps. DevOps busca principalmente integrar los procesos de desarrollo y los procesos de operación del software eliminando las barreras históricas entre los equipos de desarrollo e infraestructura (Riungu, L., Mäkinen, S., Lwakatara, L., Tiihonen, J., & Männistö, 2016). DevOps aprovecha el capital humano, la tecnología y los procesos para incentivar la innovación y colaboración continua durante todo el proceso de construcción, despliegue y mantenimiento del software, de manera acelerada, constante y confiable (Lees, K., Gardner, J., & Eaton, 2017), sin desmejorar la calidad de los productos ni el valor entregado a los clientes.

El objetivo de este mapeo sistemático es proponer una definición para DevOps tratando de disminuir la ambigüedad existente respecto al termino. Además, se logra identificar soluciones propuestas para la adopción de DevOps en EMPSW. Asimismo, se identificaron trabajos que describen desafíos y beneficios que conlleva dicha adopción. Sin embargo, no se logra evidenciar a la fecha trabajos suficientemente detallados para realizar un proceso de adopción de DevOps en EMPSW de forma clara y controlada (Ghantous, G., & Gill, 2017). En consecuencia, resulta útil este mapeo sistemático, pues simplifica la percepción actual sobre DevOps, y, además, se logra identificar los atributos precisos para construir una ontología y desarrollar un modelo de referencia que permita instanciar procesos propios en las EMPSW para la adopción, implementación y supervisión de DevOps.

Este documento es una extensión del documento presentado en (Guerrero, J; Certuche, C; Zúñiga, K & Pardo, 2019), a diferencia del documento presentado anteriormente, aquí presentamos en detalle la categorización de los elementos de proceso (sección 3.3), la cual se realizó siguiendo una ontología de referencia, con el objetivo de mitigar la ambigüedad en ciertos términos. También, se categoriza las herramientas mencionadas

en los estudios primarios según el proceso o área a la cual dan soporte (sección 3.4). Además, se ha complementado las observaciones principales (sección 4.1), tras analizar los elementos de proceso encontrados. También, se presenta una vista preliminar de una propuesta de solución de implementación de DevOps para las EMPSW.

Además de la presente introducción, el trabajo presenta la Sección 2, que describe el proceso de investigación realizado, la Sección 3 presenta las respuestas a las preguntas de investigación, luego, la Sección 4 presenta las reflexiones principales, comparación con otros mapeos encontrados y limitaciones. Además, la Sección 5 presenta una visión de los elementos relacionados a DevOps que se consideran en nuestra propuesta. Por último, la Sección 6 presenta las conclusiones y trabajo futuro.

## 2. Proceso de investigación realizado

El presente mapeo sistemático se llevó a cabo siguiendo las guías presentadas en: Kitchenham (Kitchenham, 2012) y Genero et al. (Genero, M; Cruz, L & Piattini, 2014). El mapeo sistemático siguió las etapas de Planificación, Ejecución y Documentación. Asimismo, en Planificación se establecieron las siguientes actividades: (i) Definición de las preguntas de investigación, (ii) Definición de la estrategia de búsqueda, (iii) Definición de criterios de selección de los estudios primarios (EP), (iv) Definición de criterios de evaluación de calidad, (v) Definición de estrategia de extracción de datos y (vi) Elección del procedimiento de síntesis.

### 2.1. Definiendo las preguntas de investigación

Se establecieron las preguntas de investigación que se muestran en Tabla 1 con el fin de lograr el objetivo del mapeo sistemático e identificar posibles insuficiencias existentes para plantear nuevas áreas de investigación.

### 2.2. Estrategia para la búsqueda de la literatura

Se utilizaron búsquedas estructuradas en las bases de datos: Scopus, Google Scholar, SpringerLink e IEEE Xplore, usando la cadena de búsqueda construida con los términos y conectores lógicos de la Tabla 2. Asimismo, se utilizaron estudios facilitados por los expertos, los cuales han sido clasificados como literatura gris. Se consideró toda información que fuera publicada a partir de enero del año 2009, fecha en la que fue acuñado por primera vez el término DevOps en la industria (Martins, 2018) hasta noviembre de 2019.

Preguntas de investigación	Motivación
<b>P1.</b> ¿Según la literatura analizada qué se entiende por DevOps?	Se espera un acercamiento a una definición de más clara y genérica de DevOps.
<b>P2.</b> ¿Qué tipo de soluciones han sido propuestas para facilitar la adopción de DevOps en las EMPSW?	Conocer el trabajo realizado, las posibles mejoras y lo faltante relacionado con la adopción de DevOps.
<b>P3.</b> ¿Cuáles son los elementos de proceso que se han tenido en cuenta para aplicar DevOps?	Conocer los enfoques, documentación de propuestas existentes y su pertinencia de acuerdo con cada contexto.

Preguntas de investigación	Motivación
P4. ¿Qué herramientas tecnológicas son utilizadas para facilitar la adopción de DevOps?	Clasificar las herramientas tecnológicas usadas en la industria para soportar actividades relacionadas con la adopción de DevOps.
P5. ¿Qué beneficios y desafíos conlleva la adopción de DevOps?	Establecer los beneficios y desafíos en la adopción de DevOps por la EMPSW.

Tabla 1 – Preguntas de investigación.

#	Cadena de búsqueda
	("agile" OR "agile approach" OR "agile process") AND (DevOps OR "continuous delivery" OR "continuous release" OR "continuous deployment") AND (adopt OR integrate OR integration OR integrating) AND ("software development")

Tabla 2 – Resultados de la búsqueda y análisis de los estudios en las fuentes de búsqueda.

### 2.3. Criterios para la selección de los artículos

Los trabajos fueron evaluados considerando el título, resumen y sus palabras clave, para establecer su inclusión como estudios relevantes. Luego, estos, se examinaron detalladamente para seleccionar los EP. Finalmente se seleccionaron aquellos trabajos que cumplieran alguno de los siguientes criterios de inclusión: (i) Trabajos escritos en inglés que se describen la adopción de DevOps y (ii) Trabajos publicados entre los años 2009 y 2019 en revistas, conferencias, congresos o talleres de prestigio con revisión por pares. No se tuvieron en cuenta los trabajos que cumplieran con alguno de los siguientes criterios de exclusión: (i) Trabajos duplicados, (ii) Trabajos que no se relacionen con la adopción de DevOps en Empresas de Desarrollo de Software, (iii) El trabajo desarrolla el tema de manera superficial y (iv) Trabajos de debate, o trabajos disponibles como presentaciones o en forma de resúmenes.

### 2.4. Criterios utilizados para evaluar la calidad

Para determinar los estudios relevantes acerca de la adopción de DevOps y medir su calidad, se desarrolló un cuestionario con un sistema de calificación de tres valores (-1, 0 y +1). Los criterios de calidad establecidos para evaluar los EP son: C1 - el estudio contempla definición de DevOps, C2 - se propone un conjunto de elementos de proceso, C3 - se realiza la validación de la propuesta en EMPSW, C4 - se exponen resultados en la aplicación de la propuesta, C5 - se ha publicado en una revista, conferencia o congreso relevante relacionado con la ingeniería del software, C6 - tiene citas de otros autores según el índice de citas de Google Scholar, este análisis se detalla en (Guerrero, J; Certuche, C; Zúñiga, K & Pardo, 2019), la Tabla 3 presenta la evaluación de los EP a partir de los criterios de evaluación de calidad.

Referencia	Criterio						$\Sigma$
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
(Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2017)	0	0	-1	-1	0	1	-1
(de França, B., Jeronimo, H., & Travassos, 2016)	1	-1	-1	-1	-1	1	-2
(Chen, 2017)	-1	-1	-1	-1	0	1	-3
(Samarawickrama & Perera, 2017)	1	1	1	0	-1	0	2
(Riungu, L., Mäkinen, S., Lwakatare, L., Tiihonen, J., & Männistö, 2016)	1	-1	1	-1	-1	1	0
(Ghantous, G., & Gill, 2017)	0	0	-1	-1	-1	0	-3
(Wettinger, J., Breitenbücher, U., & Leymann, 2014)	0	0	1	0	-1	1	1
(Lwakatare, L., Kuvaja, P., & Oivo, 2015)	0	-1	-1	-1	-1	1	-3
(Kamuto, M., & Langerman, 2017)	0	0	-1	-1	-1	0	-3
(Jones, S., Noppen, J & Lettice, 2016)	0	0	1	-1	-1	1	0
(Gupta, V., Kapur, P. & Kumar, 2017)	0	-1	0	-1	0	1	-1
(Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2014)	1	0	-1	-1	-1	1	-1
(Bucena, I., & Kirikova, 2017)	1	1	1	0	-1	1	3
(Jabbari, R., Bin, N., Petersen, K., & Tanveer, 2016)	1	-1	-1	-1	-1	1	-2
(Elberzhager, F., Arif, T., Naab, M., Süß, I., & Sener, 2017)	0	0	1	-1	-1	1	0
(Krusche, S., Alperowitz, L., Bruegge, B., & Wagner, 2014)	-1	1	1	0	-1	1	1
(Kleppe, S., Krusche, S., Peters, S., Bruegge, B., & Alperowitz, 2015)	-1	0	1	-1	-1	1	-1
(Benguria, G., Alonso, J., Etxaniz, I., Orue-Echevarria, L., & Escalante, 2018)	0	1	1	0	-1	-1	0
(Nagarajan, A., & Overbeek, 2018)	-1	0	0	-1	-1	-1	-4
(Senapathi, M., Buchan, J., & Osman, 2018)	0	-1	1	-1	-1	0	-2
(Lwakatare, L., Kilamo, T., Karvonen, T., Sauvola, T., Heikkilä, V., Itkonen, J. & Lassenius, 2019)	1	0	-1	0	0	-1	-1
(Cusick, 2019)	0	0	-1	-1	-1	-1	-4
(Hemon, A., Lyonnet, B., Rowe, F., & Fitzgerald, 2019)	0	1	1	0	0	0	2

Tabla 3 – Evaluación de estudios primarios a partir de los criterios de evaluación definidos.

## 2.5. Estrategia para extraer los datos

A partir del proceso de lectura exploratoria realizada como se detalla en el numeral 2.7 se identificó un conjunto de respuestas probables a cada una de las preguntas de investigación definidas, lo cual permitió la aplicación de criterios estandarizados de extracción de datos para los EP y facilitar su posterior clasificación. Este conjunto de respuestas probables para cada pregunta se observa en la Tabla 4.

Preguntas	Respuestas
<b>P1.</b> ¿Según la literatura analizada qué se entiende por DevOps?	a. Diferencias significativas entre desarrollo y operaciones, b. Colaboración y comunicación como cultura, c. Integración, entrega y despliegue continuo, d. Aseguramiento de la calidad (QA), e. Automatización, f. Otros
<b>P2.</b> ¿Qué tipo de soluciones han sido propuestas para facilitar la adopción de DevOps en las EMPSW?	a Metodología., b. Técnica, c. Enfoque, d. Modelo, e. Framework, f. Otros, g. No hay propuesta.
<b>P3.</b> ¿Cuáles son los elementos de proceso que se han tenido en cuenta para aplicar DevOps?	a. Artefactos, b. Actividades, c. Prácticas, e. Roles, f. Plantillas, g. Otros
<b>P4.</b> ¿Qué herramientas tecnológicas son utilizadas para facilitar la adopción de DevOps?	a. Integración, release y deployment continuo, b. Comunicación y Colaboración, c. Otras
<b>P5.</b> ¿Qué beneficios y desafíos conlleva la adopción de DevOps?	a. Calidad de producto, b. Productividad, c. Económicos, d. Colaboración y comunicación, e Mejora procesos, f. Satisfacción del cliente, g. Otros

Tabla 4 – Esquema de clasificación.

## 2.6. Procedimiento de síntesis

Para cada EP se analizó detenidamente y su información fue estructurada bajo la siguiente organización: título, publicación, autores, referencia, resumen, descripción, metodología, tipo de propuesta, tipo de evaluación de la propuesta y aspectos sobresalientes. La Tabla 5 muestra la relación de los aportes de cada EP respecto a cada una de las preguntas de investigación definidas.

Referencia	Criterio				
	P1	P2	P3	P4	P5
(Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2017)	X	X	X		X
(de França, B., Jeronimo, H., & Travassos, 2016)	X	X			X
(Chen, 2017)		X			X
(Samarawickrama & Perera, 2017)	X	X			
(Riungu, L., Mäkinen, S., Lwakatare, L., Tiihonen, J., & Männistö, 2016)	X	X			X
(Ghantous, G., & Gill, 2017)	X	X	X	X	X
(Wettinger, J., Breitenbücher, U., & Leymann, 2014)	X	X			
(Lwakatare, L., Kuvaja, P., & Oivo, 2015)	X	X			X
(Kamuto, M., & Langerman, 2017)	X	X	X		X
(Jones, S., Noppen, J & Lettice, 2016)	X	X	X	X	X
(Gupta, V., Kapur, P. & Kumar, 2017)	X	X			
(Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2014)	X	X	X	X	X
(Bucena, I., & Kirikova, 2017)	X	X	X	X	X

(Jabbari, R., Bin, N., Petersen, K., & Tanveer, 2016)	X	X		
(Elberzhager, F., Arif, T., Naab, M., Süß, I., & Sener, 2017)	X	X	X	X
(Krusche, S., Alperowitz, L., Bruegge, B., & Wagner, 2014)		X	X	X
(Klepper, S., Krusche, S., Peters, S., Bruegge, B., & Alperowitz, 2015)		X	X	X
(Benguria, G., Alonso, J., Etxaniz, I., Orue-Echevarria, L., & Escalante, 2018)	X	X	X	X
(Nagarajan, A., & Overbeek, 2018)		X		
(Senapathi, M., Buchan, J., & Osman, 2018)	X	X		X
(Lwakatare, L., Kilamo, T., Karvonen, T., Sauvola, T., Heikkilä, V., Itkonen, J. & Lassenius, 2019)	X	X	X	X
(Cusick, 2019)	X	X	X	X
(Hemon, A., Lyonnet, B., Rowe, F., & Fitzgerald, 2019)	X	X	X	X

Tabla 5 – Aportes de los estudios primarios a cada pregunta de investigación.

## 2.7. Ejecución de la búsqueda

Se llevaron a cabo 5 iteraciones; una iteración cero donde se realizó una revisión de la literatura gris para familiarizarnos con el tema y de esta forma afinar la cadena de búsqueda final, trabajo que fue validado con pares expertos. Luego, se realizó una nueva iteración por cada fuente de búsqueda establecida para encontrar la mayor cantidad de fuentes de información posibles.

## 3. Respondiendo las preguntas de investigación

En esta sección se presentan las respuestas a las preguntas de investigación como resultado del análisis de los EP, cada respuesta se encuentra referenciada para facilitar su estudio posterior.

### 3.1. Pregunta P1: Según la literatura analizada, ¿qué se entiende por DevOps?

Al parecer, aún no se ha llegado a una definición común de lo que implica DevOps ya que estas tienen una perspectiva específica y no general (Jabbari, R., Bin, N., Petersen, K., & Tanveer, 2016). Al analizar cada definición, se identificaron las características y/o aspectos (en adelante conceptos) comunes que los autores han tenido en cuenta para definir DevOps. Los conceptos en común son: (i) Colaboración y Comunicación, (ii) Desarrollo y Operaciones, (iii) Cubrir la brecha, (iv) QA, (v) Automatización, (vi) Integración, entrega y despliegue continuo y (vii) Conjunto de prácticas.

También se pudo encontrar diversas comparaciones de lo que podría ser DevOps entre las que encontramos las siguientes: una propuesta (Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2017; Hemon, A., Lyonnet, B., Rowe, F., & Fitzgerald, 2019), Enfoque cultural (Samarawickrama & Perera, 2017), unión de prácticas (Ghantous, G., & Gill, 2017; Riungu, L., Mäkinen, S., Lwakatare, L., Tiihonen, J., & Männistö, 2016), nuevo paradigma (Wettinger, J., Breitenbücher, U., & Leymann, 2014), la unión de dos palabras (Lwakatare, L.,

Kuvaja, P., & Oivo, 2015), un fenómeno (Kamuto, M., & Langerman, 2017), un asunto interdisciplinario (Jones, S., Noppen, J & Lettice, 2016), unión de varios principios (Gupta, V., Kapur, P. & Kumar, 2017), un framework conceptual (Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2014), instrumento para eliminar las barreras entre unidades de desarrollo y operaciones (Bucena, I., & Kirikova, 2017; Lwakatere, L., Kilamo, T., Karvonen, T., Sauvola, T., Heikkilä, V., Itkonen, J. & Lassenius, 2019; Senapathi, M., Buchan, J., & Osman, 2018), una metodología (Cusick, 2019; Jabbari, R., Bin, N., Petersen, K., & Tanveer, 2016), una palabra ficticia (Elberzhager, F., Arif, T., Naab, M., Süß, I., & Sener, 2017), una filosofía (Benguria, G., Alonso, J., Etxaniz, I., Orue-Echevarria, L., & Escalante, 2018) y un neologismo (de França, B., Jeronimo, H., & Travassos, 2016). De lo anterior, se demuestra que existen múltiples interpretaciones de DevOps ya que es un tema de interés de la industria del software, pero relativamente nuevo.

### **3.2. Pregunta P2: ¿Qué tipo de soluciones han sido propuestas para la adopción de DevOps?**

El 83% del total de EP solo relatan las experiencias obtenidas al realizar adopciones parciales de DevOps en situaciones muy particulares, y de estos tan solo el 68% logran identificar beneficios y desafíos. El restante 17% del total de EP proponen soluciones concretas para guiar a las EMPSW en la adopción de DevOps.

También se logra identificar que el 56% del total de EP proponen un conjunto de los elementos de proceso que podrían ser tenidos en cuenta para la adopción de DevOps. Asimismo, el 39% de los EP mencionan las herramientas tecnológicas que podrían soportar las prácticas para adoptar DevOps. Es importante mencionar que la información detallada de los beneficios y desafíos que fueron identificados en la literatura analizada está disponible en (Guerrero, J; Certuche, C; Zúñiga, K & Pardo, 2019).

### **3.3. Pregunta P3: ¿Cuáles son los elementos de proceso que se han tenido en cuenta para aplicar DevOps?**

Se observa que el 61% (ver Tabla 5) de los EP proponen o insinúan elementos de proceso, los cuales fueron categorizados de acuerdo con los elementos de proceso propuestos en la Ontology of Process-reference Models - PrMO (Pardo, C., García, F., Piattini, M., Pino, F., & Baldassarre, 2014), esta ontología define conceptos y sus respectivas definiciones y relaciones para elementos de proceso como: proceso, actividad, productos de trabajo, papel o rol y herramienta. Debido a las limitaciones de espacio, los elementos del proceso identificados en los EP seleccionados, con su respectiva especificación de actividades y herramientas se encuentran detalladas en: <https://bit.ly/2VCTdyK>.

Se identificó que el 46% de EP seleccionados proponen procesos de soporte a DevOps, estos procesos se encuentran relacionados a: integración, entrega, supervisión y despliegue continuo, QA, proceso de configuración. Asimismo, el 38% de los estudios proponen actividades, el 8% productos de trabajo, el 38% roles, el 69% herramientas tecnológicas y el 31% proponen otros elementos, por ejemplo: áreas o dimensiones. Se debe tener en cuenta que un estudio puede proponer varios elementos de proceso y que estos pueden dar soporte a diferentes procesos.



### 3.4. Pregunta P4: ¿Qué herramientas tecnológicas son utilizadas para facilitar la adopción de DevOps?

Se identificaron 59 herramientas tecnológicas que dan soporte a los procesos que conlleva la adopción de DevOps; para clasificarlas se tomó como referencia el catálogo definido en (Ghantous, G., & Gill, 2017). La Tabla 6, muestra las áreas o procesos en las cuales fueron categorizadas las herramientas, el porcentaje de herramientas encontradas en cada área y los nombres de las herramientas.

#	Área/Proceso	%	Herramienta tecnológica
1	Gestión de control de fuente (Repositorio)	12	Github, Bitbucket, GitLab, Mercurial, Apache Subversion, SonarQube, Maven
2	Integración continua y orquestación	13	Codship, Travis CI, Jenkins, Atlassian bamboo, Circle CI, TeamCity, Rancher, Gitflow
3	IaaS/PaaS	2	Heroku
4	Infraestructura como código	2	Amazon cloudformation
5	Monitoreo	20	Nagios, New Relic, AWS CloudWatch, Apache Kafka, Zabbix, Splunk, AppDynamics, Bugzilla, Track & TesTtrack, MantisBT, Assembla, Kinesis
6	Gestión y manejos de bases de datos	7	MongoDB, DBMaestro, LiquiBase, RedGate
7	Registro/Seguridad	3	Loggly, Papertrail
8	Testing	8	Cucumber, Junit, Selenium, TestComplete, Jmeter
9	Colaboración	5	Slack, HipChat, PagerDuty
10	Containerization	8	Docker, Mercurial, Bitbucket, Rocker, Vagrant
11	Gestión de configuración	10	Docker, Puppet, Ansible, Cheff, Vagrant, SaltStack
12	Intercambio de conocimientos	5	Crowdbase, Nuclion, Confluence
13	Planificación	5	Clarizen, Confluence, Asana

Tabla 6 – Herramientas tecnológicas que soportan los procesos / áreas de DevOps.

### 3.5. Pregunta P5: ¿Qué beneficios y desafíos conlleva la adopción de DevOps?

Se observa que la adopción de DevOps en las EMPSW conlleva beneficios como: (i) time to market, (ii) cerrar la brecha entre Dev y Ops, (iii) calidad del producto y (iv) satisfacción mejorada del cliente. Además, se identificaron desafíos, entre ellos: (i) resistencia al cambio, (ii) falta de comprensión del significado de DevOps, (iii) falta de colaboración entre desarrollo y operaciones y (iv) cambiar la cultura de la empresa. El listado detallado de beneficios y desafíos se encuentra en (Guerrero, J; Certuche, C; Zúñiga, K & Pardo, 2019).



## 4. Análisis comparativo y discusión

A continuación, se presenta un análisis de los resultados, caracterización de otros mapeos sistemáticos en la misma área y limitaciones con el objetivo de identificar las mejoras que se puedan realizar sobre las propuestas encontradas.

### 4.1. Reflexiones

Se evidencia que DevOps hace referencia a un movimiento cultural que está relacionado con toda aquella sugerencia a nivel de tareas, actividades, artefactos, plantillas y roles. A partir del trabajo que antecede este artículo (Guerrero, J; Certuche, C; Zúñiga, K & Pardo, 2019) se propuso la siguiente definición de DevOps: *“es un neologismo que surge de la combinación de las palabras Desarrollo y Operaciones. Es un movimiento cultural que permite cubrir la brecha entre desarrolladores y el personal de operaciones. DevOps está relacionado con un conjunto de elementos de proceso que fomentan la colaboración y comunicación, la automatización, el QA y la integración, entrega y despliegue continuo”*.

Las practicas de integración continua, despliegue continuo y automatización de procesos, son las que mayor atención han recibido en gran parte de las propuestas de adopción de DevOps encontradas. Sin embargo, estas propuestas no tienen el nivel de detalle esperado, por lo que queda trabajo en la construcción de estándares para su apropiación contextualizada ya que esto impacta diferentes perspectivas como son la arquitectura, la cultura, las personas, los procesos y las herramientas.

Se ha podido observar que los elementos de proceso para soportar DevOps no están definidos claramente, algunos de ellos solo se identifican, pero no se describen de manera detallada, incluso, las definiciones de los elementos de proceso son ambiguas, y en la mayoría de los casos, incompletas. Los autores proponen actividades y/o tareas que conlleva la adopción de DevOps, pero no explican a detalle cómo implementarlas ni qué roles, habilidades blandas o duras son necesarias. En cuanto a los roles, solo se menciona que éstos deben tener conocimientos avanzados acerca de DevOps, sin embargo, no profundizan las responsabilidades que tienen asignadas, la etapa en la que participan, entre otros. También, fue posible evidenciar que los autores definen los elementos de proceso de acuerdo con su experiencia y no a un estándar o modelo. Además, en los estudios analizados no se evidenció un análisis detallado de las actividades específicas que se deben realizar en cada proceso al que da soporte DevOps.

### 4.2. Caracterización de revisiones sistemáticas existentes

Durante la realización del mapeo se identificaron 5 revisiones sistemáticas relacionadas al tema de DevOps. En la Tabla 7 se presenta una caracterización de dichos artículos con el fin de diferenciar el enfoque utilizado y la profundización en cada una de ellas. La caracterización utiliza los elementos sugeridos para la realización de revisiones sistemáticas (Petersen, K; Feldt, R; Mujtaba, S & Mattsson, 2008). En este sentido, se verificó que existieran los siguientes ítems (I): (I1) objetivos claros y preguntas de investigación, (I2) cadena y estrategia de búsqueda, (I3) criterios de selección, inclusión

y exclusión, (I4) criterios de evaluación de la calidad, (I5) estrategia de extracción de la información y métodos de síntesis, y finalmente, (I6) si había una discusión de los resultados por medio de resúmenes narrativos.

Referencia	Ítems de caracterización					
	I1	I2	I3	I4	I5	I6
(Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2017)	X				X	X
(Ghantous, G., & Gill, 2017)	X	X	X	X		X
(Erich, F., Amrit, C., & Daneva, 2014)	X	X	X		X	X
(Jabbari, R., Bin, N., Petersen, K., & Tanveer, 2016)	X	X	X		X	X
(de França, B., Jeronimo, H., & Travassos, 2016)	X	X	X			X

Tabla 7 – Caracterización de revisiones sistemáticas.

### 4.3. Limitaciones

Solo se usaron motores de búsqueda académicos. Se pudieron haber omitido estudios relevantes relacionados con DevOps que estuvieran escritos en un idioma diferente al inglés. Además, si bien este mapeo sistemático arrojó resultados relevantes, es necesario una versión posterior del mapeo aquí presentado.

### 4.4. Trascendencia del mapeo sistemático realizado

El presente trabajo tiene gran utilidad para los investigadores que estén planeando investigar sobre la adopción de DevOps en EMPSW, esto, debido a que es un campo en el que hay mucho interés, pero poco trabajo realizado. Los investigadores podrán definir procesos y/o procedimientos que permitan llevar a cabo la adopción, implementación y seguimiento de DevOps, o mejorar las prácticas actuales, de manera que se consoliden mejores prácticas de DevOps en las EMPSW. Finalmente, las EMPSW se verán beneficiadas por el avance de este campo, pues actualmente la implementación de DevOps se lleva a cabo de acuerdo con sus propios criterios sin tener claridad de las implicaciones del caso.

## 5. Framework para soportar la adopción de DevOps

Para abordar los problemas identificados en este trabajo, se está desarrollando un framework para facilitar la adopción de DevOps, que se compone de: (i) una ontología que permite entender y ordenar el conocimiento relacionado con los términos y relaciones involucrados en DevOps, (ii) un modelo de referencia que define un conjunto de elementos de proceso para tener en cuenta (actividades, roles, productos, herramientas) para la adopción de DevOps, (iii) un modelo de evaluación de la implementación de DevOps basado en el modelo de referencia definido, (iv) un proceso basado en el modelo de referencia y (v) una herramienta web de gestión a partir de los elementos mencionados anteriormente.

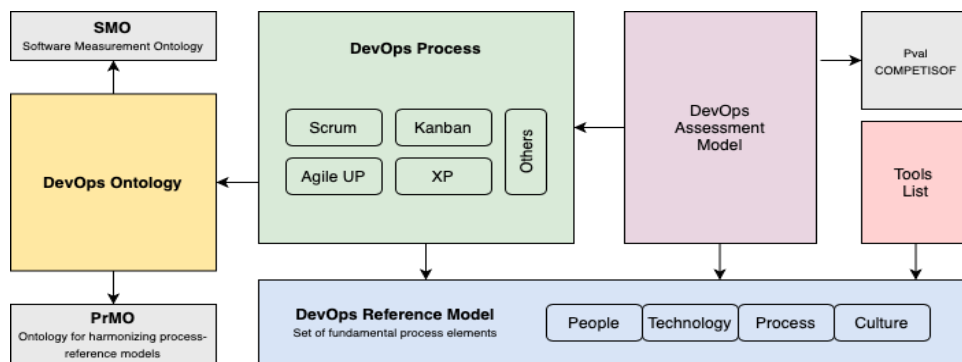


Figura 1 – Resumen de Framework propuesto.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

DevOps se ha convertido en la última década en un tema de creciente interés para las empresas de software. Como se pudo observar, no hay una definición común de lo que significa DevOps, en parte, porque se trata de un concepto relativamente nuevo. Asimismo, en la industria se evidencian algunos intentos de implementación de DevOps y la adopción de ciertas prácticas relacionadas.

Sin embargo, aunque hay coincidencia en algunos de los términos usados en cuanto a la adopción de DevOps, por ejemplo, en los nombres de las actividades propuestas, sigue habiendo heterogeneidad y, por consiguiente, ambigüedad en los términos, esto, debido a que cada autor abarca DevOps desde una perspectiva particular. Hasta el momento, no se evidencia la existencia de un estándar o guía que permita llevar a cabo el proceso de adopción y evaluación de DevOps. En este sentido, este estudio demuestra a partir de sus resultados la necesidad de construir una solución novedosa que facilite a las EMPSW la comprensión, adopción, implementación y evaluación de DevOps.

A partir de las deficiencias encontradas en esta corriente de investigación actual, se presentó un resumen de una propuesta de investigación que define un conjunto de elementos con los que se espera facilitar la implementación de DevOps.

## Referencias

- Benguria, G., Alonso, J., Etxaniz, I., Orue-Echevarria, L., & Escalante, M. (2018). Agile Development and Operation of Complex Systems in Multi-technology and Multi-company Environments: Following a DevOps Approach. *European Conference on Software Process Improvement EuroSPI 2018*, 15–27. Springer, Cham.
- Bucena, I., & Kirikova, M. (2017). Simplifying the DevOps Adoption Process. *BIR Workshops*.
- Chen, L. (2017). Continuous Delivery: Overcoming adoption challenges. *Journal of Systems and Software*, 128, 72–86.

- Cusick, J. (2019). A Survey of Maturity Models from Nolon to DevOps and Their Applications in Process Improvement.
- de França, B., Jeronimo, H., & Travassos, G. (2016). Characterizing DevOps by Hearing Multiple Voices. New York, NY: Association for Computing Machinery.
- Elberzhager, F., Arif, T., Naab, M., Süß, I., & Sener, K. (2017). From Agile Development to DevOps: Going Towards Faster Releases at High Quality – Experiences from an Industrial Context. In 9th International Conference, SWQD 2017. Vienna, Austria: Springer, Cham.
- Erich, F., Amrit, C., & Daneva, M. (2014). Report: DevOps Literature Review. <https://doi.org/10.13140/2.1.5125.1201>
- Erich, F., Amrit, C., & Daneva, M. (2017). A qualitative study of DevOps usage in practice. *Journal of Software: Evolution and Process*, 29, 1–25.
- Genero, M.; Cruz, L & Piattini, M. (2014). Métodos de investigación en ingeniería del software. Bogotá, DC: Grupo Editorial ra-ma.
- Ghantous, G., & Gill, A. (2017). DevOps: Concepts, Practices, Tools, Benefits and Challenges. PACIS 2017. Retrieved from <http://bit.ly/3bIJdvk>
- Guerrero, J; Certuche, C; Zúñiga, K & Pardo, C. (2019). What is there about DevOps? Preliminary Findings from a Systematic Mapping Study. JIISIC 2019. Guanacaste, Costa Rica.
- Gupta, V., Kapur, P., & Kumar, D. (2017). Modeling and measuring attributes influencing DevOps implementation in an enterprise using structural equation modeling. *Information and Software Technology*, 92, 75–91.
- Hemon, A., Lyonnet, B., Rowe, F., & Fitzgerald, B. (2019). From Agile to DevOps: Smart Skills and Collaborations. *Information Systems Frontiers*, 1–19.
- Jabbari, R., Bin, N., Petersen, K., & Tanveer, B. (2016). What is DevOps? PXP '16 Workshops: Scientific Workshop Proceedings of XP2016, 1–11. New York, NY, USA: ACM Press.
- Jones, S., Noppen, J & Lettice, F. (2016). Management challenges for DevOps adoption within UK SMEs. Proceedings of the 2nd International Workshop on Quality-Aware DevOps - 2016, 7–11. New York, NY, USA: ACM Press.
- Kamuto, M., & Langerman, J. (2017). Factors inhibiting the adoption of DevOps in large organisations: South African context. 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), 48–51. Bangalore: IEEE.
- Kitchenham, B. (2012). Systematic review in software engineering. Proceedings of the 2nd International Workshop on Evidential Assessment of Software Technologies - EAST '12, 1–2. New York, NY, USA: ACM Press.

- Klepper, S., Krusche, S., Peters, S., Bruegge, B., & Alperowitz, L. (2015). *Introducing Continuous Delivery of Mobile Apps in a Corporate Environment: A Case Study*. 015 IEEE/ACM 2nd International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering, 5–11. New York, NY, USA: IEEE.
- Krusche, S., Alperowitz, L., Bruegge, B., & Wagner, M. (2014). *Rugby: an agile process model based on continuous delivery*. RCoSE 2014 - Proceedings of the 1st International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering, 42–50. New York, NY, USA: ACM Press.
- Lees, K., Gardner, J., & Eaton, P. (2017). *VMware, DevOps and Agile Development*. Retrieved from <http://bit.ly/2URJmqp>
- Lwakatare, L., Kilamo, T., Karvonen, T., Sauvola, T., Heikkilä, V., Itkonen, J., ..., & Lassenius, C. (2019). *DevOps in practice: A multiple case study of five companies*. *Information and Software Technology*, 114, 217–230.
- Lwakatare, L., Kuvaja, P., & Oivo, M. (2015). *Dimensions of DevOps*. In & P. M. Lassenius C., Dingsøyr T. (Ed.), *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming* (pp. 212–217). Helsinki, Finland: Springer, Cham.
- Martins, M. (2018). *Devopsdays Organizing Guide*. Retrieved from <http://bit.ly/3bEPpVr>
- Nagarajan, A., & Overbeek, S. (2018). *A DevOps Implementation Framework for Large Agile-Based Financial Organizations*. In M. R. (eds) Panetto H., Debruyne C., Proper H., Ardagna C., Roman D. (Ed.), *On the Move to Meaningful Internet Systems. OTM 2018 Conferences* (pp. 172–188). Utrecht, Netherlands: Springer, Cham.
- Pardo, C., García, F., Piattini, M., Pino, F., & Baldassarre, M. (2014). *A Reference Ontology for Harmonizing Process-reference Models*. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 73, 29–42.
- Petersen, K; Feldt, R; Mujtaba, S & Mattsson, M. (2008). *Systematic mapping studies in software engineering*. EASE'08 Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 68–77. Swindon, UK: BCS Learning & Development Ltd.
- Riungu, L., Mäkinen, S., Lwakatare, L., Tiihonen, J., & Männistö, T. (2016). *DevOps Adoption Benefits and Challenges in Practice: A Case Study* (M. T. (eds) Abrahamsson P., Jedlitschka A., Nguyen Duc A., Felderer M., Amasaki S., Ed.). New York, New York, USA: Springer, Cham.
- Samarawickrama, S. S., & Perera, I. (2017). *Continuous scrum: A framework to enhance scrum with DevOps*. 2017 Seventeenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions, 1–7. New York, NY, USA: IEEE.
- Senapathi, M., Buchan, J., & Osman, H. (2018). *DevOps Capabilities, Practices, and Challenges*. *Proceedings of the 22nd International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering 2018 - EASE'18*, 57–67. New York, New York, USA: ACM Press.

- VersionOne, C. (2019). The 13th annual state of Agile Report. 1–15. Retrieved from <https://bit.ly/2VhkWoX>
- Virmani, M. (2015). Understanding Devops & Bridging The Gap From Continuous Integration To Continuous Delivery. Fifth International Conference on the Innovative Computing Technology (INTECH 2015). IEEE, 78–82. New York, NY, USA: IEEE.
- Wettinger, J., Breitenbücher, U., & Leymann, F. (2014). DevOpsSlang – Bridging the Gap between Development and Operations (& L. K. (eds) Villari, M., Zimmermann, W., Ed.). Berlin, Heidelberg: Springer.

# Uso de las tecnologías de información y comunicación en la escritura periodística y desarrollo del pensamiento crítico<sup>1</sup>

Solbey Morillo Puente<sup>1</sup>, Melissa Tobón Correa<sup>2</sup>, Ana María Cadavid Rojas<sup>3</sup>,  
Gustavo Alonso González Valencia<sup>4</sup>.

**smorillo@udem.edu.co, melyo530@hotmail.com, ancadavid@udem.edu.co,  
gustavoalonsogonzalez@yahoo.com**

<sup>1</sup> Universidad de Medellín, 050031, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Institución Educativa Colegio Loyola para la Ciencia y la Innovación, 050036, Medellín, Colombia.

<sup>3</sup> Universidad de Medellín, 051040, Copacabana, Colombia.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Barcelona, Sardañola del Vallés (Barcelona), España.

**Pages: 306–318**

**Resumen:** Se implementó el periodismo escolar con Tecnologías de Información y Comunicación para mejorar el pensamiento crítico en estudiantes de secundaria y se midió dicho pensamiento mediante un diseño cuasiexperimental pretest-postest y grupo control. Se emplearon TIC, ya que el trabajo de escritura y reescritura y también la consulta a fuentes fiables, elemento básico del pensamiento crítico, es más viable al usar tecnología. Se usaron bases de datos digitales y programas informáticos para la edición y diagramación del periódico, así como redes sociales para la interacción. El grupo experimental construyó periódicos escolares de manera colaborativa y el grupo control no; al comparar sus puntajes se encontró que quienes elaboraron periódicos usando TIC sextuplicaron al grupo control. Estas diferencias son estadísticamente significativas, por lo que hay evidencia empírica para afirmar que el uso de TIC favorece el desarrollo del pensamiento crítico ya que generan ambientes colaborativos que motivan a la escritura.

**Palabras-clave:** TIC; periodismo escolar digital; escritura con sentido sociocultural; pensamiento crítico.

## *Use of Information and Communication Technologies in journalistic writing and development of critical thinking*

**Abstract:** School journalism with Information and Communication Technologies was implemented to improve critical thinking in secondary school students; the critical thinking was measured using a pretest-posttest and control group quasi-

---

<sup>1</sup> Este artículo es producto del trabajo de grado de Melissa Tobón Correa en la Maestría en Educación de la Universidad de Medellín bajo la asesoría de Solbey Morillo y Ana María Cadavid.

experimental design. ICTs were used, since writing and rewriting work and also consulting reliable sources, a basic element of critical thinking, is more viable when using technology. Digital databases and computer programs were used for the edition and layout of the newspaper, as well as social media for interactions. The experimental group made school newspapers collaboratively and the control group did not; when comparing their scores, it was found that those who produced newspapers using ICTs increased their critical thinking score by six times compared with the control group. These differences are statistically significant, so there is empirical evidence to affirm that the use of ICT favors the development of critical thinking since they generate collaborative environments that motivate writing.

**Keywords:** ICT; digital school journalism; writing with sociocultural sense; critical thinking.

## 1. Introducción

El desarrollo del Pensamiento Crítico (PC) en los estudiantes se ha venido impulsando en Colombia en sus distintos niveles educativos, lo cual se aprecia en la política pública en educación, como la Ley General de Educación (Ley 115 de 1994), los Lineamientos Curriculares de Lengua Castellana (Ministerio de Educación Nacional, 1998) así como los Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje (Ministerio de Educación Nacional, 2006), los cuales plantean que en la educación obligatoria se debe formar a los estudiantes con capacidad para analizar y comprender la información, aspecto clave en la construcción de sus realidades. De igual modo, en el año 2019 se aprobó la Ley N° 1978 que establece en su Artículo 3° “Prioridad al acceso y uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones” (TIC). Es decir, desde el punto de vista legal, existen las condiciones para el uso de las TIC en el país, incluso en zonas rurales y apartadas.

Aunque la normativa establece que el desarrollo del PC es un objetivo prioritario, esto se ve dificultado porque en la práctica cotidiana la escuela está desvinculada de su contexto social, lo que lleva a generar crisis en la formación de estudiantes desde capacidades de agencia y participación. Partiendo de la premisa de que el PC supone la reflexión, pero también la acción, es evidente que la escuela aún no cumple con su mayor obligación que es el desarrollo de las dimensiones propias de este tipo de pensamiento, que implican brindar a los estudiantes la oportunidad de que vean más allá de lo obvio, argumentando, defendiendo lo justo y transformando sus cotidianidades. Aunado a lo anterior, se desaprovechan las potencialidades de las TIC en el ámbito educativo, pensándose dichas herramientas solo como posibilidades de equipamiento, pero no en su uso formativo del PC. Además, los planes de estudio no incorporan las TIC al aula de clase, a pesar de tener la dotación y la infraestructura para ello.

En esta investigación se optó por las prácticas de escritura con sentido sociocultural que favorecieran el desarrollo del PC, con el uso de TIC en la elaboración de un periódico digital de manera colaborativa, teniendo en cuenta que, como parte de su formación, los estudiantes deben elaborar textos en los que se puedan evidenciar sus posturas frente a lo que les acontece en el contexto social, de manera que puedan interrogar y repensar sus realidades. Aquí, las TIC juegan un rol fundamental, en el sentido de que facilitan la búsqueda de información fiable, la posibilidad de comparar fuentes, las potencialidades de edición de las herramientas digitales, entre otras. La propuesta planteó como objetivo



general: Determinar cómo el uso de las TIC en el periodismo escolar, como estrategia didáctica fundamentada en prácticas de escritura con sentido sociocultural, propicia el desarrollo del PC en estudiantes de noveno grado de una institución educativa oficial de Medellín, Colombia. Para ello, se evaluó el PC de los estudiantes, antes y después de la implementación de la estrategia didáctica; propósito que fue conseguido mediante un enfoque cuantitativo, con diseño cuasiexperimental pretest-postest y grupo control.

A modo de antecedentes, González (2013) señala que la prensa, en el contexto de la escuela, promueve prácticas centradas en la libre expresión y la construcción colectiva de conocimientos. Retoma los postulados de Freinet para afirmar que la prensa escolar defiende ideales democráticos, desde prácticas de lectura y escritura con sentido crítico. Por otra parte, Márquez Choque & Carrión Rueda (2018), emplearon TIC en el periodismo escolar para mejorar la producción de textos escritos de tipo narrativo, descriptivo e instructivo. Asimismo, Martín Herrera (2017) indagó el rol de la prensa digital en la educación y encontró que los docentes indican que están moderadamente preparados para realizarla; agregan que los profesores de primaria obtuvieron los puntajes más bajos en competencias tecnológicas.

Con respecto a las TIC, Anaya Avila & Torres Velandia (2017) indican que aun cuando carecen de infraestructura tecnológica (equipos y software) para hacer las materias prácticas, se prepara a los estudiantes de comunicación para que busquen información, confirmen fuentes, entre otros como elementos básicos del PC. Concluyen que los comunicadores deben asumir las nuevas formas de transmitir la información y adaptarse a las TIC.

En lo concerniente a las prácticas de escritura con sentido sociocultural, Guzmán y Rojas (2012) señalan que las habilidades de escritura pueden ser potenciadas desde prácticas colectivas, precisamente porque atienden a la interacción entre el individuo y su comunidad. Afirman, desde la investigación que realizaron con niños, que la escritura es un proceso social y cultural, no mecánico.

Con respecto al PC, González Valencia & Morillo Puente (2018) indican que las representaciones sociales de los futuros maestros giran en torno a tres ejes: los procesos o habilidades cognitivas asociados a este tipo de pensamiento, la influencia que tiene el profesorado en su desarrollo y que los estudiantes no pueden desarrollar este pensamiento de manera autónoma. Por otra parte, Villalobos Delgado, Ávila Palet & Olivares (2016) midieron dicho pensamiento y encontraron que mediante el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es posible potenciar habilidades como la búsqueda de información, la integración, aplicación y generación de nuevos conocimientos, el razonamiento lógico, el autoaprendizaje, la argumentación, el trabajo en equipo y el aprendizaje significativo. De manera similar, usando esta metodología del ABP, pero con estudiantes de educación superior, Olivares Olivares & Heredia Escorza (2012) compararon los niveles de PC de dos grupos de estudiantes, en el primero, los integrantes fueron formados con ABP, mientras que el segundo grupo no estuvo expuesto a esta propuesta didáctica. Los hallazgos muestran la existencia de mejores niveles de PC y un mayor balance en el desarrollo de un pensamiento inductivo y deductivo en los estudiantes tratados con ABP.

También Frazer, Higginbotham & Funston (2020) afirman que lograron estimular el PC en estudiantes mediante el diseño, realización y análisis de un experimento de

laboratorio de física, dado que los datos de naturaleza estocástica requieren que se hagan juicios durante la medición y el análisis. En ese mismo orden de ideas, Holmes, Wieman & Bonn y (2015) expresan que la práctica repetida en la toma de decisiones basadas en datos es clave en el desarrollo del PC, con retroalimentación sobre esas decisiones.

El pensamiento crítico ha sido muy estudiado en enfermeras; así, Becerril et al. (2014) encontraron que las principales habilidades de PC en estas profesionales son análisis, implementación de estándares, discernimiento, investigación, pensamiento lógico, predicción de conocimiento y transformación. De igual modo, Pucko & Przybek-Mita (2020) consideran que el proceso educativo no solo debe tener como meta la transmisión de conocimientos, sino que también debe estimular la autoeducación, preparar para actividades comparativas y de aplicación, así como educar hábitos de pensamiento específicos llamados PC, que por su naturaleza se oponen a la rutina, el esquematismo o la imitación. Agregan que el PC permite definir problemas en una realidad que cambia rápidamente y encontrar la manera óptima de resolverlos y por ello, el PC debería ser uno de los principales objetivos de la educación en todos los niveles. Asimismo, Lee, Abdullah, Chinna, Subramanian & Bachmann (2020) hallaron que las enfermeras no pudieron demostrar habilidades de PC y sugieren que es necesario abordar el plan de estudios y reforzar las habilidades de PC en la fuerza laboral de enfermería.

Ahora bien, Lara & Rodríguez (2016) diagnosticaron en los estudiantes habilidades del PC como la interpretación, el análisis y la explicación y aplicaron estrategias didácticas relacionadas con situaciones cotidianas, encontrando una mejoría en este tipo de pensamiento. Concluyen que el PC es una competencia básica que debe ser fomentada desde la escuela para que los estudiantes puedan resolver problemas y comprender las condiciones socioculturales de un mundo en permanente cambio.

Moreno & Velázquez (2017) presentan una estrategia didáctica para el desarrollo del PC en estudiantes de secundaria, basada en la motivación, la colaboración y la reflexión. Afirman que se pueden fortalecer las habilidades críticas a través del reconocimiento y análisis de los problemas que afectan a la comunidad. Concluyen que el PC es un proceso cognitivo complejo que solo se puede dar desde la formación integral y sensible de los sujetos involucrados. Por último, las reflexiones de Calle (2012) alrededor del PC señalan que es responsabilidad del sistema educativo la formación de pensadores críticos, lo cual involucra el desarrollo de habilidades en beneficio de los procesos sociales, la toma de decisiones y la resolución de conflictos.

## **2. Marco conceptual**

### **2.1. Pensamiento crítico**

El pensamiento crítico “se caracteriza por ser una forma alternativa al pensamiento habitual [...] no funciona primariamente sobre la base de los automatismos adquiridos, sino que es un pensamiento de carácter reflexivo e intencionado” (Valenzuela & Nieto, 2008, pp. 4-5). En palabras de Telenta (2018) el PC es el proceso de analizar y evaluar el pensamiento para mejorarlo. Agrega, que un pensador crítico debidamente capacitado puede “identificar problemas y formular preguntas vitales, con claridad y precisión; podrá acumular y evaluar información relevante y utilizar ideas abstractas para

interpretar la información recibida que no aceptará como un hecho y la cuestionará de manera eficiente y operativa” (p. 53). También podrá llegar a conclusiones y soluciones, probándolas con criterios y estándares relevantes. Este tipo de pensador enfrentará situaciones con una mente abierta, podrá reconocer y evaluar aquellos supuestos, implicaciones y consecuencias prácticas que pueden surgir al pensar en soluciones a problemas complejos, y a la vez, encontrará la forma de comunicarlos. En síntesis, el pensador crítico ideal es:

una persona que es habitualmente inquisitiva; bien informada; que confía en la razón; de mente abierta; flexible; justa cuando se trata de evaluar; honesta cuando confronta sus sesgos personales; prudente al emitir juicios; dispuesta a reconsiderar y si es necesario a retractarse; clara con respecto a los problemas o las situaciones que requieren la emisión de un juicio; ordenada cuando se enfrenta a situaciones complejas; diligente en la búsqueda de información relevante; razonable en la selección de criterios; enfocado en preguntar, indagar, investigar; persistente en la búsqueda de resultados tan precisos como las circunstancias y el problema o la situación lo permitan. (Facione, 2007, p. 21)

## **2.2. Elementos y rasgos constitutivos del pensamiento crítico**

Para Boisvert (2004) pensar de forma eficiente es equivalente a pensar de forma crítica, por lo tanto, considerar las distintas posibilidades que ofrece cada situación, aportar pruebas que ponen en duda las decisiones tomadas por la mayoría de los individuos y, también, actuar ante situaciones problemáticas, constituyen rasgos predominantes en este tipo de pensamiento. Vale la pena destacar, además, que la autocrítica se erige como elemento caracterizador.

No se distancian DeVito & Tremblay (1993, citados en Boisvert, 2004) al señalar que, en efecto, el PC se puede verificar cuando se delimitan problemas con precisión, se ordenan y se expresan ideas de forma coherente, y se obtienen y se evalúan conclusiones. En aras de apoyar lo anterior, resulta conveniente retomar los aportes de Ennis (1962) quien señala: “El pensamiento crítico son las habilidades utilizadas en la evaluación intencional de afirmaciones” (p. 10). La concepción de dicho autor es que este tipo de pensamiento es razonado y reflexivo, en tanto se orienta a las decisiones que toma el sujeto con respecto a qué creer o hacer. Señala que el PC comprende tanto capacidades (habilidades) como actitudes (disposiciones). La lista de capacidades de Ennis (1987, citado en Boisvert) incluye el análisis y la presentación de argumentos, la formulación y la resolución de proposiciones, la aclaración y la réplica, la evaluación de la credibilidad de las fuentes y el reconocimiento de suposiciones. Lipman (1997) subraya cuatro elementos fundamentales que definen el PC: primero, los juicios, que deben tener como principal origen el razonamiento; segundo, los criterios, que son las razones que tienen como propósito establecer la objetividad de los juicios; tercero, la capacidad de corregir los pensamientos al detectar argumentos débiles que deban ser rectificadas; y por último, la sensibilidad frente al contexto, lo que implica tener en cuenta las circunstancias particulares a la luz de los discursos locales y globales.

## **2.3. Periodismo escolar y TIC**

Blasi (1966) plantea que el periodismo en la escuela tiene una proyección amplia al ser empleado como una estrategia didáctica basada en el periodismo en la educación. El

periodismo escolar convierte al estudiante en periodista, en tanto que “su finalidad no es la información de acontecimientos cotidianos, sino la formación del niño [o joven] para la comunidad” (p. 25). Dicho autor indica que, entre los fines de esta estrategia, se encuentra la oportunidad de que los estudiantes asuman responsabilidades individuales y, también, conjuntas. Este elemento resulta fundamental si se tiene en cuenta que “para formar jóvenes en responsabilidad social, espíritu crítico y verdadero sentir democrático, es necesario educarlos en el lenguaje [...] El periódico, como medio de comunicación completo, se presenta como una posibilidad para acceder al mundo real” (Dalmau, 2014, p. 15).

Por su parte, las TIC tienen la posibilidad de potenciar el periodismo escolar, mediante el uso estratégico de las herramientas digitales que involucran desde la búsqueda de información fiable hasta la edición y presentación de los periódicos. En este sentido, en esta investigación se propició que los estudiantes privilegiaran la consulta de sitios con información cuyas fuentes sean fiables, entre ellas, Google Académico, Scielo, Redalyc, Dialnet, World Wide Science, Springer Link, entre otros. También se insistió en la necesidad de comparar diversas fuentes y no basarse en una información única. Se logró que abandonaran la práctica frecuente de consultar sitios como “Wikipedia”, “Buenas tareas” o “El rincón del vago”, al descubrir que gran parte de la información allí almacenada no es confiable. Otro uso de las TIC en el periodismo escolar es la edición de textos. Los estudiantes iniciaron sus periódicos con diagramación manual y luego fueron incorporando herramientas de edición con procesador de texto, editor de imágenes, hojas de cálculo, entre otros, que facilitaron el trabajo del periódico y dieron lugar a nuevas habilidades con el uso de dichas herramientas.

### 3. Metodología

El enfoque de la investigación es cuantitativo, cuyo objetivo era determinar cómo el uso de las TIC en el periodismo escolar propicia el desarrollo del PC en estudiantes de la secundaria. Así, se estudió la influencia de la variable independiente (TIC en el periodismo escolar como estrategia didáctica fundamentada en prácticas de escritura con sentido sociocultural) en el PC; se empleó un diseño cuasi-experimental, con medición pretest-postest y grupo control. Se midió el PC con un instrumento ad hoc que contenía 37 ítems con situaciones hipotéticas de la vida cotidiana escolar, basadas en las dimensiones de PC según los planteamientos teóricos, con tres alternativas de respuesta que correspondían a distintos niveles de PC (nulos, intermedios o altos). Se eligieron cinco expertos y se les pidió que evaluaran cada ítem según su pertinencia, pertenencia al universo teórico, relevancia y redacción. A partir de sus valoraciones, se calculó el Coeficiente de Validez de Contenido (Hernández, 2002), cuyo resultado indica que el instrumento es válido (Pedrosa, Suárez-Álvarez & García-Cueto, 2013). De acuerdo con la respuesta elegida en cada situación planteada, se asignaba un puntaje de 0, 1 o 2 puntos. El puntaje de PC es la sumatoria de las respuestas a todos los ítems, por lo que su fluctuación teórica estaba entre 0 y 74 puntos; mayores puntajes indicaban un mayor PC.

La población estuvo constituida por 64 estudiantes de noveno grado, divididos en dos grupos de 32 estudiantes cada uno, con edades entre 13 y 18 años y la mayoría del sexo femenino (59.4%). Se eligió al azar el grupo experimental que realizaría periódicos

escolares basado en prácticas de escritura con sentido sociocultural de manera colaborativa y usando TIC. Se aplicó a ambos grupos el instrumento de PC al inicio de la investigación (pretest), luego se aplicó la estrategia al grupo experimental (postest) y nuevamente se midió el PC en todos los estudiantes (postest). En esta fase, se calculó la confiabilidad del instrumento y se obtuvo que es confiable, es decir, mide de manera consistente el PC (Alfa de Cronbach = 0.835).

Los resultados se analizaron descriptivamente mediante promedios y desviación típica; a nivel inferencial, se empleó la prueba t de Student de comparación de medias para grupos independientes, con el fin de verificar que los grupos eran equivalentes en sus puntajes de PC al inicio de la investigación. Se calcularon las diferencias entre los puntajes del postest y del pretest y se compararon los promedios de dichas diferencias a través del Análisis de Varianza (Anova) Unifactorial de Efectos Fijos. Se usó un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ .

La estrategia didáctica aplicada al grupo experimental consistió en 22 sesiones con una frecuencia de dos veces semanales durante las clases de Humanidades y Lengua Castellana. El grupo control por su parte, recibió sus clases de esta área, pero no realizó periódicos escolares. Los estudiantes del grupo experimental construyeron periódicos escolares, en equipos de cinco integrantes de manera colaborativa, desarrollaron cinco ejes temáticos y emplearon TIC para buscar información, diagramarla, compartirla. Los estudiantes del grupo experimental construyeron periódicos escolares de manera colaborativa, es decir, en equipos de cinco integrantes. Para cada uno de los ejes temáticos que conformaron la estrategia didáctica se emplearon TIC para buscar información, diagramarla, compartirla, y sus títulos son:

- Preámbulo: Periodistas en la escuela: el periódico y sus tipologías textuales
- Eje temático 1: Conflicto y paz en Colombia: cimientos para la memoria
- Eje temático 2: Género y diversidad sexual: en defensa de la equidad
- Eje temático 3: Tecnología y dependencia: liquidez contemporánea
- Eje temático 4: Medio ambiente y crisis planetaria: el mundo se desangra
- Eje temático 5: Esperanza: imaginar mundos posibles y transformar
- Clausura: Periodistas en la escuela: edición y publicación del periódico

#### 4. Resultados

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los puntajes de PC pretest - postest, del grupo control y experimental y la comparación de medias de PC pretest, que se realizó con el fin de corroborar si los grupos eran estadísticamente diferentes antes de la implementación de la estrategia didáctica. Se puede observar que las medias de ambos grupos son similares y que el valor de probabilidad asociado al estadístico es mayor que el nivel de significación de la investigación; por tanto, se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas en los promedios de PC pretest de ambos grupos. Esta verificación se hizo para asegurar que, si se encontrasen diferencias en el PC de los estudiantes del grupo experimental después de la implementación de la estrategia didáctica, estas no se debieron a que los grupos fuesen inicialmente diferentes, sino al uso de TIC en el periódico escolar.

Grupo	Media	Desviación típica	Diferencia de medias	Prueba t	P
<i>Control</i>	54.78	7.74	0.53	0.27	0.78
<i>Experimental</i>	54.25	7.91			
<i>Total</i>	54.51	7.77			

Fuente: documento de resultados del SPSS.

Tabla 1 – Comparación de medias de pensamiento crítico pretest. Estudiantes de noveno grado. Medellín, Colombia, 2019.

Se computó la diferencia entre el puntaje postest y pretest (Tabla 2), con el fin de determinar si el uso de las TIC en el periodismo escolar propicia el PC en estudiantes de secundaria. Los resultados muestran que, tanto en el grupo control como en el grupo experimental, se produjo un incremento del puntaje de PC en el postest, dado que ambos promedios son positivos. El grupo experimental, sin embargo, fue el que exhibió el mayor aumento del puntaje postest ( $6.22 \pm 8.28$  puntos) al sextuplicar al grupo control ( $0.94 \pm 2.57$  puntos) que obtuvo menos de un punto de incremento. En virtud de que el grupo experimental registró un promedio de la diferencia pretest - postest mayor que el del grupo control, se compararon dichos promedios y se sometió a contraste la hipótesis nula de igualdad de medias ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ;  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ).

Se rechazó la hipótesis nula y se concluye que sí hay diferencias estadísticamente significativas en la diferencia promedio entre el puntaje de PC pretest y postest del grupo control y del grupo experimental. En síntesis, los resultados aportan suficiente evidencia para concluir que el uso de TIC en el periodismo escolar sí ejerció influencia estadísticamente significativa en el puntaje de PC de los estudiantes. Las diferencias observadas en las medias muestrales en las cuales el grupo experimental revela mayor aumento del puntaje de PC postest son producto del uso de TIC ( $F = 11.868$ ;  $gl = 1, 62$ ;  $p = 0.001$ ).

Grupo	Diferencia de medias pretest postest	Desviación típica	Prueba F	p
<i>Control</i>	0.94	2.57	11.868	0.001 **
<i>Experimental</i>	6.22	8.28		
<i>Total</i>	3.58	6.64		

\*\* Significativo  $\alpha = 0.01$

Fuente: documento de resultados del SPSS.

Tabla 2 – Comparación de medias de la diferencia promedio de pensamiento crítico pretest - postest. Estudiantes de noveno grado. Medellín, Colombia, 2019.

Además del análisis cuantitativo aquí expuesto, es oportuno mencionar algunos elementos cualitativos que le otorgan un valor adicional a la investigación, como es la información que fue registrada en el diario de campo de la docente investigadora con respecto a las actitudes de los estudiantes durante el desarrollo de la intervención



didáctica. El grupo experimental de mostró interés en las actividades desarrolladas durante la implementación de la estrategia didáctica, se identificó e implicó con las temáticas para el periódico y participó activamente en la elección de las mismas. Es importante destacar que la elaboración del periódico empleando las TIC favoreció en los estudiantes su disposición ante cada uno de los momentos desarrollados.

Durante la sensibilización frente a los temas tratados, los estudiantes pudieron acercarse a través del hipertexto a distintos elementos de información, tales como caricaturas, noticias, videos entre otros, lo cual propició el interés, el diálogo, el debate y el trabajo colaborativo. En este sentido, los estudiantes pudieron vivenciar el carácter fundamental de las TIC en el acceso a la información, en la construcción y en la democratización del conocimiento, lo cual se hizo evidente cuando pudieron hallar, desde su curiosidad y sus búsquedas, distintos artículos, libros, imágenes, videos y material multimedia; todo ello para ampliar sus miradas, análisis y comprensiones frente al conocimiento y frente al mundo.

#### **4. Conclusiones**

Los resultados muestran que el uso de TIC en la estrategia didáctica del periodismo escolar fundamentado en prácticas de escritura con sentido sociocultural (tratamiento experimental) produjo un claro aumento en los puntajes de pensamiento crítico en estudiantes de noveno grado en una institución educativa oficial de Medellín (Colombia). Aunque en el postest los estudiantes periodistas digitales sextuplicaron sus puntajes en comparación con el grupo control, es necesario aclarar que el PC es un proceso analítico, por tanto, los cambios observados no se pueden atribuir exclusivamente a las TIC en la elaboración del periódico escolar. Por el contrario, se reconoce que las TIC son herramientas que permiten el trabajo colaborativo y la creación de entornos que facilitan la interacción y el trabajo propio de la escritura con sentido sociocultural. No se puede obviar que estos estudiantes, en tanto nativos digitales (Prensky, 2011), reconocen la tecnología como parte de su entorno dado que conviven con ella, lo que hace que la asuman como algo cotidiano o muy cercano. Sin embargo, Vásquez (2019) señala que “no solo por estar en contacto con las tecnologías, los nativos digitales adquieren habilidades particulares” (p. 130), en este caso se debe reconocer que, aunque son nativos digitales, subutilizan la tecnología porque no han desarrollado pensamiento crítico.

En la investigación se pudo identificar en los estudiantes del grupo experimental las habilidades de un pensador crítico, ya que en su trabajo en el periódico escolar con el uso de TIC lograron identificar como problemas las situaciones planteadas en los ejes temáticos; a la vez, se cuestionaron de manera clara y precisa los aspectos relativos a cada tema. También, se hace evidente el desarrollo del PC cuando al usar las bases de datos y contrastar con las fuentes que solían usar con frecuencia, evaluaron cuál era la información fiable que debían emplear para redactar textos que correspondían a diferentes tipologías textuales. Uno de los cambios más notorios fue que los estudiantes, posterior a la estrategia didáctica, ya no aceptaban la información recibida sin antes cuestionarla, discutirla, analizarla y llegar a un consenso entre todos los integrantes del grupo, aspectos que Telenta (2018) y Massip, Castellví y González (2020) destacan como relevantes en un pensador crítico. En todos estos cambios, la participación de la docente investigadora fue clave, pues asumió el rol de mediadora en el proceso, trascendiendo

la postura tradicional del maestro, lo cual también implicó una resignificación de su práctica docente.

Resulta conveniente señalar que los estudiantes durante la lectura y escritura pudieron inmiscuirse en distintas herramientas que les permitieron hacer consciente el acto de “navegar en la web”. Al convertirse en periodistas digitales, develaron la importancia de saber usar los diferentes programas y recursos tecnológicos, además de verificar, releer y reescribir la información destinada a ser consumida o compartida con otros, admitiendo la importancia del rigor y el compromiso ético frente a los medios masivos de comunicación.

En este orden de ideas, se puede afirmar que el ejercicio periodístico en la escuela, en conexión con el uso de las nuevas tecnologías, abre un abanico de posibilidades alrededor de los procesos de socialización. El periódico escolar, entonces, logró traspasar los límites del muro y del papel, para convertirse en un mediador de los procesos de enseñanza y aprendizaje en el aula de clase, en pro del ejercicio correspondiente a la construcción de la opinión, la creatividad en la divulgación de las ideas, en otras palabras, en la alfabetización digital.

Diversos estudios coinciden en que el periodismo escolar es viable desarrollarlo como parte de los procesos cotidianos en el contexto de la escuela, ya que los estudiantes pueden representar y resignificar dichos procesos por medio de producciones textuales como la narración y la ilustración, lo que permite analizar la producción textual más allá del código alfabético (Ramos, 2012). Es importante destacar, por tanto, la función social de la escritura que fue la idea subyacente en la estrategia del periodismo escolar con el uso de las TIC.

En esta investigación se propició el trabajo colaborativo para la elaboración de periódicos usando TIC con la finalidad de mejorar el PC. Uno de los aspectos a resaltar es haber logrado que los estudiantes se convencieran de que antes de escribir es indispensable leer, tal como lo sostiene Carrizo (2015) quien considera que el periódico escolar permite formar jóvenes que entienden que, para escribir, también es necesario leer. Todo ello requiere la búsqueda de información fiable, la comparación de diversas fuentes y asumir una postura frente a esos escritos, que son elementos del PC y para lo cual las TIC fueron fundamentales.

## Referencias

- Anaya Avila, M. & Torres Velandia, S. (2017). Percepciones y necesidades sobre las TIC en el campo del periodismo. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8 (15), 1-27. DOI: 10.23913/ride.v8i15.319. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/ride/v8n15/2007-7467-ride-8-15-00753.pdf>
- Becerril, L., Gomez, M., Püschel, V., Fierros, G., Porrás, M. & Isaacs, L. (2014). *Teaching and learning reflexive and critical thinking in nursing students in Latin America*. Mexico: Cigome.
- Blasi, A. (1966). Periodismo escolar. *El Monitor de la Educación Común*, (940), 22- 32.



- Boisvert, J. (2004). *La formación del pensamiento crítico* (R. Rubio, trad.). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Calle, G. (2012). *Las habilidades del pensamiento crítico asociadas a la escritura digital en ambientes de aprendizaje apoyados por herramientas de la web 2.0*. (Tesis de maestría). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Carrizo, E. (2015). *Prácticas discursivas desarrolladas por estudiantes mediante el ejercicio del periodismo escolar en la "U. E. N. Batalla de Vigirima"*. (Tesis de maestría). Valencia: Universidad de Carabobo.
- Dalmau, E. (2014). *Utilización de la prensa como recurso didáctico para el aprendizaje de la Historia en 4º de ESO. Una propuesta práctica*. (Tesis de maestría). Rioja: Universidad Internacional de La Rioja.
- Ennis, R. (1962). Concept of critical thinking. *Harvard Educational Review*, 32, (1), 81-111. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EDO21832>. Consultado el: 5 de mayo. 2017
- Espinoza, A. (2014). La escritura como herramienta de inserción social. *Revista Atenas*, 1 (25), 28- 45.
- Facione, P. (2007). *Pensamiento crítico: ¿qué es y por qué es importante?* Recuperado de <http://eduteka.icesi.edu.co/pdfdir/PensamientoCriticoFacione.pdf> (consultado: 3 de agosto de 2019).
- Frazer, L., Higginbotham, H. & Funston, A. (2020) "It's fundamental": Quantum dot blinking experiment to teach critical thinking. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 244-252.
- González, J. (2013). Célestin Freinet, la escritura en libertad y el periódico escolar: un modelo de innovación educativa en la primera mitad del Siglo 20. *Revista História da Educação*, 17(40), 11- 26.
- González Valencia, G. & Morillo Puente, S. (2018). Enseñanza de las ciencias sociales y desarrollo del pensamiento crítico en maestros en formación. *Revista Brasileira de Educação*, 23, 1- 25. DOI: 10.1590/s1413-24782018230086
- Guzmán, K. y Rojas, S. (2012). Escritura colaborativa en alumnos de primaria. Un modo social de aprender juntos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17, (52) 217- 245.
- Hernández, R. (2002). *Contributions to statistical analysis*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Holmes, N., Wieman, C. & Bonn, D. (2015). Teaching critical thinking. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(36), 11199-11204
- Lara, J. M. & Rodríguez, E. (2016). Fomento del desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de grado décimo desde situaciones cotidianas en la asignatura de Filosofía. *Revista Educación y Humanismo*, 18 (31), 343- 357.

- Lee, D., Abdullah, K., Chinna, K., Subramanian, P. & Bachmann, R. (2020). Critical thinking skills of RNs: Exploring demographic determinants. *Journal of Continuing Education in Nursing*, 51 (3), 109-117. DOI: 10.3928/00220124-20200216-05
- Ley 115 de 1994. *Ley General de Educación*. Diario Oficial 41.214 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 8 de febrero de 1994. Recuperado de: [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906_archivo_pdf.pdf)
- Ley N° 1978. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 25 de julio de 2019. Recuperado de [https://micrositios.mintic.gov.co/ley\\_tic/pdf/ley\\_tic\\_1978.pdf](https://micrositios.mintic.gov.co/ley_tic/pdf/ley_tic_1978.pdf)
- Lipman, M. (1997). *Pensamiento complejo y educación*. Madrid: Ediciones de La Torre.
- Martín Herrera, I. (2017). Relaciones entre la prensa digital y los centros escolares de Educación Obligatoria. *EDMETIC Revista de Educación Mediática y TIC*, 6(2), 105-128, DOI: <http://doi.org/10.21071/edmetic.v6i2.6875>
- Márquez Choque, S. & Carrión Rueda, C. (2018). *Usamos las TIC en la producción de textos de los estudiantes del V Ciclo de la IE No. 50056 Tupac Amará II de Pomacanchi*. (Trabajo de especialización). Lima: Universidad Antonio Ruiz de Montoya
- Massip, M., Castellví, J. & González, G. (2020). Entre la emoción y el pensamiento crítico: un estudio con profesorado de ciencias sociales en formación. En Díez, E., y Rodríguez, J. *Educación para el Bien Común*. (pp. 535-543) Barcelona: Octaedro. Publisher: Octaedro.
- Ministerio de Educación Nacional (1998). *Lineamientos Curriculares de Lengua Castellana*. Bogotá: MEN.
- Ministerio de Educación Nacional (2006). *Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje*. Bogotá: MEN.
- Moreno, W. E. & Velázquez, M. E. (2017). Estrategia didáctica para desarrollar el pensamiento crítico. *REICE*, 15 (2), 53- 73.
- Olivares Olivares, S. & Heredia Escorza, Y. (2012). Desarrollo del pensamiento crítico en ambientes de aprendizaje basado en problemas en estudiantes de educación superior. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17 (54), 759-778.
- Pedrosa, I., Suárez-Álvarez, J. & García-Cueto, E. (2013). Evidencias sobre la validez de contenido: Avances teóricos y métodos para su estimación. *Acción Psicológica*, 10(2), 3-18. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.5944/ap.10.2.11820>
- Pucko, Z. & Przybek-Mita, J. (2020). Critical thinking as an indispensable component of the Polish nurses' education process and a necessary condition for the development of nursing. *Pielęgniarstwo XXI Wieku*, 18(3), 142-146.
- Ramos, N. (2012). Niños redactores e ilustradores de periódicos. Un acercamiento a las producciones escolares en la escuela nuevoleonense posrevolucionaria. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, 33(132), 53-93.

- Telenta, G. (2018). *The gap between the peruvian english teacher and the education of the 21st century*. (Tesis de maestría). Piura, Perú: Universidad de Piura
- Valenzuela, J. & Nieto, A. (2008). Motivación y pensamiento crítico: aportes para el estudio de esta relación. *Revista Electrónica de Motivación y Emoción*, 11(28), 1- 8.
- Vásquez, D. (2019). Nativos digitales: Aportes para problematizar el concepto. *Revista de Educación, Año X* (16), 127-135.
- Villalobos Delgado, V., Ávila Palet, J. & Olivares O., S. (2016). Aprendizaje basado en problemas en química y el pensamiento crítico en secundaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 21(69), 557-581

# Servicios de apoyo bibliotecarios a la docencia universitaria pública acreditada en Ecuador

Viena Muirragui-Irrazábal<sup>1</sup>, Carina Rey-Martin<sup>2</sup>, Enric Camón-Luis<sup>3</sup>, Edwin León-Plúas<sup>1</sup>

**vmuirragui@unemi.edu.ec, carina.rey@ub.edu, enric.camon@gmail.com, eleonp@unemi.edu.ec**

<sup>1</sup> Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

<sup>3</sup> Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, España.

**Pages: 319–331**

**Resumen:** El presente trabajo aborda la función de apoyo a la docencia en las bibliotecas universitarias de la Zona 5 de Ecuador. La importancia del estudio radica en destacar el rol que cumplen las bibliotecas como base institucional de las universidades en Ecuador, y facilitar la comunicación constante, permitiendo vincular a los profesores y sus actividades académicas, con el apoyo de servicios bibliotecarios que respondan a sus necesidades. De aquí que, los objetivos se encuentran enfocados en conocer los servicios ofrecidos en las bibliotecas españolas adscritas a REBIUN para el apoyo a la docencia, como referencia, identificar las necesidades de información de los profesores de las universidades públicas de la Zona para llevar a cabo sus actividades docentes y cuáles son los servicios de apoyo a la docencia que se ofrecen en las mismas. Los resultados apuntan a la necesidad de diseñar o crear un catálogo que pudiera ser implementado para apoyar una expedita labor docente.

**Palabras-clave:** bibliotecas universitarias; recursos; apoyo; docencia.

## ***Library support services for accredited public university teaching in Ecuador***

**Abstract:** The present work addresses the function of supporting teaching in the university libraries in Zone 5 of Ecuador. The importance of the study is to highlight the role that fulfills the libraries as an institutional base for universities in Ecuador, and to facilitate constant communication, allowing them to link teachers and academic activities, with the support of library services that respond to their needs. Hence, the objectives are focused on finding the services offered in Spanish libraries assigned to REBIUN to support teaching, as a reference, to identify the information needs of teachers in the public universities in the Zone to carry out their teaching activities and the services they provide to support the teaching offered by the teachers. The results add to the need to design a catalog that could be implemented to support an expeditious teaching work.

**Keywords:** university libraries; resources; support; teaching.

## 1. Introducción

La investigación que se presenta, tiene como punto de partida identificar los servicios de apoyo a la docencia ofrecidos por las bibliotecas universitarias españolas, ya que las mismas tienen escenarios importantes que evidencian el rol que desempeñan con relación a las funciones propias de la universidad. Este elemento esencial forma parte del trabajo realizado para iniciar esa experiencia en Ecuador, con igual interés, abordando las necesidades que los profesores de la Zona 5 tienen en el momento de acceder a la información, para que los directores bibliotecarios de las universidades ecuatorianas dispongan de elementos para identificar los servicios que pueden ofrecer ofrezcan para apoyar a sus profesores.

Para el caso de Ecuador, con relación a las universidades públicas acreditadas de la Zona 5, la investigación toma como guía los cambios establecidos en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, ahora denominado Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, que busca la integridad de sus ciudadanos constituyéndolos en sociedad con acceso a la educación de forma gratuita, para alcanzar la excelencia en la educación. Por lo tanto, disponer de bibliotecas universitarias que ofrezcan servicios a la docencia representa un elemento importante en el desarrollo de la sociedad ecuatoriana, ya que sus profesores podrán tener más y mejores conocimientos como resultado de los servicios que reciban en aras de su desarrollo profesional.

En este sentido, hay que considerar lo que significa como reto en la gestión académica, alcanzar lo que plantearon los organismos rectores de la Educación Superior en Ecuador, el CES y ex CEAACES, con respecto a la planificación y gestión que las universidades, tomando con mayor énfasis los relacionados con la docencia, la investigación, la gestión y la formación continua de los docentes, durante el ejercicio de su función, a lo largo de toda su vida académica.

Siguiendo la visión del ex CEAACES, las universidades bajo esta perspectiva, basan sus planes estratégicos conforme a lo regulado por los organismos que aseguran la calidad de la educación superior; desarrollando estrategias de mejora, presentando propuestas que contribuyan a tal visión de forma organizativa, poniendo en marcha programas y proyectos que sean los pilares para optimizar los recursos a ellas asignados.

Por ende, las universidades que buscan cumplir tales objetivos requieren innovar, tomando como base aspectos dirigidos a: evaluar los servicios universitarios, costes vs utilidades y aprovechamiento de recursos; potenciar la calidad y prestigio de sus profesores en docencia, investigación, gestión, vinculación con la colectividad a través de estrategias propias visionadas por organismos estatales que rigen los caminos de la educación en el país.

De la revisión bibliográfica llevada a cabo, se infiere que actualmente en Ecuador no se han implementado servicios bibliotecarios a nivel de país; se mantiene la biblioteca con espacios tradicionales, siendo sólo meros depósitos de libros, muchos de ellos desactualizados, orientados a la historia y el arte ecuatorianos. El concepto y modelo de biblioteca universitaria ecuatoriana actual no contemplan suficientemente los servicios de apoyo a la docencia, así como tampoco permitirían la implantación, en un futuro cercano, de un nuevo modelo de biblioteca más cercano al Centro de Recursos para el

Aprendizaje e Investigación (CRAI). Por lo tanto, se propondrá un modelo de servicios que ayude a su transformación.

Para ello, se realiza un estudio que permite: conocer los servicios ofrecidos en las bibliotecas españolas adscritas a REBIUN para el apoyo a la docencia; identificar cómo resuelven los profesores de las universidades públicas de la Zona 5 sus necesidades de información para llevar a cabo sus actividades docentes y conocer cuáles son los servicios de apoyo a la docencia que se ofrecen en las mismas.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. La biblioteca universitaria**

En ocasiones se habla del cambio experimentado por la biblioteca como resultado de la existencia de recursos digitales. Desde hace años se reconoce que la era digital ofrece nuevas oportunidades para las bibliotecas, y en particular para la biblioteca universitaria. Sin duda, los avances de Internet han cambiado la forma en que se producen y distribuyen los contenidos, pero ello no es más que un síntoma del cambio de toda la sociedad con la transformación de la misma hacia una sociedad del conocimiento.

La situación de la biblioteca universitaria se encuentra caracterizada por la contradicción de mucha información y poco conocimiento, esa contradicción está presente en la esencia de la universidad actual, que enfrenta un conjunto de problemas relacionados con los aspectos sociales que representan un aumento extensivo de información para los profesores. En el caso de la universidad, ha sido fuertemente cuestionada por su incapacidad de responder con apoyo bibliotecario a los cambios que se derivan de la revolución científico técnica actual. Las oportunidades que enfrentan las bibliotecas con los avances de la tecnología digital conducen a suponer que una amplia gama de recursos en formatos electrónicos sería un siguiente paso natural en la extensión de los servicios.

Es importante subrayar que las bibliotecas universitarias redefinen su rol en la educación superior en el siglo XXI, mediante cambios esenciales, a medida que las TIC se instalan como apoyo en la enseñanza, el aprendizaje, la docencia y la investigación (Marrero, 2017). Como resultado de la incorporación de las TIC, surgen los catálogos abiertos de acceso público en línea OPAC (Online Public Access Catalogue) que es una base de datos en línea, donde se pueden consultar a los catálogos de una biblioteca o grupo de bibliotecas, que facilitan a los usuarios el acceso a diversos recursos de información tales como libros, monografías, series, tesis, material audiovisual.

Lo expuesto lleva a constatar que la biblioteca moderna ha pasado de ser un medio conservador de información a productor y difusor de la misma, brindando al usuario la posibilidad de encontrar la información que requiere en otro centro bibliotecario. En este sentido, tenemos como ejemplo la nueva Biblioteca Central del Tecnológico de Monterrey, que ha sido reconocida como «La Mejor Biblioteca Universitaria del Mundo» en los Library Interior Design Awards 2018 (Abierto, 2018).

Es importante describir que Brown (2012), en cuanto al valor de las bibliotecas académicas, y con respecto a la iniciativa Value of Academic Libraries Initiatives, de la Asociación de Bibliotecas Universitarias y de Investigación (ACRL),

describe que es importante desarrollar la capacidad para demostrar el valor de las bibliotecas académicas.

De acuerdo con López (2006), los trabajos de las bibliotecas universitarias en la actualidad se encuentran en un proceso de transformación constante, por lo que este nuevo enfoque involucra un cambio en el modelo de enseñanza, centrado en el aprendizaje y basado en una serie de competencias que convierten al estudiante en protagonista de su propio aprendizaje.

Sam-Anlas (2016), señala que el entorno de servicios informativos sugiere beneficios en el contexto bibliotecario, logrando así una gestión más representativa y organizada de la información, brindando una mayor rapidez en la recuperación de datos, donde el usuario pasa a ser el responsable en el momento de elegir la información, sin que ello conlleve necesariamente ir a la fuente directa. En cuanto a la participación activa en la difusión y generación del conocimiento, la presencia de las bibliotecas en la web es un elemento imprescindible y de suma importancia en el contexto académico.

## **2.2. Necesidades del profesor en la universidad ecuatoriana**

El profesor universitario, tiene principios, fundamentos y métodos del conocimiento, que necesita informar para asociar los contenidos de las distintas materias. Por otro lado, como indica Cuétara (2015), requieren contar con normativas en educación que les permitan llevar su docencia de forma más visible en cuanto a la actualización de sus conocimientos, que estén acordes con los sílabos requeridos semestralmente en el caso de los profesores universitarios.

Otra de las necesidades del profesor universitario es la metodología requerida para los diseños de sus planes de clase, donde precisan estrategias que promuevan el aprendizaje en sus estudiantes, y su currículo profesional. Según Parra (2015), las necesidades del docente se basan en la importancia de disponer de herramientas dinámicas que les permitan adquirir competencias comunicacionales.

Además de sus necesidades académicas, también tienen necesidades relacionadas con su rol de docentes investigadores, por lo tanto, requieren de servicios que les permitan desempeñarlo. En este contexto, se considera apoyo el uso y aplicación de diversas herramientas basadas en TIC, así como el empleo de estadísticas, como referencia para la competencia digital del profesor universitario.

Las bibliotecas universitarias se presentan como artífices de tal cambio paradigmático ya que a través de los diversos servicios que ofrecen para apoyo del docente, ayudarán a mejorar la acción pedagógica, fortaleciendo sus sílabos, planes de aula y perfeccionando sus prácticas docentes, como sugiere (Cuétara, 2015).

En este sentido se debe resaltar importancia de las aplicaciones y herramientas TIC en la educación, ya que llevan a una mejora continua de la enseñanza y el aprendizaje, así como de las destrezas en la búsqueda de información, gracias a una formación técnica y pedagógica, acompañada de información actualizada y accesible a todo momento (Díaz, 2015).

En cuanto al contexto educativo influenciado por la generación de nuevos conocimientos, al hablar de la formación docente hablamos de los procesos de superación, actualización



y capacitación continua. Sin embargo, estas nuevas habilidades propician una nueva especialización disciplinar del docente, logrando así, la adquisición de competencias necesarias para promover el aprendizaje en sus estudiantes.

Considerando lo explicado, se puede orientar la importancia de las necesidades del profesor para sus diversas actividades, de forma que se considera que el aprendizaje proporcionado se constituye en un proceso fundamental que además dirige el conocimiento impartido a la innovación, siendo por lo tanto un factor de cambio social y paradigma de desarrollo.

Es importante considerar que además de hallar respuesta a sus necesidades para las actividades docentes, los profesores también deben contar con servicios y recursos que les permitan alcanzar sus objetivos de fortalecimiento académico. Uno de los aspectos más importantes para ello es el compromiso que el docente tiene con la enseñanza.

Considerando los aspectos que se incorporan a las actividades docentes, señalamos los procesos de cambio continuo con base en las TIC, disponiendo del recurso de Internet como medio de producción y difusión de la información. En este nuevo proceso de búsqueda constante de la información, Prats (2003) apunta que, las bibliotecas digitales serán elementos clave y tomarán protagonismo en proyectos relacionados con la gestión, organización y acceso rápido a la información.

### **2.3. El CRAI y sus características**

El modelo CRAI surge en el año 2004, como conjunto de servicios de apoyo a la docencia, la investigación y el aprendizaje, contemplando la formación integral de sus usuarios. Permite el acceso a los recursos de información, brindando con ello servicios de calidad que permitan vertebrar contribuciones para desarrollar y compartir conocimientos, orientados a cumplir los objetivos que la comunidad universitaria requiere.

Las universidades españolas cuentan con servicios bibliotecarios, que constituyen pilares fundamentales a nivel de organización y estructura académica en las bibliotecas. En este contexto, sería recomendable que la biblioteca universitaria en Ecuador, tomando como sujeto de investigación a las bibliotecas universitarias de la Zona 5, estudien la incorporación del modelo CRAI en su gestión, que permita el acceso y uso de la información off line y en línea. Así, como disponer de espacios acordes con las necesidades de los profesores, que dispongan de TIC, que sean fuente de aprendizaje continuo con relación a las necesidades de los profesores para realizar sus trabajos académicos, o divulgar sus trabajos a través de canales de comunicación, videos, repositorios, páginas web, redes sociales u otros; reciban apoyo en sus diversas necesidades por parte del personal de biblioteca y dispongan de físicos acordes con sus actividades académicas, fortaleciendo así sus áreas de acción en docencia e investigación.

Según lo expuesto por Sánchez (2007), al especificar que «las bibliotecas universitarias son la fuerza motora de las universidades, espacios para la gran creación intelectual donde la información es un recurso de alto valor», se evidencia que la evolución de las bibliotecas, especialmente las universitarias, están sujetas a una perspectiva de revolución basada en la información y otra revolución orientada a la organización, gestión y servicios.



Para dar el paso hacia el CRAI, la biblioteca universitaria requiere tener una estructura enfocada a la formación permanente del profesor. Para ello, se debe contar con la participación de expertos en el área de las tecnologías, profesores que posean formación en uso de bibliotecas, y personal bibliotecario con conocimientos en el uso de herramientas basadas en TIC, que permitan al profesor universitario organizar contenidos y aprovechar los recursos.

### 3. Aspecto metodológicos

La presente investigación tiene un carácter fundamentalmente descriptivo y permite determinar los aspectos relacionados con las bibliotecas y el estado en que se encuentran las universidades en el sistema universitario ecuatoriano, en relación con los servicios que ofrecen las bibliotecas universitarias, utilizando para tal fin el método de revisión bibliográfica. Para ello, se revisan diversas fuentes, tanto primarias como secundarias, para obtener información en el contexto nacional e internacional sobre investigaciones llevadas a cabo por otros autores, acordes al tema de interés.

#### 3.1. Población y muestra

En la selección de la muestra, el marco muestral lo constituyó la página web de REBIUN, donde aparecen listadas las universidades que integran la Red, desde donde se procedió a identificar a los directores de cada una de las bibliotecas. Luego se procedió a referenciar las universidades acreditadas de nivel público que conforman la Zona 5 de Ecuador.

El trabajo estuvo conformado por tres poblaciones:

- **Población objeto de estudio 1:** Conformada por 76 directores de las bibliotecas universitarias españolas (50 públicas y 26 de universidades privadas) adscritas a Rebiun, que forman parte de la CRUE y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas; sobre las cuales se practicó un muestreo del 55,26% de su tamaño, es decir, se muestrearon 42 unidades de estudio.
- **Población objeto de estudio 2:** Se encuentra integrada por los 210 profesores de las universidades públicas acreditadas de Ecuador, de la Zona 5. Los contactos fueron proporcionados por los directores de los departamentos de investigación de cada universidad mediante un listado con sus respectivos correos electrónicos. De esta población se obtuvo una muestra de 156 docentes, a través de un muestreo aleatorio.
- **Población objeto de estudio 3:** Se encuentra integrada por los 5 directores bibliotecarios relacionados a las cinco universidades pertenecientes a la Zona 5 de Ecuador, y por lo tanto se considera a todos como población objetivo.

Una vez seleccionadas cada una de las poblaciones objetos de estudio, se procedió a recopilar los datos mediante la aplicación de encuestas. Los tres cuestionarios siguieron un mismo esquema de realización; adaptando el modelo del estudio Ithaka S+R15 (aplicado en EEUU, Reino Unido y recientemente en Cataluña) (Wolff, Rod, & Schonfeld, 2016).

En relación con la validez de contenidos, los atributos y niveles se ajustarán a los requerimientos del marco teórico tomado como modelo, de acuerdo con la realidad en el ámbito español y ecuatoriano. En relación con la validez del criterio, se tomaron en

consideración los estudios realizados, que sirvieron de base para la conceptualización de la propuesta, establecidos en relación con los resultados obtenidos y las variables consideradas.

## 4. Resultados

**Resultados del estudio 1.** A continuación se presentan los principales resultados, obtenidos de la encuesta aplicada a los directores de las bibliotecas universitarias españolas.

Bloque 1. Datos identificativos

- De los 42 directores de bibliotecas encuestados, 38 trabajan en bibliotecas universitarias y 4 pertenecen al CRAI (Centro de Recursos para el Aprendizaje e Investigación), siendo en total 29 universidades públicas y 13 privadas.

Bloque 2. Dependencia orgánica, funcionamiento y uso por parte del PDI. Los resultados obtenidos en este bloque se describen a continuación:

- Es importante para las universidades públicas y privadas, tener una dependencia orgánica que ofrezca apoyo docente, sujeta al vicerrectorado académico.
- Los órganos colegiados deben tener relación directa con las bibliotecas universitarias.
- Se constata la importancia de contar con un plan estratégico que permita un mejor funcionamiento de las bibliotecas universitarias, además de que sus objetivos específicos estén encaminados a la docencia y su fortalecimiento.

Bloque 3. Organización interna de apoyo a la docencia. En relación a este bloque se tienen como resultados que:

- El 75% de las universidades tienen organigramas de funcionamiento, capacitación, actualización, desarrollo de procesos, lo que ha permitido tener control en los progresos que se realizan para la docencia universitaria con apoyo de servicios bibliotecarios.
- Los servicios bibliotecarios son ofrecidos a través de correo electrónico, charlas, congresos, simposios, entre otros, entre los cuáles se ha fomentado el apoyo constante a los procesos educativos e investigativos.

Bloque 4. Difusión del servicio y su utilización por parte del PDI. En este contexto, se obtiene que:

- Aproximadamente el 60% de los directores encuestados afirman que sus universidades tienen catálogos de los servicios bibliotecarios y que dicha información se ha difundido entre el público y el personal de las diferentes universidades a través de la Intranet, sesiones formativas, folletos, o a través del correo electrónico institucional.

Bloque 5. Estructura de servicio de apoyo a la docencia en la universidad. Los resultados de los ítems, que forman parte de este bloque, se resumen en:

- Más de la mitad de los encuestados especifican que tiene un rol activo en las aplicaciones tecnológicas que se brindan en las universidades, como MOOC.

- Las bibliotecas universitarias españolas han considerado contar con las tecnologías para servicios, elementos fundamentales para el desarrollo del personal de docencia e investigación.
- Se destaca en relación al fortalecimiento en docencia, seguir mejorando en aspectos relacionados con los espacios de que disponen, además de seguir creando convenios entre las universidades y profesionales con la finalidad de repotenciar sus competencias.

**Resultados del estudio 2.** Conforme a los resultados y análisis, se presenta a continuación un resumen de los aspectos a considerar como base para la propuesta de elaboración de un catálogo de servicios bibliotecarios.

#### Bloque 1: Datos identificativos

- Respecto a la formación académica, de los 156 docentes encuestados; el 81,4% posee título de magíster y el restante doctorado.
- En cuanto a las capacitaciones realizadas, el 85,9% de los docentes realizan las mismas y el 14,1% restante no.
- Las edades de los docentes encuestados fluctúan entre dos categorías, de 41 a 50 años (54 sujetos), y de 51 a 60 años (48 sujetos), lo que evidencia la experiencia de los mismos.
- Respecto a la categorización académica, 54 profesores son agregado 1 y 3, seguidos de 21 que son agregado 2.
- La experiencia de los profesores en años de trabajo, se considera en una media 9,8 años.

Bloque 2: Necesidades de información. En cuanto a los resultados de los ítems de este bloque, se tiene:

- El 15,4% de los docentes realizan consultas a bases de datos, 12,2% usan revistas científicas, 16,7% recurren a preprints de artículos, blogs y redes sociales, y el resto se apoyan en tesis doctorales.
- El 68,6% de los profesores, realizan sus consultas bibliográficas a través de bases de datos especializados como PubMed, Scopus, Web of Science; y el resto manifiestan que usan motores de búsqueda en internet, Google, Yahoo y Bing.
- Del total de encuestados, el 90,4% requieren actualización de los contenidos del sílabo, actualización de la bibliografía, preparar actividades en el aula, ejercicios y crear estudios de caso.
- El 75,6% de los docentes refieren que requieren de servicio por parte de la biblioteca para hacer revisiones regulares de revistas, consultas a internet, asistencia a congresos; y tener la posibilidad de recibir servicios de alerta de la biblioteca (RSI), suscripciones a revistas profesionales.
- El 42,9% de los profesores refieren usar gestores bibliográficos como Mendeley, Refwork; para organizar la información bibliográfica; y un 30,1% sitios de almacenamiento gratuito como Dropbox.

Bloque 3: Organización del apoyo a la docencia y la atención al profesor en biblioteca.

- De los profesores encuestados, el 26,9% indican que en los últimos años han necesitado ayuda por parte de la biblioteca universitaria para tener información

que fortalezca su actividad docente; el 26,8% lo han requerido para elaborar materiales docentes, el 23,7% refieren que precisan ayuda para seleccionar revistas donde publicar sus trabajos académicos; y un 7,7% consideran necesaria la ayuda de la biblioteca para redactar bibliografía de sus investigaciones.

- En cuanto al fortalecimiento docente con respaldo de servicios bibliotecarios, el 45,5% de los encuestados refieren que requieren asesoramiento para la creación de contenidos y publicaciones, el 34% para localizar recursos; el resto demandan asesoramiento para publicación en Open Access.
- El 69,2% de los docentes opinan que no hay servicios de apoyo en docencia por parte de biblioteca. De igual forma, consideran que es muy importantes que existan: asesoramiento en derechos de autor, propiedad intelectual y acceso abierto, software antiplagio, gestión de currículos, asesoramiento sobre revistas donde publicar, apoyo en la elaboración de materiales docentes, repositorio institucional de materiales docentes, soporte a la plataforma docente (Moodle, Blackboard), creación y mantenimiento de bibliografías, canal YouTube de tutoriales formativos, apoyo en aplicaciones tecnológicas, videoteca de archivos de elaboración de materiales, herramientas TIC/TAC, asesoramiento sobre metodologías de citación bibliográfica, laboratorio multimedia y protocolos para la publicación de materiales didácticos.
- El 38,5% de los docentes refieren que el personal de biblioteca nunca ha estado en contacto con los profesores para conocer las necesidades docentes; el 30,8% que lo han hecho en contacto directo (presencial) y el resto que lo han tenido de forma virtual y presencial visitando la biblioteca universitaria.

**Bloque 4:** Servicios ofrecidos por personal bibliotecario y espacios físicos acordes a las necesidades del profesor.

- Los profesores consideraron muy importante; la atención del personal bibliotecario para satisfacer las necesidades de información, la buena disposición del personal para responder a las inquietudes, brindar atención personalizada, responder a preguntas formuladas.
- Los docentes consideraron muy importante la disposición de espacios acordes con sus necesidades para realizar sus actividades académicas, que sean confortables, acogedores, tranquilas, y que permitan los trabajos tanto individuales como grupales.

### **Resultados del estudio 3.**

- La encuesta ha presentado resultados muy homogéneos entre los cinco directores de bibliotecas analizadas en este estudio, en relación con los servicios que resulta necesario ofrecer por parte de las bibliotecas como apoyo a la docencia. En este sentido se tienen herramientas TIC, elaboración de materiales académicos, software anti plagio, acceso a repositorio universitario de materiales docentes, videoteca de archivos, elaboración de materiales didácticos, laboratorio multimedia, canal de YouTube de tutoriales formativos, plataforma de Libros-e, soporte a la plataforma docente o denominado Campus Virtual.
- Se obtienen aspectos importantes con respecto a la situación actual de las bibliotecas universitarias de la Zona 5 de Ecuador, tales como: no cuentan con

un catálogo de servicios para dar apoyo a la actividad del profesor; los servicios que manifiestan tener, en algunos casos no constan y en otros son sólo datos informativos; no disponen de servicios para la difusión de las actividades de los profesores; la frecuencia en la evaluación de los servicios que la biblioteca presta como apoyo al profesor no es constante ni está organizada; la importancia de implementar un catálogo de servicios en la biblioteca, con la finalidad de satisfacer las necesidades de información; no poseen un espacio netamente orientado a los servicios de cada biblioteca universitaria para el acceso a la información, y para la divulgación de los trabajos de los profesores; la biblioteca no ofrece a los profesores el servicio de consulta de libros de forma directa; no se disponen de espacios acordes para que el profesor pueda realizar sus actividades académicas y no disponen de canales para facilitar el contacto que debe existir por parte del personal bibliotecario con el profesor.

#### **4. Conclusiones**

A continuación, se establecen las conclusiones de la investigación, en función de los objetivos propuestos.

##### **Obj1. Conocer los servicios ofrecidos en las bibliotecas españolas adscritas a REBIUN como apoyo a la docencia**

En la recopilación de información realizada se obtuvieron datos considerados pertinentes, operativos, consolidables, cuantificables y económicos.

Para las universidades españolas es de suma importancia que la biblioteca no sea sólo el espacio que ofrezca únicamente la bibliografía tradicional recomendada a los profesores, sino que sean lugares que motiven la docencia e investigación, apoyados en recursos que se encuentren disponibles en catálogos de servicios que permitan al profesor universitario el acceso a revistas impresas y electrónicas, materiales audiovisuales y multimedia, y otros documentos de toda índole que requieran consultar, por lo que se torna imprescindible que la biblioteca universitaria además de informar, guíe a sus profesores en el uso de estos recursos.

Teniendo como referencia lo expresado, desde la perspectiva de los autores se indica que las bibliotecas universitarias españolas han considerado contar con las tecnologías para servicios, elementos fundamentales para el desarrollo del personal de docencia e investigación, considerando de sumo interés estar preparadas para los cambios que se puedan dar en el ámbito tecnológico, en constante evolución, por lo que sus servicios deben estar encaminados hacia esa convergencia, de modo que no se vean afectados en su estructura organizacional ni de gestión.

Los cambios o tendencias en los que se ven inmersas las bibliotecas españolas están encaminados hacia la creación de contenidos digitales, lo que les permite innovar en sus servicios. Se destaca en relación al fortalecimiento en docencia, seguir mejorando en aspectos relacionados con los espacios de que disponen, además de seguir creando convenios entre las universidades y profesionales con la finalidad de repotenciar sus competencias. En lo analizado por los autores de la experiencia española se puede concluir que, en su mayoría, en base a las respuestas recibidas, las universidades

españolas disponen de excelentes bibliotecas que ofrecen acceso a la información que sus profesores requieren, siendo las universidades públicas las de mayor nivel de interés en ese punto.

### **Obj2. Identificar como resuelven las necesidades de información que tienen para realizar sus actividades académicas los profesores de las universidades públicas de la Zona 5**

Según los resultados obtenidos, se evidencia las necesidades de información de los profesores, y la necesidad de apoyarse en servicios ofrecidos por la biblioteca universitaria para la realización de sus trabajos; ya que para lograr cumplir con su función han tenido que recurrir a la biblioteca, pero no han encontrado servicios pensados para cada una de sus necesidades.

Los profesores consideraron que es muy importante tener definida la organización que la biblioteca incorpora para ofrecer apoyo a la docencia, en cuanto a la guía de servicios con que deben contar, y no solo sean espacios para ir a consultar un libro o libros que requieren para la elaboración de sus sílabos. Se evidenció la necesidad de apoyo de la biblioteca universitaria, con personal capacitado en áreas acordes con sus requerimientos, tanto en el aspecto tecnológico como pedagógico; así como lo necesario que es para ellos poder tener horarios acordes a sus actividades, y canales y/o medios de comunicación diseñados para el conocimiento de los servicios que ofrezca la biblioteca universitaria.

Considerando los resultados obtenidos en cuánto a las necesidades en docencia por parte de los profesores, se puede concluir que los servicios que deben ofrecer las bibliotecas en su catálogo, deben estar orientadas a las actividades que realizan los docentes en el diario quehacer universitario.

### **Obj3. Conocer cuáles son los servicios de apoyo a la docencia que se ofrecen en las bibliotecas universitarias de la Zona 5**

La investigación realizada, corrobora lo manifestado por los profesores, quienes identificaron que requieren de servicios para resolver sus necesidades de información, obteniéndose por parte de los directores respuestas de interés para la propuesta.

Para los directores de las bibliotecas de la Zona 5, las bibliotecas requieren de catálogos de servicios que orienten las actividades académicas para ofrecer apoyo al docente, con base a la naturaleza de los documentos existentes y sobre todo a la forma en que se gestionan y se utilizan; ya que en algunos casos, siendo los profesores inmigrantes digitales, los servicios deben orientarse hacia ellos para que fortalezcan su rol docente, en contrapunto con los nativos digitales, quienes son expertos en uso de recursos multimedia. Por lo que promover capacitaciones constantes sobre estos aspectos, será un factor importante para el profesor y su currículo.

Otro punto que los directores establecieron relevante para la implementación de los servicios, es el de tener apoyo económico por parte de las autoridades universitarias con la finalidad de transformar la biblioteca universitaria tradicional, en una biblioteca que disponga de servicios bibliotecarios debidamente definidos con respecto a lo que la docencia requiere como parte de desarrollo y fortalecimiento en educación superior. Considerar la posibilidad de elaborar y desarrollar procesos orientados a los servicios que sean proclives en determinado momento a estar sujetos a una evaluación, con la

finalidad de poner en valor la gestión, organización, administración, visibilidad y viabilidad de las bibliotecas universitarias.

Por supuesto, todo proceso de transición repercutirá en aspectos económicos, de gestión y organización, al igual que en lo relacionado con el ámbito del personal que colabora en las bibliotecas, no lleguen a sentirse afectados por los cambios, ya que más bien este reto contempla la oportunidad de fortalecer la capacitación del uso de las tecnologías y servicios que se dará a los profesores y demás usuarios, por lo que el rol del capital humano bibliotecario será parte fundamental en la innovación de servicios bibliotecarios, conforme lo indicaron los directores y profesores. De igual manera se concluye la importancia, de obtener la motivación de los profesores para que formen parte activa de este cambio, permitiendo así innovar en docencia e investigación.

Después de la investigación realizada, se considera viable la aplicación de un catálogo de servicios para las bibliotecas universitarias de la Zona 5 ecuatoriana, ya que la propuesta permitirá fortalecer uno de los aspectos institucionales que forman parte de la acción en educación superior manifestado en un primer momento por parte de la LOES 2010.

## **5. Recomendaciones y trabajos futuros**

Considerando en la investigación y las conclusiones de la misma, los autores recomiendan, realizar estudios que complementen la importancia de tener servicios bibliotecarios en las universidades de Ecuador. En este sentido, las líneas futuras de investigación pueden ser:

- Innovación de los servicios bibliotecarios en las bibliotecas tanto públicas como privadas ecuatorianas con relación a futuras evaluaciones de acreditación universitaria; que permitan identificar la categorización de las universidades, y seleccionar aspectos importantes de las necesidades del profesor ecuatoriano; ya que en la investigación realizada no se abordaron directamente temas relacionados con la acreditación y evaluación de las bibliotecas en el país.
- Se sugiere, considerar la oferta de servicios de información para comunidades con capacidades diferentes, en especial, grupos de atención prioritaria, pueblos y nacionalidades, no solamente las que forman parte de la universidad, sino también como usuarios particulares, que puedan acceder a las instalaciones de la biblioteca y también desde fuera de ella.
- Oportunidad de implementar un modelo de automatización en el ámbito digital para las universidades públicas y privadas de Ecuador con una metodología acorde a la autonomía universitaria y sus condiciones institucionales. La información que se obtenga supondrá mejoras en la gestión y planificación estratégica de tecnologías para las bibliotecas ecuatorianas.
- Desarrollar una investigación orientada al marketing en las universidades públicas y privadas de Ecuador como parte de sus mejoras de calidad en educación superior. Esto se basa en la importancia de llevar a la biblioteca universitaria ecuatoriana a través de sus actores principales a más espacios de acción y fortalecimiento de la educación superior en Ecuador.



## Referencias

- Brown, K., Kara, J (2012). Connect, collaborate, and communicate: A report from value of academic Libraries Summits. Malenfant. Recuperado de: [http://www.ala.org/acrl/sites/ala.org.acrl/files/content/issues/value/val\\_summit.pdf](http://www.ala.org/acrl/sites/ala.org.acrl/files/content/issues/value/val_summit.pdf)
- Cuéstara, P. M., Fernández Cruz, M., & González González, D. (2015). Estudio descriptivo de las necesidades de formación docente del profesorado universitario novel. *Pedagogía Universitaria*, 20 (2), 1+.
- Díaz, T., Cascales, A. (2015). Las TIC y las necesidades específicas de apoyo educativo: análisis de las competencias TIC en los docentes. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED)*, 18(2),355-383
- López, J., Pérez, A., Gálvez, C., García, C. (2006). La biblioteca universitaria como apoyo al aprendizaje en el espacio europeo de enseñanza superior. *Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, 2 (1), 63-81.
- Marrero, E. (2017). La biblioteca universitaria del siglo XXI y los nuevos escenarios del aprendizaje. *ULA Revista De Humanidades Y Ciencias Sociales*, 61(1): doi: <https://doi.org/10.33413/aulahcs.2017.0i0.80>
- Martínez, D. (2004). El nuevo modelo de biblioteca universitaria. El Centro de Recursos para el Aprendizaje CRAI. Obtenido de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11982/didac\\_nuevomodelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11982/didac_nuevomodelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Parra, H., Tobon, S., Lopez, José (2015). Docencia socioformativa y desempeño académico en la educación superior. *Paradigma*, 36 (1), 42-55.
- Prats, J., Rico, O., Calderón, P., Majó, R. (2004). *Bibliotècnica: La biblioteca digital de la UPC. Descripción y valores añadidos. Boletín de RedIRIS*, 66 (1), 66-76.
- Sam-Anlas, C., Stable, Y (2016). Evaluación de la accesibilidad web de los portales del Estado en Perú. *Revista Española de Documentación Científica*, 39 (1): e120, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2016.1.1213>.
- Sánchez, B. (2007). Ciencia, investigación y cultura en la BU actual. *ACIMED*, 15(1). Recuperado de: [http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol15\\_1\\_07/aci16107.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol15_1_07/aci16107.htm)
- Universo Abierto. (21 de 11 de 2019). *universoabierto.org*. Obtenido de: <https://universoabierto.org/2018/05/22/la-nueva-biblioteca-central-del-tecnologico-de-monterrey-ha-sido-reconocida-como-una-de-las-mejores-bibliotecas-universitarias-del-mundo/>
- Wolff, C., Rod, A.B., Schonfeld, R.C. (2016). *Ithaka S+R US Faculty survey 2015*. New York: Ithaka S+R. Recuperado de: <https://doi.org/10.18665/sr.277685>.



# Aplicación móvil empleando realidad aumentada para el fortalecimiento del proceso de enseñanza aprendizaje: revisión sistemática de literatura

Willian Javier Ocampo-Pazos<sup>1</sup>, Bryan Josué Albán-Ordoñez<sup>1</sup>,  
Gabriela Brighith Rodríguez-Gómez<sup>1</sup>, Luis Javier Ulloa-Meneses<sup>1</sup>,  
Rodolfo Sirilo Córdova-Gálvez<sup>1</sup>

opwj@pucesd.edu.ec, bjalbano@pucesd.edu.ec, gbrodriquezg@pucesd.edu.ec,  
umlj@pucesd.edu.ec, cgrs@pucesd.edu.ec

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo, 230203, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

**Pages: 332–344**

**Resumen:** La realidad aumentada es una herramienta tecnológica actual que permite la interacción de objetos virtuales con el mundo real. Esta tecnología ha sido implementada por varios investigadores con fines educativos que posibilita fortalecer y mejorar la enseñanza-aprendizaje, especialmente en el estudio de enfermería. En esta investigación, se realiza una revisión sistemática de la literatura sobre materiales didácticos que aplican la realidad aumentada para la educación. Se utiliza el método Torres-Carrion, González, Aciar & Rodríguez (2018), para estructurar el problema de investigación, obteniendo preguntas que involucran los estándares de realidad aumentada, guías de diseño, métodos interactivos, innovación tecnológica educativa y procesos de adaptación a los recursos tecnológicos actuales. Se hallaron 313 trabajos aplicando el script de búsqueda semántica, sin embargo, 35 estudios son relacionados.

**Palabras clave:** augmented reality; Interactive system; systematic review.

## ***Mobile application using augmented reality to increase the teaching-learning process: Systematic literature review***

**Abstract:** Augmented reality is a current technological tool that allows the interaction of virtual objects with the real world. This technology has been implemented by several researchers for educational purposes that makes it possible to strengthen and improve teaching-learning, especially in the nursing study. In this research, a systematic review of the literature on teaching materials that apply augmented reality for education is carried out. The Torres-Carrion, González, Aciar & Rodríguez (2018) method is used to structure the research problem, obtaining questions that involve augmented reality standards, design guides, interactive methods, educational technological innovation and processes of adaptation to current technological resources. 313 papers were found applying the semantic search script, however, 35 studies are related.

**Keywords:** augmented reality; Interactive system; systematic review.

## 1. Introducción

La tecnología denominada Realidad Aumentada (RA) ayuda a la implantación de objetos virtuales dentro del mundo real, los cuales son generados por sistemas computacionales y a su vez pueden ser manipulados por parte del usuario (Guerrero, Mera, López, Reinoso & Dávila, 2018). Los dispositivos que pueden implementar esta tecnología son varios, como una pantalla de visualización montada en la cabeza (HMD) (Sugiura, Kitama, Toyoura & Mao, 2018), una computadora de escritorio o portátil, o un dispositivo móvil equipado con al menos una cámara trasera (Altinpulluk, 2019). En este estudio la RA se centrará en dispositivos móviles (mAR), debido a la facilidad y flexibilidad de los instrumentos, garantizando así que los estudiantes tengan una mejor experiencia en el proceso de aprendizaje.

Uno de los objetivos del presente trabajo es contribuir al conocimiento de las investigaciones sobre las aplicaciones de realidad aumentada en la educación, en particular, con estudiantes universitarios de la carrera de Enfermería con dificultades de aprendizaje.

Es por ello, que se realizó una revisión sistemática de literatura, de esta manera se logró identificar las preguntas y justificar esta investigación. Se empleó el método elaborado por (Torres-Carrión, et al., 2018), que divide la revisión en tres etapas: planificación, realización y reporte sistemático. En esta indagación se hallaron 313 trabajos aplicando el script de búsqueda semántica, sin embargo, 35 estudios son relacionados (estado del arte) con la realidad aumentada.

Con esta información en la mano, se propuso cinco preguntas de investigación que incluyen estándares para el aprendizaje con realidad aumentada, pautas de diseño, métodos e instrumentos que se emplean para fortalecer la educación en estudiantes de la carrera de Enfermería, evaluar resultados en innovación tecnológica enfocada a la educación, y personalizar los recursos educativos en función de las dificultades de los estudiantes.

En la planificación para la búsqueda se establecieron varios criterios, así como parámetros complementarios tanto de inclusión como de exclusión. Abarcando estudios, estándares del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE, 2019; IEEE, 2020), guía para desarrolladores (XR Association, 2018), para responder a las interrogantes planteadas. El resultado de la aplicación del método (Torres-Carrión, et al., 2018) en la base de datos Scopus, fue de trescientos trece artículos relacionados, aplicando el script de búsqueda. En el reporte de la revisión se presenta los resultados de la búsqueda en apartados, respondiendo de forma sistemática las interrogantes que guiaron este proceso.

## 2. Método

Se empleó la metodología para la revisión sistemática de literatura aplicada a ingeniería y educación de Torres et al. (2018). La estructura se observa en la Figura 1, que consta de las fases como la planificación, conducción de la revisión y reporte, cada una de ellas con sus respectivos apartados y subapartados.

<b>Fases</b>	<b>Apartado</b>	<b>Sub apartado</b>
<i>Planificación</i>	<i>Identificación de la necesidad de revisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Estado actual de interacción natural</i></li> <li><i>Preguntas de investigación</i></li> <li><i>Mentefacto Conceptual</i></li> <li><i>Estructura de búsqueda semántica</i></li> <li><i>Revisiones sistemáticas relacionadas</i></li> <li><i>Selección de revistas</i></li> </ul>
	<i>Desarrollo de un protocolo de revisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Definición de criterios de inclusión y exclusión</i></li> <li><i>Definiciones de categorías de análisis</i></li> <li><i>Preparar un formulario de extracción de datos</i></li> </ul>
<i>Conducción de la revisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Identificación de la investigación</i></li> <li><i>Selección de estudios primarios</i></li> <li><i>Evaluación de la calidad del estudio</i></li> </ul>	
<i>Reporte de la revisión</i>		

Figura 1 – Estructura de la Metodología Torres-Carrión.

## 2.1. Planificación

### 2.1.1. Estado actual de Realidad Aumentada

Con el crecimiento de la tecnología, la dependencia de ésta en la actualidad, con el fin de lograr una experiencia agradable para el usuario, ha surgido la realidad aumentada. La cual tiene un fin muy bien definido, lograr incluir un factor tecnológico virtual en el contexto real (Wüller, Behrens, Garthaus, Marquard & Remmers, 2019), es decir, estudia cómo se desenvolverá una objeto computacional y cómo sería la interacción del usuario al emplearlo, es por ello que en este área han determinado diferentes herramientas que ayudan a que el usuario se sienta cómodo al usarlo, estos a su vez han sido bases de enfoques de diseño primordiales al momento del desarrollo de un artefacto tecnológico (Altinpulluk, 2019).

### 2.1.2. Preguntas de investigación

La realidad aumentada es cada vez más aplicada en diferentes áreas, pero en especial en la educación, debido a que tienen un alto potencial para herramientas pedagógicas, abriendo nuevas interrogantes de investigación (Ibáñez & Delgado, 2018). Dentro de este marco, el presente estudio hace énfasis en la realidad aumentada, como recurso educativo del proceso de aprendizaje de Morfofisiología (anatomía), por lo que se plantean las siguientes preguntas de investigación.

- RQ1: De los estándares descritos para la Realidad Aumentada ¿Cuáles se podrían aplicar en los entornos educativos universitarios?
- RQ2: ¿Cómo implementar las guías de diseño en el desarrollo de interfaces que emplean realidad aumentada orientada a estudiantes universitarios?
- RQ3: ¿Qué métodos interactivos se consideran para el fortalecimiento de la educación superior en la carrera de Enfermería?

- RQ4: ¿Cómo se evaluaron los resultados de la investigación en innovación tecnológica educativa?
- RQ5: ¿Qué procesos se adaptaron para los recursos tecnológicos actuales en el ámbito educativo, tomando en cuenta las necesidades y las dificultades de los estudiantes?

**2.1.3. Mentefacto. Conceptual**

Para establecer los campos que se orienta la investigación, se elabora un mentefacto conceptual. En la Figura 2 se visualiza el desglose de los temas relacionados a la realidad aumentada, donde Torres-Carrión, González-González, Bernal-Bravo, & Infante-Moro (2019) afirman que “Moverse verticalmente puede hacer que el concepto central sea más específico o general” (p. 4). En la parte alta de la figura se encuentra la clase superior (upperclass - Interacción Humano Computador), en la inferior las subclasses (subclasses - Reconocimiento por marcadores, basado en imagenes u objetos, basado en geolocalización y basado en gafas), en la derecha las excluidas (classes excluded - Robótica, Procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje de máquina) y a la izquierda las propiedades de inclusión (issordination properties - Educación, capacidad, innovación, Morfofisiología, aplicación móvil) del concepto a estudiar (Torres-Carrion, et al., 2018).

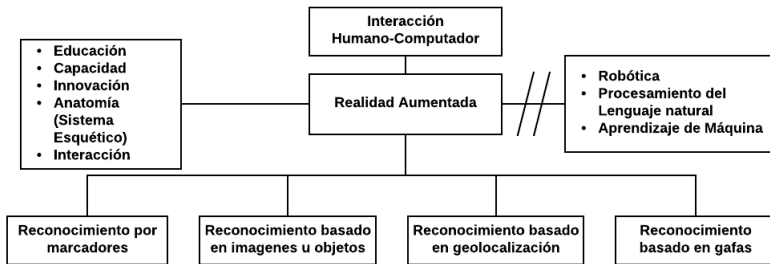


Figura 2 – Mentefacto sobre la Realidad Aumentada.

**2.1.4. Estructura de búsqueda semántica**

Como resultado del mentefacto conceptual, se define la estructura de búsqueda semántica, se establecieron 5 niveles (N1, N2, N3, N4 y N5) como menciona Torres-Carrion, et al. (2018) establecer los campos que se orienta la investigación, se elabora un mentefacto conceptual. En la Tabla 1 se evidencia en el nivel 1 realidad aumentada (N1 – abstracción conceptual), nivel 2 estudiantes (N2 – población específica), el nivel 3 educación (N3 – campo de aplicación), el nivel 4 innovación (N4 – subcampo de aplicación) y finalmente en el nivel 5 la elación con cada pregunta (N5 – Q1, Q2, Q3, Q4, Q5).

Nivel	Criterio	Script
N1	Augmented Reality	(Hum*AND Comp*) *OR((Augmen* and Reali*) AND (App* AND Mobi*))
N2	Students	AND (university* AND students* AND nursing* AND Intera*)

Nivel	Criterio	Script
N3	Education	AND (Learn* OR education*)
N4	Innovation	AND (Techn OR Innova*)
N5	Question	Q1: Standard Interaction Q2: Design guide Q3: Nursing Q4: Educational technological innovation Q5: Augmented Reality

Tabla 1 – Estructura semántica del tesoro para la búsqueda de artículos específicos.

### 2.1.5. Revisiones sistemáticas relacionadas

Para dar continuidad, se realiza una indagación preliminar de revisiones sistemáticas, se utiliza la base de datos Scopus aplicando una sintaxis de búsqueda semántica (Tabla 2), como consecuencia de esto, se hallaron 313 trabajos, siendo 32 de estos estudios revisiones de literatura, no obstante, únicamente 5 de ellos, descritos en la Tabla 3, tienen relación con ciertas preguntas de investigación, cabe indicar que, es necesario realizar este estudio para contestar todas las interrogantes planteadas.

Estudio	Análisis	Artículos
M. Al-Emran, V. Mezhujev y A. Kamaludin. (2018)	A lo largo de esta revisión sistemática se menciona a Mota, Ruiz-Rube, Dodero, & Arnedillo-Sánchez (citado por Al-Emran et al., 2018) que en su estudio hacen uso de la teoría nombrada como TAM para evaluar su aplicación que emplea AR.	>100
L. Clunie, N. P. Morris, V. C. T. Joynes y J. D. Pickering (2017)	Con el objetivo de ver el impacto que los recursos TEL tienen en el aprendizaje de la anatomía, aplicaron el modelo de evaluación del aprendizaje mejorado por la tecnología (TELEM), pero debido a los escasos estudios causales, no fue posible ver la relación entre la educación de la anatomía y las tecnologías empleadas, como la AR, en los trabajos evaluados.	>100
H. Wüller, J. Behrens, M. Garthaus, S. Marquard y H. Remmers (2019)	Esta revisión se enfoca en la utilización de realidad aumentada en la enfermería teniendo un enfoque en la búsqueda de posibles lagunas dentro de los estudios (implementación temprana, fallas técnicas, relevancia clínica).	23
Sung, Chang & Liu (2016)	Enfocada en el impacto del uso de dispositivos móviles dentro del proceso de enseñanza, tanto de niños como jóvenes, además abarcando una amplia cantidad de áreas del conocimiento.	>100
Ibáñez & Delgado (2018)	Esta revisión sistemática se centró en investigar las características generales de aplicaciones (Herramientas de construcción, características de AR, tipo de activos) que hacen uso de la AR dentro de la educación STEM (Science, Technology, Engineer, Mathematics).	28

Tabla 2 – Revisiones de literatura relacionadas.

### 2.1.6. Selección de revistas y bases de datos

La base de datos utilizada para el filtrado de documentos fue Scopus (con la licencia de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Santo Domingo, se actualizó la búsqueda el 13 de diciembre del 2019). La base de datos presenta toda clase de documentos relacionados a los parámetros especificados mediante una lista, los resultados se pueden seguir filtrando a través de la especificación de algunos campos ya preestablecidos en el sitio web como años, autores, idioma, entre otros (Ver Tabla 3).

Base de Datos	Script	Número de Artículos
Scopus	<i>(Hum* AND Comp*) * OR ((Augmen* and Reali*) AND (App* AND Mobi*)) AND (university* AND students* AND nursing* AND Intera*) AND (Learn* OR education*) AND (Techn OR Innova*)</i>	313

Tabla 3 – Base de datos y el mayor número de artículos devueltos por la búsqueda.

## 2.2. Desarrollo de un protocolo de revisión

### 2.2.1. Definición de criterios de inclusión y exclusión

Con respecto a la búsqueda, se desarrolla el protocolo de revisión, en el cual se establecen criterios generales y específicos (Ver Tabla 4).

Criterio	Descripción
General	<i>Estudios asociados a la educación interactiva con herramientas tecnológicas que tienen como objetivo fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. En el script se consideró todos los artículos disponibles entre 2002 y 2020. Investigaciones publicadas dentro de la base de datos Scopus.</i>
Específicos	<i>Estudios sobre estándares orientados a la realidad aumentada en la educación Estudios que presentan o emplean guías de diseño para interfaces educativas inclusivas empleando la realidad aumentada. Estudios que comparten métodos interactivos para el fortalecimiento de la educación superior en la carrera de Enfermería. Estudios orientados a evaluar una herramienta tecnológica educativa innovadora. Publicaciones dentro del área de las Ciencias de la Computación, Educación y Ciencias de la Salud.</i>

Tabla 4 – Criterios de búsqueda.

## 3. Reportar la revisión

### 3.1. RQ1: De los estándares descritos para la Realidad Aumentada ¿Cuáles se podrían aplicar en los entornos educativos universitarios?

Debido a que la realidad aumentada es una tecnología en desarrollo, son pocos los estándares que son enfocados a su implementación. El estándar P2048.7 que consta en la Tabla 5, se encuentra en revisión por parte del órgano encargado (IEEE) y el P1589/D3 se publicó un borrador el 31 de octubre de 2019, por lo que aún no se han tomado como referencia en trabajos asociados a esta área del conocimiento.

Estándares IEEE	Estado el estándar	Referencia Bibliográfica	<i>f</i>
IEEE P2048.7: Standard for Virtual Reality and Augmented Reality: Map for Virtual Objects in the Real World	<i>Revisión por pares</i>	(IEEE, 2019)	0
P1589/D3, IEEE Draft Standard for an Augmented Reality Learning Experience Model	<i>Publicado - Borrador</i>	(IEEE, 2020)	0

Tabla 5 – Papeles que aplican los estándares IEEE P2048 y IEEE P1589.

### 3.2.RQ2: ¿Cómo implementar las guías de diseño en el desarrollo de interfaces que emplean realidad aumentada orientada a estudiantes universitarios?

Se encontró una guía para desarrolladores denominada XR PRIMER 2.0 (A starter guide for developer), orientada a la elaboración de aplicaciones tanto de realidad virtual como realidad aumentada, enfocada en establecer las categorías de diseño (Tabla 6), pues la XR Association afirman que “si las experiencias XR no integran las pautas básicas de diseño de aplicaciones, pueden causar molestias en algunos usuarios” (p. 6). Como resultado de esta pregunta, no se encontró trabajos relacionados que en su implementación consideren la guía XR PRIMER 2.0.

Smartphone Augmented Reality	Referencia bibliográfica	<i>F</i>
<i>The user's environment</i>		0
<i>General user's environment</i>	(XR Association, 2018)	0
<i>Object Placement</i>		0

Tabla 6 – Documentos que aplican la guía de diseño según el estándar XP PRIME 2.0.

### 3.3.RQ3: ¿Qué métodos interactivos se consideran para el fortalecimiento de la educación superior en la carrera de Enfermería?

Método	Referencia Bibliográfica	<i>f</i>
<i>Tecnología AR</i>	(Wüller, et al., 2019; Rochlen, Levine & Tait, 2017; Sen, Chuen, Liew & Hta, 2017)	3
<i>Teoría del aprendizaje situado</i>	(Hadie, Simok Shamsuddin & Mohammad, 2019; Ugidos, Haro, Ruggiero, Manzoor & Juanes, 2019; Lin, Yang & Lai, 2017; Van Nuland & Rogers, 2017; Lee, 2015; Yoo & Lee, 2015)	6
<i>Aprendizaje Ubicuo</i>	(Huang & Lin, 2017)	1
<i>Augmented Reality Headset</i>	(Rochlen et al., 2017)	1

Tabla 7 – Fortalecimiento de la educación superior en la carrera de enfermería.

Los estudiantes de Enfermería asisten a una serie de eventos que se contemplan en su formación académica (Barmaki, Yu, Pearlman, Shingles, Bork, Osgood & Navab, 2019). En la Tabla 7 se visualiza los resultados de los trabajos relacionados a esta pregunta, siendo los métodos: Teoría del aprendizaje situado con 54.55%; Tecnología AR con el 27.27%; Aprendizaje Ubicuo y ARH con 9.1% respectivamente.

### 3.4.RQ4: ¿Cómo se evaluaron los resultados de la investigación en innovación tecnológica educativa?

En la Tabla 8, se visualiza los resultados de los métodos empleados en investigación tecnológica educativa, por consiguiente, el rendimiento académico con herramientas tecnológicas interactivas representa el 66.67%; aprendizaje autónomo con material didáctico el 16.67% y efectos en términos de conocimiento por medio del aprendizaje empleando realidad aumentada con un 16.67%.

Método de investigación	Referencia Bibliográfica	f
<i>Aprendizaje autónomo con material didáctico</i>	(Yeom, Choi-Lundberg, Fluck & Sale, 2017)	1
<i>Rendimiento académico con herramientas tecnológicas interactivas</i>	(Van Nuland & Rogers, 2017; Sung, Lee, Yang & Chang, 2019; Al-Emran, Mezhuyev & Kamaludin, 2018; Clunie, Morris, Joynes & Pickering, 2017)	4
<i>Efectos en términos de conocimiento por medio del aprendizaje empleando realidad aumentada</i>	(Huang & Lin, 2017)	1

Tabla 8 – Documentos que se aplican para innovación tecnológica educativa.

### 3.5.RQ5: ¿Qué procesos se adaptaron para los recursos tecnológicos actuales en el ámbito educativo, tomando en cuenta las necesidades y las dificultades de los estudiantes?

Recurso tecnológico	Referencia Bibliográfica	f
<i>Proceso de adaptación en el ámbito educativo</i>	(Okundaye, Chu & Quek, 2019; Lin, Yang & Lai, 2017; Lai, Hwang, Liang & Tsai, 2016; Castillo, Castro, López, Sanz & Yñiguez, 2016; Sung et al., 2016; Schmitz, Schuffelen, Kreijns, Klemke & Specht, 2015; Wesiak, Moore, Dagger, Power, Berthold & Conlan, 2014; Hou & Li, 2014; Aghazamani, 2011)	9
<i>Detalle de la estrategia de aprendizaje empleando realidad aumentada</i>	(Sugiura, Kitama, Toyoura & Mao, 2018; Yilmaz & Goktas, 2017; Harncharnchai & Saeheaw, 2018; Chu, Chen, Hwang & Chen, 2017; Hsieh, 2016; Hsu & Hwang, 2014)	6
<i>Efectos en términos de conocimiento por medio del aprendizaje empleando realidad aumentada</i>	(Guerrero, et al., 2018; Antoniou, Sidiropoulos & Bamidis, 2017; Wang & Yang, 2016; Bannan, 2016; Ibáñez & Delgado (2018); Shroff, Keyes & Linger, 2015)	6

Tabla 9 – Documentos que aplican recursos tecnológicos actuales en el ámbito educativo.



En la Tabla 9, se reporta el resultado de los recursos tecnológicos en el ámbito educativo, en consecuencia, el proceso de adaptación en el ámbito educativo representa un 42.86%; el detalle de la estrategia de aprendizaje empleando realidad aumentada en un 28.57%; y efectos en términos de conocimiento por medio del aprendizaje empleando realidad aumentada con un 28.57%.

#### 4. Conclusiones

A través de la metodología de Torres-Carrion, et al. (2018), se estructura la información, brindando la facilidad de escoger las investigaciones necesarias para el estudio. Siendo así a través del script, se pudo obtener las diferentes revisiones sistemáticas que avalaron esta investigación, además artículos de las diferentes revistas que permiten sustentar las preguntas de investigación planteadas, brindando al estudio la información necesaria obteniendo un aporte al área científica.

La Realidad Aumentada es una tecnología emergente, pero que ha tenido un crecimiento exponencial desde el momento de su aparición, una desventaja de la aplicación de esta tecnología es el limitado número de estándares o normas que ayuden a un desarrollo eficiente y lo más importante que sea agradable para el usuario, por lo que en esta revisión sistemática no se hallaron trabajos que utilizan los estándares en proceso antes descritos.

Se obtuvieron varios artículos que aportan sobre cómo fortalecer la educación superior, entre las cuales destacan herramientas en las cuales se dieron la aplicación de la tecnología realidad aumentada y también centradas en el aprendizaje ubicuo, a su vez se hallaron estudios los cuales implementaron ambos conceptos.

Se obtuvieron varios artículos que aportan a la innovación tecnológica educativa, a su vez demostrando su nivel experimental, generando grupos que estudio enfocados al aprendizaje y obtención de conocimiento a través de materiales didácticos y herramientas tecnológicas, algunas de ellas empleando realidad aumentada.

Se obtuvieron varios artículos que se enfocan considerablemente en la adaptación de procesos en los recursos tecnológicos actuales en el ámbito educativo, donde se toma en cuenta las necesidades y dificultades de los estudiantes y también se demuestra las investigaciones que estudian los procesos que se aplican al aprendizaje a través de la realidad aumentada.

#### Referencias

- Aghazamani, A. (2011). A qualitative study of Swedish university students' perceptions and experiences of using digital media in informal learning, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 8(3), 144-156
- Al-Emran, M., Mezhuyev, V., & Kamaludin, A. (2018). Technology Acceptance Model in M-learning context: A systematic review, *Computers & Education*, 125, 389-412. doi: 10.1016/j.edurev.2019.05.001

- Altinpulluk, H. (2019). *Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016*. *Education and Information Technologies*, 24 (2), pp. 1089-1114
- Antoniou, P., Sidiropoulos, E., & Bamidis, P.(2017). DISCOVER-ing Beyond OpenSim; Immersive Learning for Carers of the Elderly in the VR/AR era, *Immersive Learning Research Network* (pp. 189-200), Coimbra, Portugal: Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-60633-0\_16
- Bannan, B. (2016). Analysing context for mobile augmented reality prototypes in education in *Mobile Learning: The Next Generation*,(pp. 115-139), New York, USA: Routledge.
- Barmaki, R., Yu, K., Pearlman, R., Shingles, R., Bork, F., Osgood, G.M., Navab, N. (2019). Enhancement of Anatomical Education Using Augmented Reality: An Empirical Study of Body Painting. *Anatomical Sciences Education*, 12 (6), 599-609. doi: 12 (6), pp. 599-609
- Castillo-Manzano, J., Castro-Nunõ, M., López-Valpuesta, L., Sanz-Díaz, M., & Yñiguez, R. (2016). Measuring the effect of ARS on academic performance: A global meta-analysis, *Computers and Education*, 96, 109-121. doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002
- Chu, H., Chen, J., Hwang, G., & Chen, T. (2017). Effects of formative assessment in an augmented reality approach to conducting ubiquitous learning activities for architecture courses, *Universal Access in the Information Society*, 18 (2), 221-230. doi: 10.1007/s10209-017-0588-y.
- Clunie,L., Morris, N., Joynes, V., & Pickering, J. (2017). How comprehensive are research studies investigating the efficacy of technology-enhanced learning resources in anatomy education? A systematic review, *Anatomical Sciences Education*, 11(3), 303–319. doi: 10.1002/ase.1762
- Guerrero, J., Mera, J., Lopez, W., Reinoso, R., & Davila, C. (2018). Use of augmented reality AR in university environments, 2018 5th International Conference on eDemocracy and eGovernment, ICEDEG 2018, (pp. 291-297), Ambato, Ecuador: IEEE. doi: 10.1109/ICEDEG.2018.8372323
- Hadie, S., Simok, A., Shamsuddin, S., & Mohammad, J. (2019). Determining the impact of pre-lecture educational video on comprehension of a difficult gross anatomy lecture, *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 14(4), 395–401. doi:10.1016/j.jtumed.2019.06.008
- Harncharnchai, A., & Saeheaw, T. (2018). Context-aware learning using augmented reality and WebQuest to improve students' learning outcomes in history, *International Journal of Innovation and Learning*, 23(3), 283-30. doi: 10.1504/IJIL.2018.091090
- Hou, H., & Li, M. (2014). Evaluating multiple aspects of a digital educational problem-solvingbased adventure game, *Computers in Human Behavior*, 30, 29-38. doi: 10.1016/j.chb.2013.07.052

- Hsieh, M. (2016). Development and evaluation of a mobile AR assisted learning system for English learning, International Conference on Applied System Innovation, IEEE ICASI 2016, (pp. 1-4 ),Okinawa, Japón: IEEE. doi: 10.1109/ICASI.2016.7539743
- Hsu, C., & Hwang, G. (2014). A context-aware ubiquitous learning approach for providing instant learning support in personal computer assembly activities, *Interactive Learning Environments*, 22(6), 687-703. doi: 10.1080/10494820.2012.745425
- Huang, Y. & Lin, P. (2017). Evaluating students' learning achievement and flow experience with tablet PCs based on AR and tangible technology in u-learning, *Library Hi Tech*, 35(4), 602-614. doi: 10.1108/LHT-01-2017-0023
- Ibáñez, M., & Delgado-Kloos, C.(2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review, *Computers and Education*, 123, 109-123. doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002
- IEEE (2019). *P1589/D3, Oct 2019 - IEEE Approved Draft Standard for an Augmented Reality Learning Experience Model* [Internet]. Retrived from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8890049>
- IEEE (2019). *P2048.7 - Standard for Virtual Reality and Augmented Reality: Map for Virtual Objects in the Real World* [Internet]. Retrived from: <https://development.standards.ieee.org/myproject-web/public/view.html#pardetail/6925>
- Lai, C., Hwang, G., Liang, J., & Tsai, C.(2016). Differences between mobile learning environmental preferences of high school teachers and students in Taiwan: a structural equation model analysis, *Educational Technology Research and Development*, 64(3), 533-554. doi: doi.org/10.1007/s11423-016-9432-y.
- Lee, M. (2015). Effects of mobile phone-based app learning compared to computerbased web learning on nursing students: Pilot randomized controlled trial. *Healthcare Informatics Research*, 21(2), pp. 125-133. doi: 10.4258/hir.2015.21.2.125
- Lin, K., Yang, Y., & Lai, C. (2017). The Use of Quick Response Codes for Teaching Pharmacology to College Nursing Students in Taiwan, *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, 35(3), p.152–157. doi: 10.1097/CIN.0000000000000301
- Okundaye, O., Chu, S., & Quek, F. (2019). Broadening Participation for Remote Communities: Situated distance telepresence, Interaction Design and Children - IDC '19, (pp. 494-500), New York, USA: Association for Computing Machinery. doi: 10.1145/3311927.3325318
- Rochlen, L., Levine, R. & Tait, A. (2017). First-person point-of-view-augmented reality for central line insertion training: A usability and feasibility study, *Simulation in Healthcare*, 12(1), 57-60. doi:10.1097/SIH.000000000000185
- Schmitz, B., Schuffelen, P., Kreijns, K., Klemke, R., & Specht, M.(2015). Putting yourself in someone else's shoes: The impact of a locationbased, collaborative role-playing game on behaviour, *Computers & Education*, 85, 160–169. doi: 10.1016/j.compedu.2015.02.012

- Sen, A., Chuen, C., Liew, S. & Hta, A. (2017). Augmented reality as a tool for authentic learning of clinical skills in early years of medical training, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*,(pp. 231-242), Dublin, Irlanda : Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-74310-3\_25
- Sen, A., Chuen, C., Liew, S., & Hta, A. (2018). Toward smart learning environments: Affordances and design architecture of augmented reality (AR) applications in medical education, *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 79, 843-861. doi: 10.1007/978-981-10-5828-8\_80
- Shroff, R., C. Keyes, C., & Linger, W. (2015). A proposed taxonomy of theoretical and pedagogical perspectives of mobile applications to support ubiquitous learning, *Ubiquitous Learning*, 8(4), 23-44
- Sugiura, A., Kitama, T., Toyoura, M., & Mao, X. (2019). The use of augmented reality technology in medical specimen museum tours, *Anatomical Sciences Education*, 12(5), 561-571. doi: 10.1002/ase.1822
- Sung, Y., Chang, K., & Liu, T. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis, *Computers and Education*, 94, 252-275. doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002
- Sung, Y., Lee, H., Yang, J., & Chang, K. (2019). The Quality of Experimental Designs in Mobile Learning Research: A Systemic Review and Self-Improvement Tool, *Educational Research*, 28, 100279. doi: doi.org/10.1016/j.edurev.2019.05.001
- Torres-Carrión, P., González-González, C., Aciar, S., & Rodríguez-Morales, G. (2018) Methodology for Systematic Literature Review applied to Engineering and Education, 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON),(pp. 1364-1373), Santa Cruz de Tenerife, España: IEEE. doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363388
- Torres-Carrión, P., González-González, C., Bernal-Bravo, C., & Infante-Moro, A. (2019). Gesture-based children computer interaction for inclusive education: A systematic literature review. *Communications in Computer and Information Science*, 895, 133-147. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05532-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05532-5_10)
- Ugidos, M., Haro, F., Ruggiero, A., Manzoor, S. & Méndez, J. (2019). Evaluation of the Applicability of 3d Models as Perceived by the Students of Health Sciences, *Journal of Medical Systems*, 43(5). 108. doi: 10.1007/s10916-019-1238-0
- Van Nuland, S. & Rogers, K. (2017). The skeletons in our closet: E-learning tools and what happens when one side does not fit all, *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 570-588. doi: 10.1002/ase.1708
- Wang, T., & Yang, K. (2016). Technology-enhanced science teaching and learning: Issues and trends, *Innovate Technology in Science Education in Science Education Research and Practice in Asia*, (pp. 461-481), Taiwan: Springer.

- Wesiak, G. Moore, A., Dagger, D., Power, G., Berthold, M., & Conlan, O. (2014). Iterative augmentation of a medical training simulator: Effects of affective metacognitive scaffolding, *Computers & Education*, 76, 13–29. doi: 10.1016/j.compedu.2014.03.004
- Wüller, H., Behrens, J. Garthaus, M. Marquard, S. Remmers, H. (2019). A scoping review of augmented reality in nursing, *BMC Nursing*, 18(1). 19. doi: 10.1186/s12912-019-0342-2
- XR Association (2018). *XR Primer 2.0: a starter guide for developers* [Internet]. Retrived from: <https://xra.org/wp-content/uploads/xra-primer-2.0-web-v2.pdf>
- Yeom, S., Choi-Lundberg, D., Fluck, A., & Sale, A. (2017). Factors influencing undergraduate students' acceptance of a haptic interface for learning gross anatomy, *Interactive Technology and Smart Education*, 14, 1, 50–66, 2017
- Yilmaz, R. & Goktas, Y. (2017). Using augmented reality technology in storytelling activities: Examining elementary students' narrative skill and creativity, *Virtual Reality*, 21(2), 75-89. doi: 10.1007/s10055-016-0300-1
- Yoo, L., & Lee, Y. (2015). The effects of mobile applications in cardiopulmonary assessment education, *Nurse Education Today*, 35(2), pp. e19-e23. doi: 10.1016/j.nedt.2014.12.002

# Proceso ágil para soportar la gestión de la configuración de software

Carlos Orozco<sup>1</sup>, César Pardo<sup>1</sup>, Sebastián Vásquez<sup>1</sup>, Hugo Ordoñez<sup>1</sup>, Elizabeth Suescún<sup>2</sup>

carlosorozco@unicauca.edu.co, cpardo@unicauca.edu.co, jsvasquez@unicauca.edu.co, hugoordonez@unicauca.edu.co, esuescu1@eafit.edu.co

<sup>1</sup>Grupo de investigación GTI, Universidad del Cauca, 19001, Popayán, Colombia.

<sup>2</sup>Departamento de Informática y Sistemas, Universidad EAFIT, 050021, Medellín, Colombia.

Pages: 345–358

**Resumen:** Actualmente, existe existen diferentes modelos y estándares que sirven como referencia para soportar el proceso de gestión de la configuración de software, entre los más destacados se encuentran: IEEE 828-2012, CMMI-DEV, ISO 10007:2003 e ISO/IEC 15504. Sin embargo, su aplicación se ve condicionada en empresas con infraestructuras y talento humano limitados. En este sentido, el artículo presenta un proceso para la gestión de la configuración en pequeñas y medianas empresas de desarrollo de software denominado Progresconfig, que agrupa un conjunto de prácticas en tres niveles de capacidad: esencial, complementario y realizado. Progresconfig fue diseñado a partir de la armonización de múltiples modelos y estándares, así como: IEEE 828-2012, CMMI-DEV e ISO/IEC 15504. Además, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de la propuesta por medio de su aplicación en un estudio de caso en una empresa desarrolladora de software.

**Palabras-clave:** gestión de configuración de software (GCS); CMMI; IEEE 828-2012; ISO 10007:2003; ISO 33000.

## *An agile process to support software configuration management*

**Abstract:** Currently, there are different models and standards that serve as a reference to support the software configuration management process, among the most prominent are: IEEE 828-2012, CMMI-DEV, ISO 10007: 2003 and ISO / IEC 15504. However, its application is conditioned in companies with limited infrastructure and human talent. In this sense, this article presents a process for configuration management in small and medium-sized software development companies called Progresconfig, which groups together a set of practices in three levels of capacity: essential, complementary and accomplished. This process was designed based on the harmonization of multiple models and standards, as well as: IEEE 828-2012, CMMI-DEV and ISO / IEC 15504. In addition, the results obtained from the evaluation of the proposal are presented through its application in a case study in a software developer.

**Keywords:** software configuration management (SCM); CMMI; IEEE 828-2012; ISO 10007: 2003; ISO 33000.

## 1. Introducción

Las micro, pequeñas y medianas empresas de software (MiPyMEs\_DS) se enfrentan a retos específicos dada la naturaleza compleja del software y el alto nivel de incertidumbre en los proyectos que llevan a cabo, por lo cual, se hace necesario establecer modelos que faciliten las actividades relacionadas a la gestión de los cambios y los artefactos involucrados durante el proceso de desarrollo, tales como: especificación de requisitos, documentación de las actividades relacionadas al análisis y diseño, código fuente, pruebas de software, artefactos de despliegue del producto, cambios derivados del mantenimiento, entre otros (Perera et al., 2013). De acuerdo a lo anterior, se hace necesaria la adopción de buenas prácticas que faciliten la gestión de la configuración en los proyectos software. La gestión de la configuración surgió originalmente con el objetivo de llevar a cabo el control de los cambios en procesos relacionados con la manufactura de hardware y el área industrial (Buckle, 1982), sin embargo, el auge de la industria del software trajo consigo una adaptación de la GC conocida actualmente como: gestión de la configuración de software (GCS), la cual se define como: *el proceso cuyo objetivo es la identificación de la configuración del software en un punto discreto del tiempo, y el control sistemático de los cambios de la configuración identificados con el propósito de mantener la integridad y trazabilidad durante el ciclo de vida del software* (Ben Menachem, 1995).

Para producir y mantener software de alta calidad, a bajo costo y de forma efectiva, son fundamentales los procesos utilizados en su desarrollo, para ello, la GCS es uno de los procesos fundamentales que permite mantener la integridad del producto, permite mantener la trazabilidad en el código fuente, la documentación, los cambios solicitados y cambios que se han realizado sobre el producto, entre otros (Perera et al., 2013). Según (Estublier, 2000), actualmente las empresas que desarrollan software se enfrentan a diferentes desafíos funcionales relacionados con GCS, entre ellos: (i) control de versiones, (ii) control de la configuración para modelos de datos complejos, (iii) gestión de repositorios y áreas de trabajo en entornos cada vez más distribuidos y complejos, (iv) gestión de ambientes para proyectos web, (v) desarrollo en paralelo (Bendix, Kojo, & Magnusson, 2011), entre otros. Además, es posible mencionar problemas no funcionales entre los que se encuentran: lograr una mayor escalabilidad, disponibilidad y eficiencia (Estublier, 2000).

Teniendo en cuenta lo anterior, actualmente existen soluciones que permiten soportar al proceso de GCS, algunas de ellas son: IEEE 828-2012 (IEEE, 2012), CMMI-DEV 2.0 (CMMI Institute, 2020), ISO 10007:2003 (ISO, 2017) e ISO 33000 (ISO, 2020); las soluciones (en adelante modelos de referencia - MR) fueron pensadas para dar soporte a grandes empresas con características diferentes a las de las MiPyMEs\_DS, donde la aplicación de los modelos requeriría una gran: inversión económica, esfuerzo y tiempo; aspectos limitados en empresas de este tipo (Regalado Hernández, 2007). Por otra parte, debido al creciente interés de las MiPyMEs\_DS en incursionar en el mercado global de desarrollo de software, se han definido un conjunto de perfiles y buenas prácticas para el ciclo de vida del software en pequeñas organizaciones a través del estándar ISO/IEC 29110 (ISO/IEC 29110-2-1, 2015). Sin embargo, el estándar no define de manera detallada prácticas que permitan establecer los lineamientos para definir un proceso de gestión de la configuración del software de manera clara. Por otro lado, es posible



encontrar enfoques ágiles que permiten soportar la gestión de proyectos y productos software, pero éstos no describen prácticas específicas para la GCS, por ejemplo: Scrum, Kanban, XP, SAFe, LeSS, entre otros.

Por otra parte, la carencia de un perfil completo que pueda ser adoptado por MiPyMEs\_DS, trae como consecuencia una fuerte tendencia hacia el uso incompleto e informal de GCS a través del uso de herramientas para solucionar problemas específicos como: el control de versiones y la integración continua, y aunque es claro que el propósito de las herramientas para GCS es facilitar la gestión, coordinación, intercambio y cambios en los artefactos software (Asklund, Bendix, & Ekman, 2004), se debe ver a la GCS como un proceso fundamental que debería tener lugar en cualquier proyecto de desarrollo de software (Asklund et al., 2004), por lo tanto, GCS no debería ser limitado solamente al uso de herramientas, sino también de buenas prácticas y procesos. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta Progresconfig, el cual es un proceso para la Gestión de la Configuración de Software ágil en MiPyMEs\_DS, que describe un conjunto de prácticas detalladas y organizadas en tres niveles para facilitar su adopción.

Además de la presente introducción, el documento se organizó de la siguiente manera: la Sección II muestra los trabajos relacionados. La Sección III presenta Progresconfig, un proceso ágil para la gestión de la configuración de software. La Sección IV describe la evaluación realizada de Progresconfig a través de un estudio de caso. Las conclusiones y trabajos futuros se presentan en la Sección V. Finalmente, en la Sección VI se presentan los agradecimientos.

## 2. Estado del arte

Con el análisis de los trabajos relacionados fue posible identificar algunos modelos, herramientas, estudios de caso y propuestas relacionadas a la GCS, algunos de ellos fueron: estudio que identifica de manera cualitativa el impacto en el uso de procesos y prácticas para soportar la GCS aplicada en diferentes tipos de empresas desarrolladoras de software (Perera et al., 2013), aplicación de procesos para soportar la GCS a empresas como: CERN, AIRBUS, Crossrail (Whyte, Stasis, & Lindkvist, 2016), desarrollo de herramientas y marcos de trabajo para soportar la GC en todas las etapas del ciclo de vida de desarrollo de software, entre ellas: análisis, diseño, implementación, mantenimiento y su integración con el área de trazabilidad para la identificación y gestión de información en entornos de datos complejos y con un alto grado de incertidumbre (Kocar & Akgunduz, 2010; Murta, Oliveira, Dantas, Lopes, & Werner, 2007), otros estudios identifican el nivel de relación entre el proceso de GC y enfoques ágiles así como: Lean Thinking, Scrum y Extreme Programming (XP) a través de su aplicación en estudios de caso (Asklund et al., 2004)(Durrani, Pita, Richardson, & Lenarcic, 2014)(Gupta & Zhdanov, 2015). Otros estudios, tratan de identificar la relación entre el proceso de GCS con otros enfoques para el desarrollo de software e incluso su aplicabilidad en la industria de software libre y código abierto (Bartusevics & Novickis, 2014; Bendix et al., 2011; Premraj, Tang, Linssen, Geraats, & van Vliet, 2011), por último, otros estudios buscan aplicar estrategias para medir y mitigar el impacto de los cambios que pueden surgir en entornos de desarrollo de software que involucran múltiples líneas de producción (Hajri, Goknil, Briand, & Stephany, 2018).



Por otra parte, existen diferentes modelos y estándares de facto que soportan la GC, algunos de ellos son: (i) CMMI\_DEV 2.0, modelo de madurez para el desarrollo de software, (ii) IEEE 828-2012 (IEEE, 2012), estándar internacional que establece los requerimientos mínimos para llevar a cabo gestión de la configuración en sistemas e ingeniería del software, y el estándar (iii) ISO 33000, estándar internacional que define un área de proceso para la gestión de la configuración.

### **2.1. Brechas existentes**

A partir del análisis del estado del arte, es posible notar que: (i) no se evidencian estudios donde se defina una solución basada en procesos para soportar la GCS en MiPyMEs\_DS, y por otra parte, (ii) en los últimos 10 años ha sido posible observar un creciente interés de la comunidad por la gestión de la configuración de software, quizá debido a la aparición de otros aspectos relacionados como: el despliegue e integración continua, aspectos que han surgido dada la alta exigencia del mercado en los tiempos de entrega de nichos de mercado nacional e internacional.

## **3. Proceso ágil para la gestión de la configuración en MiPyMEs\_DS**

Progresconfig es un Proceso ágil para la gestión de la configuración en MiPyMEs\_DS, el cual armoniza e integra las mejores prácticas de GC de los siguientes enfoques, estándares y modelos, así como: Scrum, XP, CMMI-DEV v2.0, IEEE 828-2012 e ISO 33000. La armonización de modelos de referencia se llevó a cabo utilizando el framework para la armonización y obtención de modelos híbridos propuesto en (Pardo, Pino, García, Baldassarre, & Piattini, 2013), el cual es un marco de trabajo que permite homogeneizar las diferencias estructurales de diferentes soluciones, identificar sus puntos en común para su posterior integración de ser necesario. Debido al límite de espacio, la estrategia de armonización seguida para la definición de Progresconfig a partir de la armonización de modelos utilizados como base, está fuera del alcance del artículo. A continuación, se describe Progresconfig con relación a su: alcance, roles, procesos y niveles de capacidad propuestos.

### **3.1. Alcance del proceso**

Progresconfig es un proceso para soportar la GCS en MiPyMEs\_DS con un mínimo de tres personas.

### **3.2. Roles involucrados**

Progresconfig toma como base los roles definidos en Scrum y XP, la Tabla 1 presenta los roles definidos. Progresconfig también identifica los roles que no participan de manera directa en el proceso pero que pueden iniciar una tarea de petición de cambio. Como resultado, se identificaron dos roles externos, los cuales son: los interesados y el cliente (abreviados como INC). Progresconfig recomienda que el tamaño mínimo de personas para su ejecución sea 3, para que cada miembro tenga un rol asignado especialmente para los roles AP, ED y DP. Los roles EC, TC y CCC pueden ser realizados por un miembro del ED. Si bien, en los equipos ágiles las estructuras tienden a ser horizontales, se espera

que los nuevos roles propuestos (EC, TC y CCC) sean asignados a alguien del equipo de desarrollo, asegurando que la GCS está a cargo de al menos una persona.

N.	Acrónimo	Roles directos
1	AP	Administrador del proyecto (scrum master).
2	ED	Equipo de desarrollo (team).
3	DP	Dueño del producto (product owner).
4	EC	Experto en configuración (debe ser un miembro del team).
5	TC	Técnico de configuración (debe ser un miembro del team).
6	CCC	Comisión de control de la configuración (deben ser al menos dos miembros del team).
Acrónimo		Roles indirectos
7	INC	Interesado y Cliente

Tabla 1 – Roles propuestos que participan en el proceso.

### 3.3. Actividades

La estructura utilizada para la organización y presentación de la información descrita en Progresconfig es la definida por COMPETISOFT (Oktaba, Piattini, Pino, Orozco, & Alquicira, 2008). La Tabla 2 presenta un resumen de cada una de las actividades que componen el proceso.

Acrónimo	Actividad	Descripción
GCSA.A1	Desarrollar una estrategia de gestión de la configuración.	Identificar y describir el objetivo, alcance, actividades y responsables para llevar a cabo el proceso de GC en el proyecto mediante la definición de un plan formal (normalizado).
GCSA.A2	Identificación de la configuración.	Identificar, describir, relacionar y estandarizar cada uno de los ítems de configuración (IC) existentes en el proyecto. Asignar los responsables de cada artefacto y los repositorios donde se van a almacenar y actualizar. Un IC se refiere a un producto de trabajo sensible a cambios y que debe ser controlado durante el ciclo de vida de un proyecto de software, por ejemplo: un caso de uso.
GCSA.A3	Establecer las líneas base.	Identificar cada una de las líneas base existentes en el proyecto, asignar su responsable y el repositorio donde se va a almacenar y actualizar. Una línea base se refiere al conjunto de especificaciones o productos de trabajo que han sido revisados y aceptados formalmente, los cuales sirven como base para futuros desarrollos, y pueden ser cambiados solo a través de procedimientos formales de control de cambios.
GCSA.A4	Establecer una estrategia para la modificación de los ítems de configuración.	Definir políticas y criterios para llevar a cabo el control de versiones en los IC. Identificar las herramientas para la automatización de solicitudes de cambio en los IC y definir criterios para la unión entre líneas base.
GCSA.A5	Mantener la descripción de los ítems de configuración.	Identificar los IC que son demasiado complejos y dividirlos en IC más fáciles de controlar.

Acrónimo	Actividad	Descripción
<b>GCSA.A6</b>	Controlar la modificación de los ítems de configuración.	Definir estrategias para identificar, describir, realizar, documentar y trazar cada una de las solicitudes de cambio solicitadas por cualquiera de los roles relacionados al proceso.
<b>GCSA.A7</b>	Proceso de monitoreo.	Definir estrategias para llevar a cabo el monitoreo del proceso mediante tareas de evaluación física y funcional que permitan validar la integridad del proceso con el paso del tiempo.

Tabla 2 – Procesos y actividades definidas en Progresconfig.

A continuación, en la Figura 1, se presenta un extracto de la actividad **GCSA.A6 Controlar la modificación de los ítems de configuración**, en el cual se describe la tarea: *identificar y llevar a cabo una petición de cambio solicitada por un miembro del equipo de desarrollo.*

El flujo de cada una de las actividades relacionadas al proceso realizó utilizando la notación para el modelado de procesos de negocio (Business Process Model and Notation - BPMN) y apoyado en la herramienta Bizagi (Bizagi Digital, 2020). El proceso completo puede ser consultado en el siguiente enlace: <https://progresconfig.blogspot.com>.

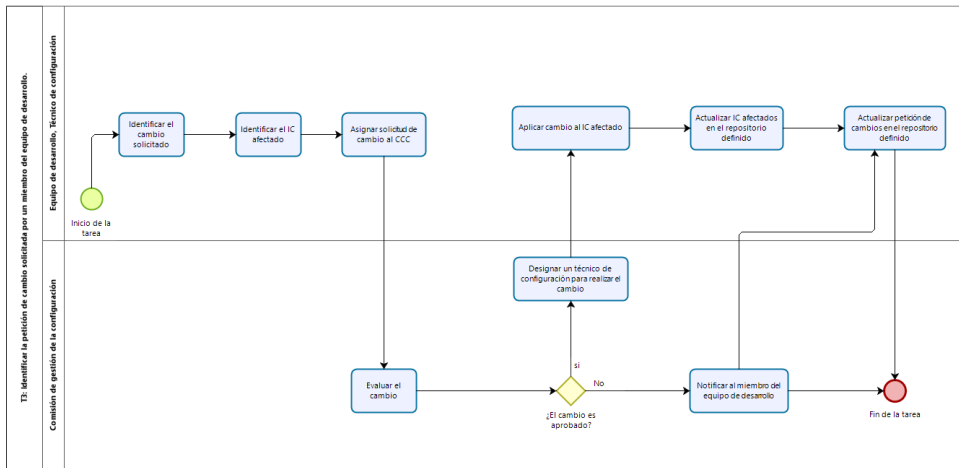


Figura 1 – Extracto del proceso. Fuente: Propia.

### 3.4. Niveles de capacidad

Progresconfig describe tres niveles de capacidad: (i) esencial, (ii) complementario y (iii) realizado. Los niveles representan la segmentación del conjunto de actividades que una empresa debería adoptar de manera incremental y se basa en las actividades descritas en la Tabla 2. La Tabla 3 presenta los niveles de capacidad, nombre, descripción y actividades relacionadas. Los niveles de capacidad ofrecen la oportunidad de adoptar las prácticas de manera incremental, natural, orgánica, controlada y con una necesidad de esfuerzo medurado para las MiPyMEs.

NC	Nombre	Descripción	Objetivo	Actividades relacionadas
1	Esencial	Establece las prácticas básicas que una empresa requiere para planear una estrategia de GC y la identificación de todos los ítems que son sensibles de configuración en un proyecto.	Identificar todos los elementos sensibles de configuración y designar sus responsables.	GCSA.A1 GCSA.A2
2	Complementario	Establece las estrategias y políticas para llevar a cabo el control de los cambios asociados a cada uno de los ítems de configuración que han sido identificados dentro del proyecto.	Definir los mecanismos y estrategias formales para controlar y gestionar los cambios a los elementos identificados en el nivel de capacidad 1 (Esencial).	GCSA.A3 GCSA.A4 GCSA.A5 GCSA.A6
3	Realizado	Define las prácticas para soportar los procesos de evaluación, auditoría, control de la calidad y trazabilidad de los ítems de configuración.	Monitorear los ítems de configuración existentes para asegurar la trazabilidad del sistema a través del tiempo.	GCSA.A7

**Acrónimo utilizado: NC: Nivel de capacidad.**

Tabla 3 – Niveles de capacidad propuestos en el proceso.

## 4. Evaluación de la propuesta

Progresconfig fue evaluado a través de dos grupos focales y un estudio de caso, lo cual permitió disminuir la subjetividad de la propuesta, por las limitaciones de espacio la información relacionada a los grupos focales no será presentada. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el estudio de caso.

### 4.1. Estudio de caso

El diseño del estudio de caso y la recolección de datos fueron llevados a cabo siguiendo la lista de chequeo para estudios de caso en la ingeniería de software propuesto en (Runeson & Höst, 2009). Teniendo en cuenta la aproximación definida por (Yin, 2013), se llevó a cabo un estudio de caso simple, debido a que la propuesta fue evaluada en una sola empresa, por solicitud de ésta, en adelante será referida como: LA EMPRESA. En las siguientes subsecciones se describe el estudio de caso en términos de: antecedentes, diseño, sujetos y unidades de análisis, procedimiento y captura de información, intervención en el estudio de caso, análisis de resultados y lecciones aprendidas. Para la evaluación cualitativa de la propuesta se definieron las siguientes preguntas de investigación: (i) ¿Progresconfig es adecuado para soportar la gestión de la configuración de software en una MiPyME\_DS? y (ii) ¿Progresconfig permite identificar, controlar y hacer seguimiento a los cambios en un proyecto de desarrollo de software llevado a cabo por una MiPyME\_DS?

#### 4.1.1. Diseño

Con el fin de evaluar la idoneidad del proceso Progresconfig, se definieron las siguientes *unidades de medida*: (i) la aceptación de los participantes involucrados en la aplicación

del proceso, (ii) las oportunidades de mejora identificadas posterior a la aplicación de la propuesta, y (iii) la comparación de esfuerzo empleado para la adopción del proceso en función del esfuerzo realizado en proyectos anteriores. El esfuerzo fue evaluado en función de dos variables: tiempo (en horas) ocupado por cada uno de los recursos involucrados en cada una de las actividades definidas para la aplicación del proceso, y la cantidad de participantes involucrados en cada una de las actividades propuestas en Progresconfig. Finalmente, se realizó una evaluación cualitativa a través de una encuesta a cada uno de los participantes que permitió observar comportamientos, relaciones y oportunidades de mejora.

#### **4.1.2. Sujetos y unidades de análisis**

El estudio de caso fue llevado a cabo en una MiPyME, la definición de tamaño empresarial para micro, pequeña, mediana y grande empresa puede ser encontrada en (Mincomercio, 2020). Dicha empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Popayán; la cual tiene aproximadamente 50 empleados y más de diez años de experiencia en el desarrollo de soluciones informáticas para el sector Salud. El estudio de caso se aplicó en uno de los proyectos de LA EMPRESA conformado por 23 personas y que requerían la definición de un proceso de GC para apoyar el proceso de desarrollo de su solución de una manera mucho más exhaustiva.

Las *unidades de análisis* definidas para el estudio de caso fueron: (i) las actividades propuestas en Progresconfig, y (ii) la caracterización de Progresconfig a través de los niveles de capacidad. El *procedimiento* que se siguió para realizar el estudio de caso fueron las actividades descritas en la Tabla 2, cada actividad cuenta con sus entradas, salidas, roles y tareas correspondientes. La captura de información fue definida mediante la comparación de los tiempos obtenidos obtenida a partir de la ejecución de la iteración, en adelante: *Sprint*, y la capacidad futura de un equipo para desarrollar funcionalidades en un proyecto dado, en adelante: *velocidad de desarrollo del equipo*, aplicado antes y después de la implementación de la propuesta. El estudio de caso tuvo la duración de un Sprint de 4 semanas. A continuación, se describen los aspectos más importantes en la ejecución del estudio de caso a través de algunas de las actividades descritas en la Tabla 2.

**GCSA.A1. Desarrollar una estrategia de gestión de la configuración:** Actividad que consistió en dos reuniones que involucraron al gerente de proyectos, el experto en configuración y a tres miembros del equipo de desarrollo, el objetivo fue definir un plan para la GC, el resultado fue un plan aplicable a todo el proyecto.

**GCSA.A2. Identificación de la configuración:** Debido a que durante el proyecto LA EMPRESA había identificados todos los elementos de configuración existentes, la tarea se simplificó a la identificación de aquellos ítems nuevos. Esta tarea se llevó a cabo mediante la aplicación sistemática de las tareas relacionadas a la actividad. Como resultado, se identificaron todos los elementos nuevos sensibles a ser configurables no contemplados en el proyecto hasta el momento.

**GCSA.A3. Establecer las líneas base:** Como resultado de ejecutar la actividad, se identificaron todas las líneas base de desarrollo que debían ser controladas mediante tareas de seguimiento y control (ver Tabla 4). Cada línea base tenía asociada una línea base documental para controlar los cambios en los artefactos relacionados.

Identificador	Descripción
3.3.0_DES	Línea de desarrollo dedicada a todas las funcionalidades que actualmente se encuentran en construcción y que pertenecen al núcleo de la aplicación definida por el proyecto.
3.3.0_QA	Línea dedicada a la resolución de incidencias relacionadas a las funcionalidades liberadas desde la línea 3.3.0_DES.
3.4.0_DES	Línea de desarrollo nueva creada para la construcción de funcionalidad a la medida de un cliente particular.
3.4.0_QA	Línea dedicada a la resolución de incidencias relacionadas a las funcionalidades liberadas desde la línea 3.4.0_DES.
3.2.0_RC	Línea que actualmente se encuentra en producción.

Tabla 4 – Líneas base identificadas.

Es importante mencionar que el proyecto contaba a priori con un conjunto de herramientas como Jira (Atlassian, 2020), Subversion (Apache Software Foundation, 2020), y políticas definidas para hacer el seguimiento de las incidencias, mejoras o cambios en cada artefacto relacionado a la línea principal de desarrollo, las cuales siguieron siendo utilizadas extendiendo su aplicación a cada una de las líneas base nuevas.

#### 4.1.3. Ejecución

Después de identificar todos los elementos sensibles a configuración y todas las líneas de desarrollo involucradas, se definió un Sprint de cuatro semanas para llevar a cabo las tareas de análisis, implementación (desarrollo y pruebas unitarias) y pruebas relacionadas a dos casos de uso definidos por el proyecto, los cuales se realizaron sobre la línea de desarrollo 3.4.0\_DES (ver Tabla 4). El participante responsable de desarrollar los dos casos de uso involucrados en el Sprint estuvo encargado también de la resolución de incidencias y mejoras identificadas a otros artefactos relacionados a la línea de desarrollo, línea de pruebas y la línea de producción. En la Tabla 5 se presenta la cantidad de solicitudes de cambio realizadas en tiempo de desarrollo, la línea de desarrollo afectada y el tiempo (horas) total dedicado para solucionar los incidentes.

Línea afectada	Cantidad de solicitudes de cambio	Tiempo (horas)
3.3.0_DES	8	3.2
3.3.0_QA	4	0.42
3.4.0_DES	0	0
3.4.0_QA	21	4.2
3.2.0_RC	5	2.3
Total	38	10.12

Tabla 5 – Solicitudes de cambio.

#### 4.1.4. Análisis de los resultados y lecciones aprendidas del estudio de caso

A continuación, se presentan los aspectos relevantes en la aplicación de Progresconfig a través del estudio de caso. Para ello, se describen los resultados obtenidos mediante el análisis del esfuerzo asociado a cada una de las tareas realizadas durante el Sprint en cada uno de los artefactos (ver Tabla 5)

**Análisis de esfuerzo:** el proyecto sobre el cual se aplicó el estudio de caso no contaba con un proceso claro para soportar la GC, con lo cual, el esfuerzo previo fue dedicado en la definición del proceso para la GCS y su integración con SCRUM para luego comenzar el Sprint. A partir del análisis de los resultados obtenidos durante la ejecución del Sprint, se pueden identificar distintos comportamientos relacionados con el esfuerzo de cada área de trabajo (análisis, desarrollo, pruebas, administrador de proyecto) en función de cada una de las fases definidas para el estudio de caso (inicio, análisis, desarrollo y pruebas de cada caso de uso definido para el Sprint), y además, el esfuerzo dedicado por algunos participantes a las tareas relacionadas con otras líneas base. En la Figura 2 se presenta un resumen del esfuerzo (representado en horas) involucrado en la ejecución del Sprint a nivel de definición del proceso, análisis, desarrollo y pruebas realizadas.

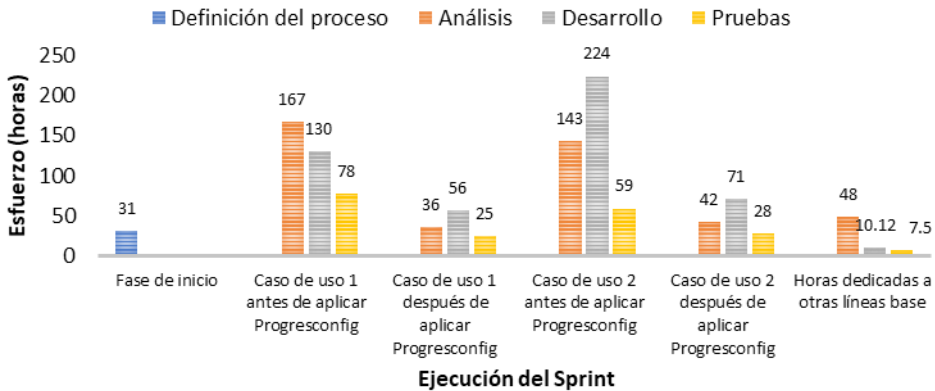


Figura 2 – Consolidado de preguntas grupo focal. Fuente: Propia.

A partir del análisis del esfuerzo en cada una de las fases de aplicación del proceso, fue posible identificar que:

- El esfuerzo dedicado durante la fase de inicio fue relativamente bajo, con un total de 31 horas dedicadas a definir el plan y la estrategia para aplicar la propuesta durante la ejecución de un Sprint mediante la definición del proceso, su integración al enfoque de gestión de proyectos existente (SCRUM) y la identificación de todos los artefactos que no se habían contemplado hasta ese momento.
- En general, el mayor esfuerzo dedicado durante la ejecución del Sprint en cada uno de los casos de uso definidos se dio en los tiempos de desarrollo.

- Debido a las características del proyecto, los analistas y el desarrollador involucrados en el estudio de caso debían trabajar de manera paralela en artefactos que afectan otras líneas base. Como resultado, la ejecución del Sprint contó con un esfuerzo adicional realizado que afectó otras líneas base.
- El esfuerzo dedicado durante la ejecución del Sprint en cada una de sus fases fue significativamente menor en comparación al esfuerzo inicial dedicado a los mismos artefactos en el pasado. En la Figura 2 se puede observar que los tiempos de los casos de uso después de usar Progresconfig fue menor, para el caso de uso 1 y 2 hubo una reducción en un 43.07% y 31.69%, respectivamente.

**Beneficios obtenidos en la aplicación del estudio de caso:** La implementación del estudio de caso trajo consigo un conjunto de beneficios comentados por los participantes, entre ellos:

- Los elementos de proceso descritos en Progresconfig hicieron posible realizar la identificación, control y seguimiento de todos los nuevos artefactos involucrados en el proyecto de manera sistemática y ordenada.
- La aplicación de la propuesta mejoró la gestión de la complejidad en la identificación y control de los artefactos del proyecto.
- El control de cambios en los artefactos involucrados se pudo llevar a cabo de manera ordenada y consistente con cada una de las líneas de desarrollo.
- La definición de diferentes líneas de desarrollo y documentación permitió llevar la trazabilidad de los cambios y los artefactos involucrados.

**Limitaciones del estudio de caso:** Con el objetivo de permitir que el plan de validez fuera llevado de la mejor manera, se consideraron varios factores, los cuales se describen a continuación:

- En cuanto a la validez de la evaluación, se utilizaron fuentes de evidencia como: entrevistas, observación participativa y documentación activa. La evidencia fue obtenida directamente de las reuniones realizadas durante la definición y ejecución de la propuesta, en los cuales cada participante llevó a cabo cada una de las actividades relacionadas al rol que tenía definido.
- La validez interna permitió determinar que la implementación de la propuesta en el estudio de caso logró satisfacer las necesidades identificadas por el proyecto.
- La validez externa fue llevada a cabo mediante el apoyo de un asesor que hizo parte de la definición y ejecución en el estudio de caso. Las observaciones y lecciones aprendidas fueron recolectadas con el objetivo de refinar el protocolo y el procedimiento de campo para ser capaces de realizar una replicación en futuros estudios de casos.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

La investigación indica que el uso de la gestión de la GC ha demostrado ser una herramienta importante que trae beneficios en términos de entregables con: mayor nivel de especificidad, equipos que operan de una manera más eficiente, reducción de costos operativos y un mejor manejo de la complejidad del negocio. El artículo presentó



Progresconfig, un proceso definido con el objetivo de facilitar y apoyar la adopción del proceso de GCS en empresas de desarrolladoras de software.

Durante la evaluación de la propuesta mediante el estudio de caso, fue posible observar que es necesario seguir analizando cómo facilitar la adopción de nuevos marcos para agilizar el desarrollo y despliegue de software mediante el uso de enfoques emergentes que extiendan las capacidades de la GC y su automatización. Actualmente, el mercado se encuentra marcado por una fuerte tendencia hacia la necesidad de ser ágil en todos los aspectos relacionados al desarrollo de software, por ejemplo: desarrollos iterativos e incrementales, toma de decisiones a corto plazo, equipos auto organizados y generación de valor al cliente. Lo anterior, tiene una fuerte correlación entre; el crecimiento de los proyectos y el control de los cambios relacionados a todos los artefactos que deben ser identificados, solucionados, desplegados y controlados de manera ágil.

Como trabajo futuro se espera: (i) llevar a cabo un estudio exploratorio que permita identificar la relación e integración de GCS con otras áreas de proceso y marcos de trabajo emergentes en la industria de software, por ejemplo: DevOps, (ii) facilitar la auditoría y la evaluación de los procesos de las MiPyMEs\_DS a nivel de GCS cuando múltiples modelos están presentes y (iii) evaluar la propuesta en diferentes tipos de empresa y establecer su flexibilidad y escalabilidad en múltiples entornos.

## 6. Agradecimientos

El profesor César Pardo agradece la contribución de la Universidad del Cauca, donde trabaja como profesor Asociado.

## Referencias

- Apache Software Foundation. (2020). Subversion. Retrieved February 13, 2020, from Apache Software Foundation website: <https://subversion.apache.org>
- Asklund, U., Bendix, L., & Ekman, T. (2004). Software Configuration Management Practices for eXtreme Programming Teams. *The 11th Nordic Workshop on Programming and Software Development Tools and Techniques*, 1–16. Turku, Finland.
- Atlassian. (2020). Jira Software. Retrieved February 13, 2020, from <https://www.atlassian.com/es/software/jira>
- Bartusevics, A., & Novickis, L. (2014). Models for Implementation of Software Configuration Management. *Procedia Computer Science*, 43(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.002>
- Ben Menachem, M. (1995). *Software Configuration Management Guidebook* (McGraw-Hill, Ed.). Washington, D.C.
- Bendix, L., Kojo, T., & Magnusson, J. (2011). Software Configuration Management Issues with Industrial Open sourcing. *IEEE Sixth International Conference on Global Software Engineering Workshop*, 85–89. <https://doi.org/10.1109/ICGSE-W.2011.21>

- Bizagi Digital. (2020). Plataforma para la Gestión de Procesos de Negocio (BPM) y colaboración. Retrieved February 13, 2020, from <https://www.bizagi.com>
- Buckle, J. K. (1982). *Software Configuration Management* (Macmillan Education, Ed.). California.
- CMMI Institute. (2020). *CMMI V2.0 model*. Retrieved from <https://cmmiinstitute.com/cmmi>
- Durrani, U., Pita, Z., Richardson, J., & Lenarcic, J. (2014). An empirical study of lean and agile influences in software configuration management. *Proceedings - Pacific Asia Conference on Information Systems*, 1–14.
- Estublier, J. (2000). Software Configuration Management: A Road Map. *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*, 279–289. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1145/336512.336576>
- Gupta, A., & Zhdanov, D. (2015). A Managed Approach of Interaction Between Agile Scrum and Software Configuration Management System. *Advances in Information Technology and Management*, 36(4), 1109–1130.
- Hajri, I., Goknil, A., Briand, L. C., & Stephany, T. (2018). Change impact analysis for evolving configuration decisions in product line use case models. *Journal of Systems and Software*, 139, 211–237. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.02.021>
- IEEE. (2012). *IEEE 828-2012, IEEE Standard for Configuration Management in Systems and Software Engineering* IEEE Computer Society.
- ISO/IEC 29110-2-1. (2015). *Software engineering -- Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs)*.
- ISO. (2017). *ISO 10007:2017, Quality management - Guidelines for configuration management*.
- ISO. (2020). *ISO 33000: Familia de normas para la evaluación y mejora de la capacidad y madurez de procesos*.
- Kocar, V., & Akgunduz, A. (2010). ADVICE: A virtual environment for Engineering Change Management. *Computers in Industry*, 61(1), 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.05.008>
- Mincomercio. (2020). Definición tamaño empresarial Micro, Pequeña, Mediana o Grande empresa. Retrieved February 13, 2020, from <https://bit.ly/2vuBAbu>
- Murta, L., Oliveira, H., Dantas, C., Lopes, L. G., & Werner, C. (2007). Odyssey-SCM: An integrated software configuration management infrastructure for UML models. *Science of Computer Programming*, 65(3), 249–274. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2006.05.011>
- Oktaba, H., Piattini, M., Pino, F. J., Orozco, M. J., & Alquicira, C. (2008). *Mejora de Procesos para Fomentar la Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria del Software de Iberoamérica*. Madrid, España: Ra-Ma.

- Pardo, C., Pino, F. J., Garcia, F., Baldassarre, M. T., & Piattini, M. (2013). From chaos to the systematic harmonization of multiple reference models: A harmonization framework applied in two case studies. *Journal of Systems and Software*, 86(1), 125–143. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.07.072>
- Perera, P., Atapattu, A. R. D. C., Dias, H. C. T., Liyanage, N. T., Silva, R. C., Rupasingha, P. S., ... Manawadu, C. D. (2013). The impact of effective configuration management usage in software development firms in Sri Lanka. *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Science and Education*. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2013.6553997>
- Premraj, R., Tang, A., Linssen, N., Geraats, H., & van Vliet, H. (2011). To Branch or Not to Branch? *Proceedings of the 2011 International Conference on Software and Systems Process*, 81–90. <https://doi.org/10.1145/1987875.1987890>
- Regalado Hernández, R. (2007). Las MIPYMES en Latinoamérica Estudios e Investigaciones en la Organización Latinoamericana de Administración. In Universidad de Guanajuato (Ed.), *Las MiPyMEs en Latinoamérica*. Buenos Aires, Argentina: EUMED.
- Runeson, P., & Höst, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical Software Engineering*, 14(2), 131–164. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9102-8>
- Whyte, J., Stasis, A., & Lindkvist, C. (2016). Managing change in the delivery of complex projects: Configuration management, asset information and 'big data.' *International Journal of Project Management*, 34(2), 339–351. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.006>
- Yin, R. K. (2013). *Case Study Research: Design and Methods. Fifth edition*. SAGE Publications.

# Prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo

Vinicio Ramos Valencia<sup>1</sup>, Natalia Layedra Larrea<sup>1</sup>, José Guerra Salazar<sup>1</sup>,  
Jéssica Montero Valencia<sup>2</sup>

vi\_ramos@esPOCH.edu.ec, nlayedra@esPOCH.edu.ec, j\_guerra@esPOC.edu.ec,  
jesy.montero@hotmail.com

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 060155, Chimborazo, Ecuador.

<sup>2</sup> Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, Fátima, 160155, Pastaza, Ecuador.

Pages: 359–372

**Resumen:** Se diseñó un prototipo de red de sensores inalámbricos para monitorización de calidad de agua. El prototipo Red de Monitorización de Fátima (RMF) se compone de un módulo de muestreo y de recolección de datos. El módulo de muestreo mide oxígeno disuelto, temperatura, pH y turbidez. Éste envía los datos vía inalámbrica al módulo de recolección de datos, donde se almacenan en un pendrive y Google Drive. Los datos son analizados en Labview 2016. El sensor de oxígeno disuelto tiene un error absoluto de  $\pm 0.05$  mg/l, el sensor de pH  $\pm 0.08$  pH, los sensores de temperatura y turbidez presentan un error mínimo. Mediante la prueba de repetitividad se comprobó que los datos tienden a ser homogéneos. Las pruebas de comunicación inalámbrica demostraron nitidez a 160 metros, cubren los requerimientos del diseño de red. El RMF es eficiente pues obtiene datos fiables y su implementación requiere 50% del precio de equipos especializados.

**Palabras-clave:** telecomunicaciones; redes de sensores inalámbricos; calidad de agua; monitorización.

## *Prototype of a wireless sensor network for monitoring water quality for recreational use*

**Abstract:** A prototype network of electronic sensors for water quality monitoring was designed. The Fatima Monitoring Network (RMF) prototype is made up of a data collection and sampling module. The sampling module measures dissolved oxygen, temperature, pH, and turbidity. In this case, the data is sent through the wireless data collection module, where it is stored on a USB stick and Google Drive. The data is analyzed in Labview 2016. The dissolved oxygen sensor has an absolute error of  $\pm 0.05$  mg / l, the pH sensor  $\pm 0.08$  pH, the temperature and turbidity sensors have a minimum error. Using the repeatability test, it was verified that the data used was homogeneous. Wireless communication tests demonstrated sharpness at 160 meters, meet network design requirements. The RMF is efficient

because it obtains reliable data and its implementation requires 50% of the price of specialized equipment.

**Keywords:** telecommunications; wireless sensor networks; water quality; monitoring.

## 1. Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes y esenciales para los seres humanos. Las personas necesitan este recurso para uso personal y para realizar actividades como la agricultura, ganadería, piscicultura, industria, turismo, recreación, entre otras; este uso del agua provoca problemas de contaminación que degradan la calidad de este recurso hídrico. En el área recreacional, la contaminación del agua puede causar alteraciones en la piel y afecciones en el estómago en caso de ser ingerida accidentalmente.

Los Gobiernos Provinciales son los encargados de monitorizar la calidad de agua en las cuencas hídricas para uso recreativo implementando programas de monitorización que muchas veces resultan extensos, costosos y tardíos, lo que dificulta realizar un monitoreo permanente de las cuencas hídricas. El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza (GADPPz), mediante la Dirección de Gestión Ambiental (DGA), implementa el Programa de la Microcuenca del Río Puyo, incluyendo los diques que son puntos estratégicos de turismo. El programa consiste en la toma de medidas in situ, y muestras enviadas al laboratorio.

Las redes de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network) son una alternativa para monitorizar los parámetros físicos ambientales. Estas redes consiguen integrar varias tecnologías ofreciendo una supervisión en tiempo real, obtención de datos y adaptación a diferentes ambientes. En este contexto, una red WSN puede incluir sensores que miden los parámetros físicos del agua y que pueden adaptarse al ambiente de un río. En el presente trabajo se propone una Red de Sensores Inalámbricos para la monitorización in situ de la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima, que es punto de monitoreo dentro del Programa de la Microcuenca del Río Puyo de la provincia de Pastaza.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Requerimientos del prototipo de la red de sensores inalámbricos

- La red debe estar diseñada para monitorizar la calidad de agua en el Dique Fátima. Los puntos de muestreo (nodos) son determinados por los ingenieros de la DGA.
- Los nodos sensores deben estar integrados por sensores que midan los parámetros Físico - Químicos necesarios para una monitorización in situ de la calidad de agua para uso recreativo.
- Los nodos sensores deben tener autonomía de energía, debe hacerse con materiales ligeros e impermeables adaptables a los niveles del agua del río.

- Los sensores deben estar calibrados de acuerdo con los valores de Criterios de calidad de aguas para aguas para fines recreativos mediante contacto primario presentes en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.
- Los datos obtenidos deben ser almacenados para un posterior análisis.
- El proyecto implementado para el Dique Fátima debe ser eficiente, sustentable, sostenible y larga duración.

## 2.2. Parámetros físico-químicos para la monitorización de la calidad de agua para uso recreativo

Siendo que el dique Fátima es un balneario natural formado por el río Puyo, su agua esta categorizada como dulce y superficial. Por lo tanto, los parámetros para medir la calidad de agua del Dique, como se observa en la Tabla 1, recae en los criterios de calidad de aguas para agua con fines recreativos mediante contacto primario de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Ministerio del Ambiente, 2018).

Dentro de los criterios de la calidad de agua para uso recreativo existen parámetros que se miden en el lugar, y parámetros que para ser medidos se toma muestras para enviarlas a un laboratorio.

Parámetro	Expresión	Unidad	Criterio calidad	Tipo
Parásitos nematodos intestinales			Ausencia	Químico
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	200	Químico
Coliformes totales	NMP	NMP/100 ml	2000	Químico
Coliformes fenólicos	Fenol	mg/l	0,002	Químico
Grasas y aceites	Partícula Visible		Ausencia	Físico
Material flotante	Visible		Ausencia	Físico
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación	>80	Físico-químico
pH	pH		6,5 – 8,3	Físico-químico
Relación nitrógeno – fósforo total			15:1	Químico
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	Químico
Visibilidad al disco Secchi será por lo menos de 2m de profundidad				Físico

Tabla 1 – Criterios de calidad de agua para aguas con fines recreativos mediante contacto primario Fuente: (MAE, 2018, p. 18).

El proyecto contempla aquellos parámetros que se pueden medir en el lugar y son:

- Oxígeno Disuelto: se lo define como la cantidad de oxígeno presente en el agua, es considerado como un indicador de contaminación. Existen tres formas de

medir el oxígeno disuelto: mg/l (miligramos por litro de agua), p.p.m. (partes por millón) y, % (porcentaje de saturación). En las aguas contaminadas los valores de saturación del Oxígeno son menores y dan indicio a la existencia de Coliformes fecales y Totales (Torres Andagana, A. C. & Chávez Suárez, T. R., 2015). Para transformar el oxígeno disuelto medido en mg/l a % porcentaje de saturación se usa la ecuación (VERNIER Software & Technology Caliper Logo, 2017) indicada en la figura 1, considerando que la altura de la zona es 940 metros y la presión aproximadamente 683mmHg.

$$\%OD = \frac{100\% * OD_{medido} (mg / l)}{OD_{100\%} (mg / l)}$$

Figura 1 – Ecuación de transformación de oxígeno disuelto

Donde:

- ODmedido(mg/l): valor que se obtiene de las mediciones con el sensor en tiempo real.
- OD100%(mg/l): valor del 100% Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/l) a cierta temperatura.

Potencial Hidrogeno (pH): es una medida de acidez dada por la cantidad de protones o iones de hidrogeno, su valor varía de 0 a 14 siendo 7 un pH neutro. El agua con valores de pH bajo 7 indica mayor presencia del ion hidrogenión y menor del ion hidroxilo, por lo tanto, el agua es ácida. Si el agua tiene mayor concentración del ion hidroxilo que el ion hidrogenión el agua es básica (Londoño Carvajal, A., Giraldo Gómez, G. I. & Gutiérrez Gallego, Á. A., 2010)

Temperatura: generalmente se expresa en grados Celsius (°C), aunque su unidad internacional es el grado Kelvin (°K). Si existe una temperatura mayor de la normal indica actividad biológica, química y física. Es un indicador de la presencia de contaminantes en el agua (Londoño Carvajal, A., Giraldo Gómez, G. I. & Gutiérrez Gallego, Á. A., 2010) que puede afectar a la cantidad de oxígeno presente en el agua.

Turbidez: Es una característica física del agua y se define como una propiedad óptica que produce que la luz no se transmita en línea recta por el agua. La presencia de material suspendido como arcilla, materia orgánica e inorgánica dividida puede causar que la luz sea dispersada o absorbida (Londoño Carvajal, A., Giraldo Gómez, G. I. & Gutiérrez Gallego, Á. A., 2010). La turbidez es un problema de percepción visual, al ver agua con un grado elevado de turbidez la mayoría de las personas asocian el aspecto con contaminación.

### 2.3. Diseño del prototipo de la red de sensores inalámbricos

La red inalámbrica está integrada por nodos de muestreo y un nodo central como se observa en la Figura 2. Para los nodos de muestreo se diseñó un módulo de muestreo y para el nodo central se diseñó un módulo de recolección de datos. Los nodos están distribuidos de acuerdo con una topología de red Malla, y conectados mediante tecnología Zigbee entre ellos y con el módulo de recolección de datos.

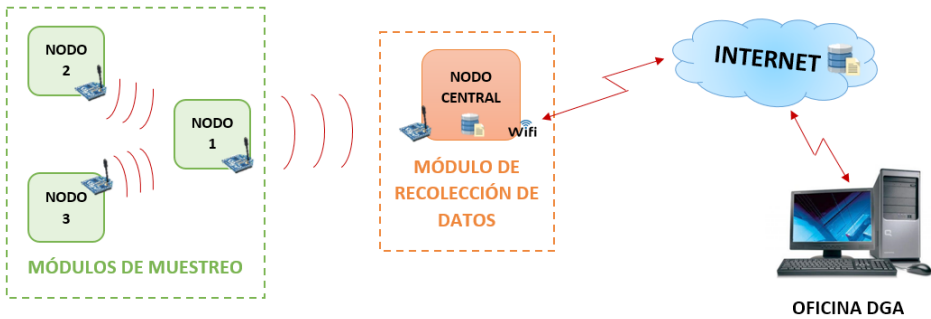


Figura 2 – Módulos del diseño de la red de sensores inalámbricos.

### 2.3.1. Módulo de muestreo

En la Figura 3 se presenta el diagrama de bloques del módulo de muestreo, que tiene como función principal recibir los datos obtenidos por los sensores y enviarlos al módulo de recolección de datos. El procesamiento de datos lo realiza una tarjeta de desarrollo, donde se conectan 4 bloques que corresponden a los sensores de los parámetros físico - químicos que contempla el prototipo, y son: oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbidez. Además, cuenta con un bloque de alimentación para todo el sistema y un bloque de transmisión de datos mediante una comunicación inalámbrica Zigbee.

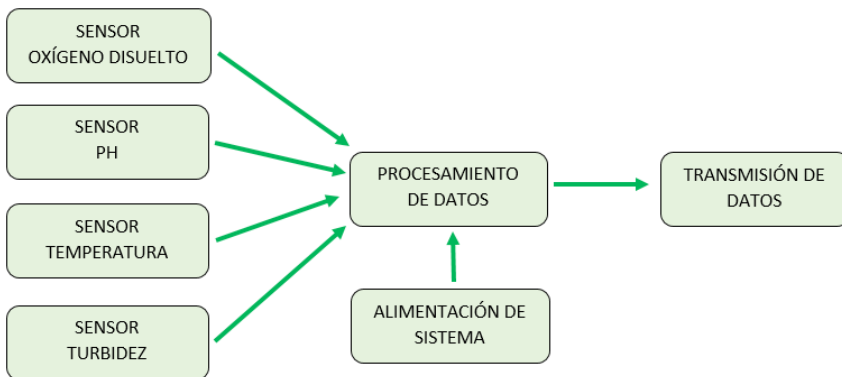


Figura 3 – Diagrama de bloques del módulo de muestreo.

### Hardware del módulo de muestreo

En la Figura 4 se muestra el esquema de conexión del módulo de muestreo. Para el procesamiento de datos se seleccionó la tarjeta de desarrollo Arduino UNO Rev3, que cuenta con un microcontrolador ATmega28P, 14 pines digitales, 6 pines analógicos, 1kb de memoria EEPROM, y una velocidad de reloj de 16MHz (ARDUINO, 2017).



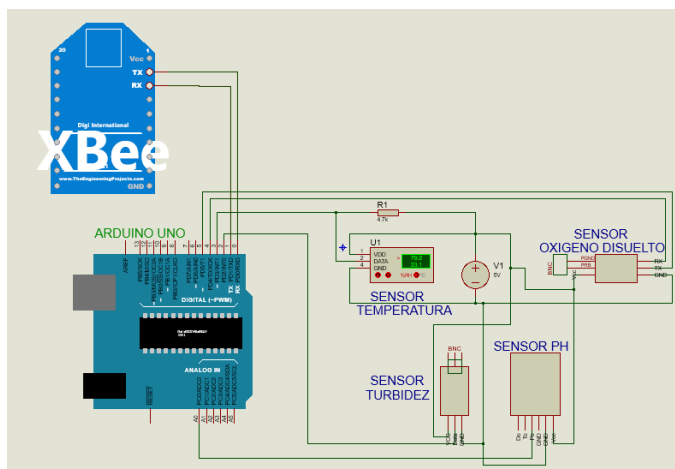


Figura 4 – Esquema de conexión del módulo de muestreo.

Un módulo de muestreo incorpora los siguientes componentes:

- Un sensor de oxígeno disuelto Disolved EZOTM, que trabaja a 5 voltios, tiene un rango de medición de (0,01 – 35,99) mg/l, su error es +/- 0,05 mg/l, trabaja a un rango de temperatura de (1-50)°C y tiene un tiempo de vida de más de 5 años (ATALSSCIENTIFIC, 2017).
- Un sensor de pH Analítico que trabaja a un voltaje de 5V, tiene un rango de medición de (0-14) pH, trabaja a una de temperatura de (0-60)°C, su error es de +/- 0,1pH y tiene un tiempo de vida mayor a 1 año (BRINCOGEEK, 2017).
- Un sensor de temperatura DS18B20, que trabaja un voltaje de 5V, tiene un rango de medición de (-55 – 120)°C, su error es de +/-0,5°C y tiene largo tiempo de vida (Maxim Integrated TM, 2017).
- Un sensor de turbidez SENO189 que trabaja a 5 voltios, cuenta con un modo de trabajo digital alto/bajo, trabaja a una temperatura de (5-90)°C y es de larga duración (DFROBOT Electronic, 2017).
- Un módulo Xbee PRO S2 con tecnología Zigbee para la transmisión a través conexión inalámbrica. Para conectarlo al Arduino necesita de una shield, trabaja a 3.3 Voltios, posee una tasa máxima de datos de 250Kbps, una potencia d salida de 17dBm, una encriptación de 128bits y un rango de cobertura de 120-1500 metros (MCI Electronics, 2017).
- Una fuente de alimentación que es una batería solar, que tiene una capacidad de 10000mA/h que dura teóricamente 16,48 horas teniendo en cuenta que la corriente total del módulo de muestreo es 424,6mA.

### 2.3.2. Módulo de recolección de datos

En la Figura 5 se presenta el diagrama de bloques del módulo de recolección de datos, que tiene como función principal receptor y aguardar los datos obtenidos por el módulo de muestreo.

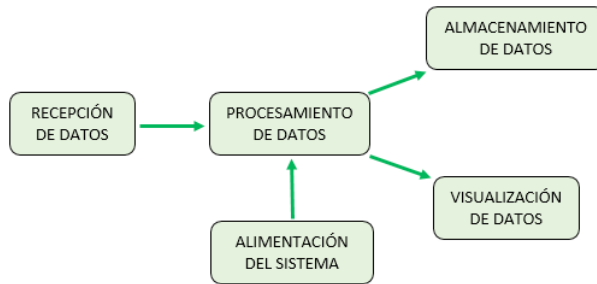


Figura 5 – Diagrama de bloques del módulo de recolección de datos.

El procesamiento de datos lo realiza una tarjeta de desarrollo, donde se conecta un bloque de comunicación inalámbrica que consiste en un módulo con tecnología Zigbee. Además, cuenta con un bloque de alimentación para todo el sistema, un bloque de visualización de datos en tiempo real mediante un LCD, un bloque de alimentación del sistema y un bloque para almacenar los datos en una memoria flash y una cuenta de Google Drive.

### Hardware del módulo de muestreo

En el esquema de la Figura 6 se muestra el esquema de conexión del módulo de recolección de datos. Para el procesamiento de datos se seleccionó la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B, que cuenta con un CPU de 1,2GHz 64 bits quadcore ARMU8, 4 puertos USB, memoria SDRAM de 1GB, almacenamiento integrado con microSD y posee conectividad Ethernet, Wi-Fi y Bluetooth (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2017).

El módulo de recolección de datos incorpora los siguientes componentes:

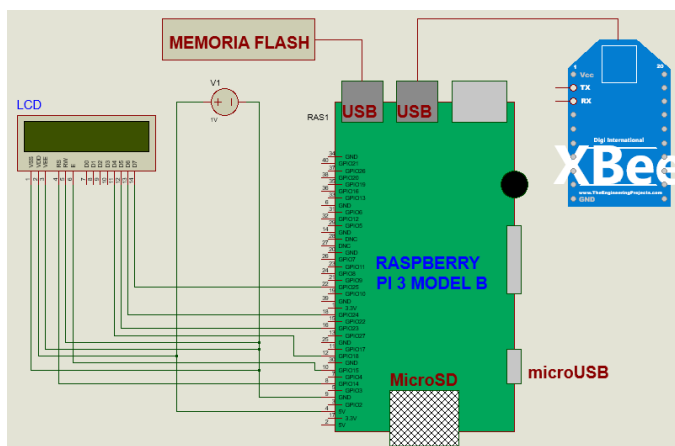


Figura 6 – Esquema de conexión del módulo de recolección de datos.

- Una tarjeta microSD de 16GB para el almacenamiento del sistema operativo Raspbian.
- Un módulo Xbee PRO S2 con tecnología Zigbee para la recepción a través de conexión inalámbrica. Para conectarlo con el
- Raspberry Pi mediante puerto USB necesita de un módulo Xplorer.
- Una pantalla LCD 16x2 azul conectada a los pines GPIO del Raspberry para cumplir con el requisito del proyecto que consiste en mostrar los datos recibidos en tiempo real.
- Una memoria flash con capacidad de 8GB, teniendo en cuenta que se genera diariamente un archivo de texto plano de un tamaño aproximado de 2,9Mbytes.
- Para la alimentación usa un cable con conexión microUSB conectada a una red eléctrica.

**2.4. Software de la red de sensores inalámbricos**

Para la red de sensores inalámbricos se necesitan el siguiente software:

**2.4.1. Software del módulo de muestreo**

El módulo de muestreo usa la tarjeta de desarrollo Arduino UNO, por lo tanto, para su programación usa el software Arduino IDE 1.8.5 (Integrated Development Environment) (ARDUINO, 2017). La programación consiste en un código fuente que permite la inclusión de bibliotecas, instrucciones y funciones para obtener los datos de los sensores y enviarlos al módulo de recolección de datos.

**2.4.2. Software de módulo de recolección de datos**

El módulo de recolección de datos usa la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, por lo tanto, el software usado es el sistema operativo Raspbian Lite. La configuración de la recepción de datos, la pantalla LCD y el almacenamiento de datos, está realizada en un script programado en lenguaje Python. El script recibe dos datos, crea un archivo diario de texto plano en la memoria flash USB, almacena los datos recibidos y los muestra en la pantalla LCD. Para el almacenamiento en la cuenta de Google Drive se usó la herramienta INSYNC, que permite la sincronización con la cuenta. Finalmente, para la ejecución de los scripts se programa tareas en el directorio /etc/init.d.

**2.4.3. Software de los módulos Xbee**

Para la configuración de soluciones Xbee se usa la herramienta XCTU, que es una aplicación gratuita multiplataforma usada para la configuración de una arquitectura de una red inalámbrica de forma simple (MCI Electronics, 2017). Para programar el módulo Xbee se debe conectar a la computadora por medio del módulo Xbee Explorer, para esto es necesario definir el módulo transmisor y receptor para poder llenar los valores como se muestra en la Tabla 2.

	<b>Transmisor</b>	<b>Receptor</b>
<i>CH</i>	C	C
<i>PAN ID</i>	3332	3332

	Transmisor	Receptor
DH	00013A200	00013A200
DL	4103D524	4103D52B
MY	AAAA	AAAA
Tipo	Nodo Final	Nodo central

Tabla 2 – Valores de los módulos Xbee para su programación.

#### 2.4.4. Software para la aplicación para usuarios finales

Se creó la aplicación que se muestra en la Figura 7 para que la Dirección de Gestión Ambiental analice los archivos históricos creados por la red de sensores inalámbricos del dique. La aplicación permite conocer los valores obtenidos de cada sensor, la hora a la que se obtuvo dichos datos, análisis de los rangos permitidos según la norma de calidad de agua para uso recreativo, un análisis gráfico y un resumen de los resultados obtenidos.



Figura 7 – Pantalla inicial de la aplicación para usuarios finales.

### 2.5. Calibración de los sensores

Tres de los sensores usados en el proyecto, para su correcto funcionamiento, necesitan calibración como se muestra a continuación.

#### 2.5.1. Calibración del sensor de oxígeno disuelto

El circuito acoplador del sensor de oxígeno disuelto trabaja en modo UART, el cual permite ingresar comandos para ajustar ciertos valores y para calibrarlo. Para la calibración la sonda debe estar en la solución de oxígeno disuelto que viene con el kit y empezar la lectura de valores. Después ingresar el comando Cal, 0 para calibrar a un valor de 0 mg/l, posteriormente ya se pueden hacer las mediciones en otros líquidos.

### **2.5.2. Calibración del sensor de pH**

Para la calibración de este sensor se necesita de soluciones de 4pH, 7pH y 10pH, y seguir los siguientes pasos:

- El circuito acoplador posee dos potenciómetros, el primero es el que está a lado del conector BNC es el Offset. Hay que hacer un corto en la sonda simulando un pH neutro y medir entre los pines Po y G un voltaje de 2.5V. El segundo potenciómetro es para definir el valor límite del sensor de pH.
- Para transformar los valores de voltaje de la salida del sensor a valores de pH, se debe ingresar la sonda en tres soluciones de pH, crear una recta y mediante la fórmula de la recta obtener la ecuación usada en la programación para obtener valores en unidades de pH:  $y = -5,7x + 21,34$ .

### **2.5.3. Calibración del sensor de turbidez**

Como se observa en la Tabla 1 de los Criterios de calidad para aguas para fines recreativos mediante contacto primario se usa la técnica de disco Secchi, que solo genera resultados binarios: se ve o no se ve el disco. Por lo tanto, el sensor de turbidez SENO189 se lo usará en modo digital generando dos salidas: turbidez normal si es menor o igual a 5 NTU y turbidez alta si es mayor a 5 NTU. La calibración se realizó mediante el potenciómetro de la tarjeta acopladora del sensor y con la ayuda de los ingenieros de la Dirección de Gestión Ambiental para determinar el valor máximo de turbidez permitida.

## **2.6. Validación de los módulos del prototipo**

Para comprobar el funcionamiento del prototipo, se realizó una comparación de datos entre los medidos con el proyecto y los medidos con equipos tradicionales y pruebas de repetividad de cada uno de los sensores. Además, se comprobó la transmisión y almacenamiento de los datos.

### **2.6.1. Pruebas de la fuente de alimentación del módulo de muestreo**

La duración teórica de la batería solar es aproximadamente 16 horas, pero en la práctica al poner en funcionamiento el prototipo de la red inalámbrica la batería solo dura durante 11 horas y 30 minutos, este tiempo es el que dará energía al módulo durante las horas que no existe luz solar.

### **2.6.2. Pruebas del módulo de muestreo**

Estas pruebas consisten en la comparación de las medidas tomadas por los equipos tradicionales y las medidas tomadas por el módulo de muestreo. Los equipos tradicionales son:

- Medidor de Oxígeno Disuelto Thermo Orion Start A223, posee un error de +/- 0,1 mg/l y la temperatura un error de +/- 0,1°C.
- Medidor de pH OAKTON pH6+ mide el pH y posee un error de +/- 0.01 pH.
- Medidor de Thermo Electron Russell RLO60C que mide conductividad y temperatura y posee un error de 1% a gran escala.

- Medidor de turbidez portátil Hach 2100Q mide la turbidez con un error de +/- 2% a la lectura de luz dispersa de 0 a 1000 NTU +/-.
- El número de muestras tomadas serán de 12 debido a que es el número de puntos en los que se recoge la información a lo largo del dique.

Para el número de las muestras se toma en cuenta 12 muestras medidas en el Río Puyo en el Dique Fátima (sin contaminación) y 12 muestras medidas en el Río Pingo Grande (con contaminación) como se muestra en la Figura 8.



Figura 8 – Toma de medidas en el Río Puyo y en el Río Pingo Grande.

Al analizar a los resultados de la comparación del oxígeno disuelto, el sensor agrega un error absoluto máximo de +/-0,05 mg/l que es el error máximo propio del elemento. En el caso del sensor de pH, la comparación dio como resultado que agrega un error absoluto máximo de +/-0,08, por lo tanto, no agrega error.

Al analizar a los resultados de la temperatura, el sensor agrega un error absoluto máximo de +/- 0,09 °C por lo tanto no agrega más error del propio que da el equipo. En el caso de la turbidez, no existe error pues todos los valores menores a 5 NTU resultaron 0 que significa turbidez normal y los valores altos resultaron 1 que significa turbidez alta.

### **2.6.3. Repetitividad del módulo de muestreo**

Para realizar la prueba de repetitividad se tienen en cuenta las 15 muestras tomadas durante 5 minutos en iguales condiciones en el Dique Fátima almacenadas en un archivo en la memoria Flash. La prueba consiste en el cálculo del coeficiente de variación para saber qué tan dispersos son los datos. El resultado de la temperatura es que los datos son homogéneos con un coeficiente de variación de 0%, mientras los datos del oxígeno disuelto y pH muestran un coeficiente de variación de 1% que tiene a cero por lo tanto no muestran dispersión considerable.

### 2.6.4. Pruebas de la comunicación inalámbrica entre los módulos

Se realizó una prueba para comprobar que los módulos Xbee poseen comunicación, en la que se pudo verificar que los datos que recoge la tarjeta Arduino son los mismos que recepta el Xbee receptor como se observa en la Figura 9. Para esta prueba se usó la herramienta Monitor Serial de Arduino IDE para leer los datos de la tarjeta Arduino y XCTU para leer los datos recibidos por el Xbee receptor.

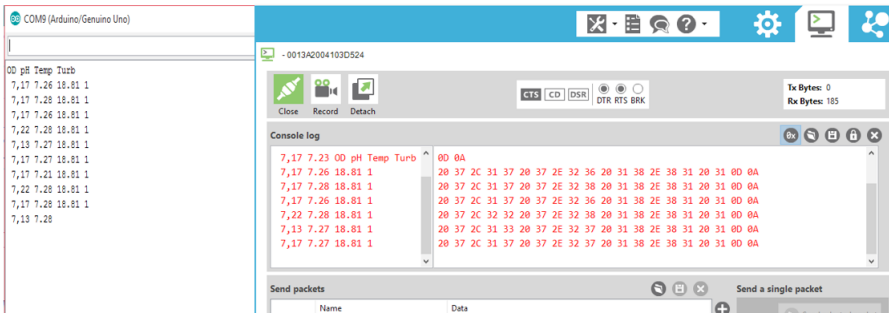


Figura 9 – Comunicación entre módulos Xbee.

Se realizó una prueba experimental de comunicación entre los módulos del proyecto donde se verificó que los datos que lee la tarjeta Arduino del módulo de muestreo son los mismos que se muestran en la pantalla LCD como se muestra en la Figura 10 de módulo de recolección de datos.

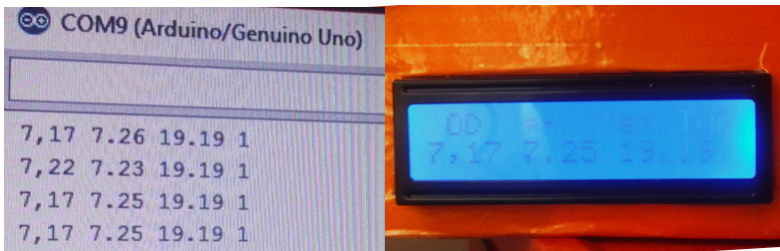


Figura 10 – Comunicación entre los módulos del prototipo.

Además, en el ambiente real en el dique Fátima se comprobó la conexión dentro de rangos que iniciaban desde 10 metros incrementando distancias hasta comprobar que la transmisión siguió siendo exitosa a una distancia aproximada de 160 metros que es suficiente para cubrir todas las distancias requeridas por los nodos, ya que a distancias mayores tenemos intermitencia y problemas en el envío de los datos.

Finalmente, se evaluó que el almacenamiento de datos es correcto mediante la comparación de los datos mostrados en la Pantalla LCD con los datos guardados en la memoria flash y en la cuenta de Google Drive como se muestra en la Figura 11.



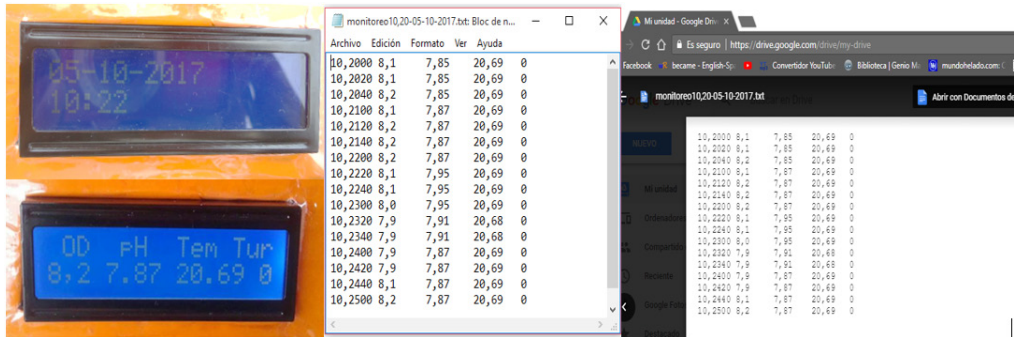


Figura 11 – Pruebas de almacenamiento de datos.

### 3. Conclusiones

- Se diseñó un prototipo de una red de sensores inalámbricos para monitorizar la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima, que consiste en tres nodos de monitorización y un nodo central y miden: oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbidez.
- Se definió que la topología de red más adecuada es la Malla con la tecnología inalámbrica Zigbee que permite la configuración de dicha topología.
- Se comprobó mediante las pruebas de funcionamiento del módulo de muestreo, que el error absoluto máximo del sensor de oxígeno disuelto es de  $\pm 0,05$  mg/l, del sensor de pH es de  $\pm 0,8$  pH y del sensor es de temperatura con  $\pm 0,09^\circ$  grados Celcius, los mismos que no agregan errores y cumplen con las especificaciones técnicas de cada sensor.
- Se determinó que para el sensor de turbidez no es necesario obtener valores en unidades de NTU, por lo tanto, el sensor trabaja en modo digital dando como resultado 1 (alto) si la turbidez es mayor a 5 NTU y 0 (bajo) si la turbidez es menor a 5 NTU.
- Se determinó mediante las pruebas de comunicación inalámbrica que el prototipo tuvo un alcance de 160m en línea de vista con una transmisión exitosa para cubrir todas las distancias entre los nodos determinados según los requerimientos del proyecto RMF.
- Se desarrolló una aplicación de escritorio con la herramienta Labview 2016 para que la Dirección de Gestión Ambiental maneje una base de datos histórica con los archivos creados diariamente por la red de sensores inalámbricos.

### Referencias

- Arduino. (2017). Arduino. Recuperado de <https://www.arduino.cc/>
- Atalsscientific. (2017). AtalScientific. Recuperado de [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/DO\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/DO_probe.pdf)
- Brincogeek. (2017). BrincoGeek. Recuperado de <http://tienda.brincogeek.com/home/581-sensor-analogico-de-ph.html>



- Dfrobot Electronic. (2017). DFRobot. Recuperado de [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity\\_sensor\\_SKU:\\_SEN0189](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189)
- Londoño Carvajal, A., Giraldo Gómez, G. I. & Gutiérrez Gallego, Á. A. (2010). Métodos Analíticos para la Evaluación de la Calidad Fisicoquímica del Agua. Bogotá. Colombia: Blanecolor LTDA.
- Maxim Integrated TM. (2017). Maxim Integrated. Recuperado de <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>
- MCI Electronics. (2017). Xbee. Recuperado de <http://xbee.cl>
- Ministerio del Ambiente. (2018). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga De Efluentes: Recurso Agua. Quito: INEN
- Raspberry Pi Foundation. (2017). Rasperry PI 4. Recuperado de <https://www.raspberrypi.org>
- Torres Andagana, A. C. & Chávez Suárez, T. R. (2015). Desarrollo de una red de sensores inalámbrica sustentable mediante el protocolo IEEE 802.15.4 para determinar la calidad de agua en Pinlo. (Tesis de pregrado). Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Vernier Software & Technology Caliper Logo. (2017). Vernier. Recuperado de [https://www.vernier.com/experiments/wqv/5/dissolved\\_oxygen/](https://www.vernier.com/experiments/wqv/5/dissolved_oxygen/)

# Filtro combinado Kriging-Kalman para estimar y predecir la evolución de estados climáticos en algunas estaciones meteorológicas del Ecuador

Inti Becerra<sup>1</sup>, Saba Infante<sup>1,2</sup>, Rafael Amaro<sup>1</sup>, Aracelis Hernández<sup>2</sup>

inti.becerra@yachaytech.edu.ec, sinfante@yachaytech.edu.ec, iamaro@yachaytech.edu.ec, arhenan@uc.edu.ve

<sup>1</sup> Escuela de Ciencias Matemáticas y Computacionales, Yachay Tech, Urcuquí, Ecuador.

<sup>2</sup> Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Pages: 373–386

**Resumen:** En este artículo se propone una metodología que involucra el filtro Kriging Universal (FKU) y el filtro de Kalman (FK) para estudiar los modelos dinámicos espacio-temporales. Las superficies de predicción espacial se construyen utilizando el FKU, mientras que el FK se utiliza para estimar los efectos temporales. El FKU proporciona un enfoque de estimación exitoso desde el punto de vista de la estadística espacial, mientras que el FK describe un procedimiento recursivo bien establecido para estimar los estados y parámetros en estos modelos. La metodología se ilustra utilizando series temporales de 30 años de 3 estaciones meteorológicas del Ecuador. El modelo permite realizar predicciones sobre temperatura, precipitación y humedad, obteniéndose estimaciones de los estados desconocidos muy similares cuando se compara con la serie original. La raíz del error cuadrático medio se utilizó como una medida de bondad de ajuste para medir la calidad de estimación del algoritmo, obteniendo resultados satisfactorios.

**Palabras-clave:** filtro Kriging-Kalman; modelos espacio estados; estadística espacial.

## *Kriging Kalman combined filter to estimate and predict the evolution of climatic states in some weather stations in Ecuador*

**Abstract:** This article proposes a methodology that involves the Universal Kriging filter (UKF) and the Kalman filter (KF) to study temporal-space dynamic models. Spatial prediction surfaces are constructed using the UKF and the KF is used to estimate the temporal effects. The UKF provides a successful estimation approach from the point of view of spatial statistics, while the KF describes a well-established recursive procedure to estimate the states and parameters in these models. The methodology is illustrated using 30-year time series of 3 meteorological stations in Ecuador. The model allows to make predictions on temperature, precipitation and

humidity, obtaining estimates of unknown states very similar when compared to original series. The root mean square error was used as a measure of goodness of fit to measure the estimation quality of the algorithm, obtaining satisfactory results.

**Keywords:** Kriging-Kalman filter; state-space models; spatial statistics.

## 1. Introducción

En los últimos años, el modelado espacio-temporal se ha desarrollado debido a la necesidad de analizar la evolución temporal del comportamiento espacial de magnitudes aleatorias que son de interés en estudios desarrollados en diversas áreas aplicadas como Geoestadística, Geofísica, Medio Ambiente, Hidrología, Meteorología, Biología y Medicina.

El enfoque sobre el cual se desarrolla el modelo de este trabajo se fundamenta en la estructura general de los modelos espacio-estado (EE) para datos espacio-temporales (modelo ET-EE) diseñado para modelar la evolución de los campos espaciales a través del tiempo (Goodall & Mardia, 1994). Se usará el filtro de Kalman debido a que la estimación es recursiva. El enfoque que se propone combina el filtro Universal de Kriging y el filtro de Kalman. Lo llamamos el filtro Kriging Kalman (KKF) (Mardia, Goodall, Redfern & Alonso, 1998). Es importante señalar que el filtro de Kriging ha sido utilizado con éxito para la predicción en Estadística Espacial también llamada Geoestadística. Por otro lado, el filtro de Kalman proporciona un procedimiento recursivo bien establecido para estimación en modelos espacio- estado aplicados a series temporales.

Varios estudios han utilizado los algoritmos Kriging y Kalman, (Mardia et al., 1998) utilizó un KKF y dio una implementación específica utilizando datos de contaminación. (Sahu & Mardia, 2005) construyeron un modelo para predecir la superficie espacial utilizando el conocido método de Kriging para una predicción espacial óptima y analizaron los efectos temporales utilizando los modelos subyacentes al método de filtrado de Kalman. (Almendral-vazquez, 2006) ofrece una introducción práctica al filtrado de Kalman y uno de sus subproductos, tales como el filtro de Kalman ensamble para hacer coincidir el historial de los yacimientos de petróleo. (Handcock & Stein, 1993) utilizaron un método bayesiano basado en el algoritmo Kriging con el objetivo de predecir campos gaussianos aleatorios, teniendo en cuenta la incertidumbre en la función de covarianza. En (Cortés, 2009), se propuso una metodología para diseñar un algoritmo de estimación distribuido que permite que una red de sensores robóticos tome medidas sucesivas de un proceso físico dinámico modelado como un campo aleatorio espacio-temporal para obtener representaciones consistentes y estadísticamente sólidas del campo espacial. (Baingana, Dall'Anese, Mateos & Giannakis, 2015) utilizan un modelo KKF robusto en que explica explícitamente la presencia de valores atípicos de medición. En (Pagani, Manzoni & Quarteroni, 2016) se desarrolló una técnica de inversión que combina el método de base reducida (RB) y el filtro de Kalman de conjunto para resolver problemas de identificación de parámetros de estado para sistemas dinámicos no lineales a gran escala que surgen de la discretización de ecuaciones diferenciales parciales no lineales dependientes del tiempo. (Samalot, 2017) utilizó un algoritmo de Kriging para estimar las velocidades medias diarias del viento, este método produjo los resultados más precisos; también se probó en estudios previos en conjunto con el filtro Kalman y se obtuvo una mejora

significativa del modelo. Algunas nociones de análisis bayesiano con énfasis en el modelado y cálculo bayesiano se pueden revisar en (Berliner, 1996; Harrison & Stevens, 1976). Además, allí se desarrolla y discute el modelo jerárquico general para el análisis de series de tiempo. (Wikle, Zammit-Mangion & Cressie, 2019), (Gelfand, Diggle, Guttorp, & Fuentes, 2010) y (Cressie, 1993) tienen conceptos para datos espaciales que se pueden usar para modelado espacio-temporal, análisis de datos exploratorios e inferencia estadística (estimación, predicción, cuantificación de incertidumbre). El principio de máxima verosimilitud se utiliza en (Akaike, 1973; Dempster, Laird & Rubin, 1977; Jones, 1980) para modelos de series temporales con observaciones de datos faltantes o datos incompletos. (Phan, 2014) usó el filtro Kriging Kalman para obtener predicciones de la temperatura global dadas las mediciones de temperatura local. Al resolver la ecuación diferencial parcial de transferencia de calor que impulsa la evolución de los incendios forestales, se muestra que una serie de Fourier puede aproximar el proceso de temperatura media espacio-temporal asociado con un incendio forestal que evoluciona en un dominio espacial finito bajo ciertas condiciones prescritas. El filtro Kriging Kalman se usa para predecir la evolución de la temperatura de los incendios forestales y se compara con el de la regresión del proceso gaussiano estándar. En (Liu, Dai, Santerre & Kuang, 2018) se presenta un software desarrollado en Matlab basado en el modelo de filtro Kriging Kalman para la interpolación espacio-temporal dinámica de datos faltantes de un sistema global de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS). Los usuarios pueden cargar datos GNSS de origen, establecer parámetros, ver las series interpoladas y guardar los resultados finales.

Otros trabajos relacionados son: (Sánchez, Infante, Griffin & Rey, 2016) utilizaron un modelo dinámico espacio-temporal que permitió hacer inferencia sobre estados de precipitación en estaciones meteorológicas en Venezuela. En ese trabajo, se utilizó el algoritmo de Monte Carlo con Cadenas de Markov, en particular, el muestreador de Gibbs se utiliza para completar los datos faltantes, también se utilizó un algoritmo Monte Carlo Secuencial conocido como el filtro Kalman de ensamble paralelizado para hacer estimaciones eficientes en las estaciones meteorológicas; adicionalmente, se pueden revisar trabajos relacionados con el tema en (Sánchez, Infante, Marcano, & Griffin, 2015; Infante, Sánchez & Cedeño, 2012; Infante, Ortega & Cedeño, 2008). En (Roy, Simonetto & Leus, 2018) propuso un trabajo basado en un método de colocación de sensores para la estimación del campo espacio-temporal basado en un filtro de Kriging Kalman (KKF) usando una red de sensores estáticos o móviles. El trabajo desarrollado diseña dinámicamente lo óptimo para colocar los sensores. Combinan el error de estimación con el problema de minimización con una penalización que hace cumplir la dispersión. Utilizaron una estructura general de matrices de covarianza. Además, el KKF se utiliza para estimar el campo utilizando las mediciones de las ubicaciones de detección seleccionadas.

En vista de los antecedentes previos, se propone en esta investigación implementar y validar la metodología del filtro de Kriging en combinación con el filtro de Kalman para estimar y predecir algunas variables o estados desconocidos del clima, tales como la temperatura, las precipitaciones y la humedad relativa en tres provincias de Ecuador (Imbabura, Carchi y Pichincha), con el objetivo de realizar aportes para la toma de decisiones de organismo ambientales que se encargan de estudiar el cambio climático en la República del Ecuador.

El resto del artículo se organiza como sigue: en la sección 2 se formula el problema, en la sección 3 se establece la metodología, en la sesión 4 se muestran los resultados y en la sección 5 se establece la discusión y conclusiones.

### 2. El Problema

Supóngase que los datos  $x(s_1, t_1), \dots, x(s_N, t_N)$  son obtenidos de un proceso espacial continuo  $x(\mathbf{s}, t)$ , donde  $\mathbf{s} = (x, y) \in D \subset \mathbb{R}^2$  y  $t = \{1, 2, \dots\}$  es un índice discreto de tiempo. Supongase que el proceso observable tiene un componente de error de medida expresado a través de una ecuación de observación

$$x(\mathbf{s}, t) = \mu(\mathbf{s}, t) + \epsilon(\mathbf{s}, t), \quad \epsilon(\mathbf{s}, t) \sim N(0, k(\mathbf{s}, t)) \tag{1}$$

Donde  $\mu(\mathbf{s}, t)$  puede ser visto como un proceso más suavizado que  $x(\mathbf{s}, t)$ ,  $\epsilon(\mathbf{s}, t)$  es un componente de error. El objetivo es predecir el proceso  $\mu(\cdot, \cdot)$  en todas las localizaciones espaciales y en puntos de tiempo de interés, indiferente de donde y cuando los datos  $x(s_1, t_1), \dots, x(s_N, t_N)$  sean observados.

El componente  $\mu(\mathbf{s}, t)$  puede ser expresado como una combinación lineal que varía en el tiempo  $\alpha(t)$  de campos espaciales  $h(\mathbf{s})$ , los cuales podemos llamarlo campos comunes del modelo espacio-estado

$$\mu(\mathbf{s}, t) = h_1(\mathbf{s})\alpha_1(t) + h_2(\mathbf{s})\alpha_2(t) + \dots + h_p(\mathbf{s})\alpha_p(t) = \mathbf{h}(\mathbf{s})^T \boldsymbol{\alpha}(t) \tag{2}$$

Donde

$$\mathbf{h}(\mathbf{s})^T = (h_1(\mathbf{s}), h_2(\mathbf{s}), \dots, h_p(\mathbf{s})) \quad y$$

$$\boldsymbol{\alpha}(t)^T = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \dots, \alpha_p(t))$$

El vector  $\boldsymbol{\alpha}(t)$  representa la ecuación de estado de (2), esto es

$$\boldsymbol{\alpha}(t) = P\boldsymbol{\alpha}(t-1) + K\boldsymbol{\eta}_t, \quad \boldsymbol{\eta}(t) \sim N(0, \Sigma_\boldsymbol{\eta}) \tag{3}$$

Se supone que  $p$ ,  $K$  y  $\Sigma_\boldsymbol{\eta}$  son conocidos

### 3. El Modelo

La observación espacio-temporal  $x(\mathbf{s}, t)$  en un modelo KKF se puede descomponer en

$$x(\mathbf{s}, t) = \mathbf{h}(\mathbf{s})^T \boldsymbol{\alpha}(t) + \epsilon(\mathbf{s}, t) \tag{4}$$

donde  $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  es la posición,  $t = \{1, 2, \dots, m\}$  es el tiempo. El campo espacial  $h(s) = [h_1(s) h_2(s) \dots h_p(s)]^T$  se puede obtener mediante el kriging universal (Mardia et al., 1998).  $\alpha(t)$  representa el vector de estado del sistema y  $\epsilon(s,t)$  es el ruido de observación.

Para la reducción de dimensiones, consideramos la matriz de energía de flexión generalizada B (Mardia et al., 1998; Bookstein, 1989) que describe el grado de variación espacial, que es el siguiente:

$$B = \Sigma_\zeta^{-1} - \Sigma_\zeta^{-1} F (F^T \Sigma_\zeta^{-1} F)^{-1} F^T \Sigma_\zeta^{-1} \tag{5}$$

$F = [f(s_1)^T; f(s_2)^T; \dots; f(s_n)^T]$  es la matriz de tendencia. Los campos de tendencia espacial elegidos  $f(s) = (f_1(s), \dots, f_q(s))^T$  podrían ser polinomios constantes, lineales o cúbicos.  $\Sigma_\zeta$  es la matriz de covarianza de los residuos después de eliminar una tendencia espacial, y sus elementos  $(\Sigma_\zeta)_{ij}$  se pueden calcular a través del modelo de semi-variograma ajustado que se define por  $\gamma_\zeta(s_i, s_j)$ :

$$(\Sigma_\zeta)_{ij} = C - \gamma_\zeta(s_i, s_j) = C - \gamma_\zeta(s_i - s_j) \tag{6}$$

donde C es el Sill (Umbral) del semi-variograma. El modelo se puede obtener ajustando el valor empírico del semi-variograma  $\hat{\gamma}_\zeta(w)$ , definido por:

$$\hat{\gamma}_\zeta(w) = \frac{1}{2m} \sum_{t=1}^m [E(s,t) - E(s+w,t)]^2 \tag{7}$$

donde w es la distancia de retraso.  $E(s,t) = x(s,t) - f(s)\beta_t$  es el residuo después de eliminar una tendencia espacial, y el coeficiente  $\beta_t$  puede calcularse mediante

$\beta_t = (F^T F)^{-1} F^T x_t$ , donde,  $x_t = [x(s_1,t) x(s_2,t) \dots x(s_n,t)]^T$ . Con frecuencia, la distancia de retraso se divide en algunos grupos, desde 0 hasta la distancia de retraso máxima, para el cálculo de semi-variograma, con este resultado se puede calcular un valor empírico de semi-variograma en cada grupo para la misma distancia de retraso, entonces w es la distancia de retraso promedio de cada grupo.

Para medir el grado de variación espacial, se realiza la descomposición espectral de B:

$$B = UDU^T ; Bu_i = d_i u_i \tag{8}$$

donde los vectores de columna de  $U = (u_1 u_2 \dots u_n)$  son vectores propios y los elementos diagonales de  $D = \text{diag}(d_1, d_2, \dots, d_n)$  son los valores propios correspondientes. Bookstein (1989) y Sahu y Mardia (2005) informaron que los valores propios más pequeños están asociados con una mayor variación espacial y los valores propios más

grandes representan variaciones espaciales más locales. Para reducir la dimensión, solo se necesita tomar la primera variación espacial  $p$ , que se puede calcular, siempre y cuando la relación definida por  $r = \sum_{i=1}^p d_i / \sum_{i=1}^n d_i$  sea mayor que una cierta proporción, que usualmente se elige entre 90% o 95%.

Siguiendo el trabajo de Mardia et al. (1998) y Sahu y Mardia (2005) se puede obtener el campo espacial  $h(s)$

$$h_j(s) = f_j(s) \quad j = 1, 2, \dots, q \tag{9}$$

$$h_k = d_k \sigma_\zeta(s)^T u_k \quad k = q + 1, \dots, p$$

donde  $\sigma_\zeta(s)$  representa el vector de covarianza con sus elementos dados por:  $(\sigma_\zeta(s))_i = C - \gamma_\zeta(s_i - s_j)$ .

Luego, se pueden escribir las ecuaciones (4) - (9) en formas matriciales como sigue:

$$\varepsilon_t = [\varepsilon_t(s_1) \varepsilon_t(s_2) \dots \varepsilon_t(s_n)] \tag{10}$$

$$H = [h(s_1) h(s_2) \dots h(s_n)]^T$$

y la ecuación de observación de KKF se puede expresar por:

$$x_t = H\alpha(t) + \varepsilon(t) \tag{11}$$

donde  $\varepsilon(t) \sim N(0, \Sigma_\eta)$ . Sea  $\alpha(t)$  que evolucione en el tiempo con un modelo autoregresivo de primer orden [AR(1)] y forme la ecuación de transición de estado de KKF:

$$\alpha(t) = P\alpha(t-1) + K\eta_t \tag{12}$$

Las ecuaciones (11) y (12) forman el modelo KKF. Más detalles sobre el modelo KKF se discuten en Mardia et al. (1998) y Sahu y Mardia (2005).

#### 4. Resultados

Uno de los objetivos principales de este trabajo consiste en estimar estados desconocidos para tratar de comprender la naturaleza del clima y predecir datos diarios de temperatura, precipitación y humedad en una región de estudio en las provincias vecinas al norte del Ecuador. Para lograr esta propuesta se utilizaron algunas variables de estados meteorológicos obtenidas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, Ecuador). El INAMHI recopila datos meteorológicos diarios que cubren las

24 provincias del Ecuador. Consideramos una parte del norte de Ecuador como nuestra región de estudio, donde finalmente tenemos datos de 3 sitios. Se consideran valores promedios diarios para el caso de la temperatura y la humedad relativa, y para las series de precipitación, se utiliza el valor total diario. Después de realizar la limpieza de los datos se obtienen 10958 registros u observaciones, uno por día desde enero de 1988 hasta diciembre de 2017, de 3 ubicaciones. Inicialmente se realiza un estudio exploratorio para caracterizar los datos, de donde se extraen algunas estadísticas de resumen (mínimo, media, mediana, máximo y desviación estándar) y algunas gráficas.

Además de los valores observados, también se obtuvieron los pronósticos de temperatura, precipitación y humedad en la región de estudio. Se presentan y se comparan resúmenes de estos pronósticos con los de los datos observados.

Es importante señalar que los datos faltantes se completaron utilizando un promedio de los meses correspondiente de los años anteriores y este valor reemplaza los datos faltantes.

La provincia de Pichincha contiene un porcentaje más alto (53 % del total de datos faltantes) en comparación con las otras provincias. Esto posiblemente se debe a causas humanas o a fallas en los equipos de medición.

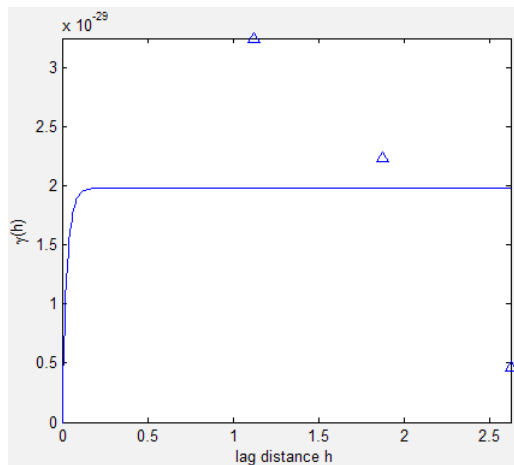


Figura 1 – Semi-variograma de la región de estudio.

En la Figura 1 se presenta el semi-variograma de los datos. El semi-variograma es una función que relaciona la semi-variancia con el vector  $\mathbf{h}$ , conocido como retraso, que denota la distancia y la dirección de cualquier par de vectores.

Para el semi-variograma empírico, se tomó una tendencia constante y los datos se ajustaron con un modelo exponencial. El ajuste de la función permite extraer una serie de parámetros que se utilizarán para la interpolación espacial (Kriging) y que definen el



grado y la escala de la variación espacial. Estos parámetros son: Rango, Sill y Nugget. Los parámetros obtenidos son los siguientes

Modelo	Rango	Sill	Nugget	h
Exponencial	0.00285	1.98e <sup>-29</sup>	0	[1.25 1.75 2.75]

Tabla 1 – Datos del semi-variograma.

El rango es la distancia a la cual la semi-varianza deja de aumentar, por lo tanto, indica la distancia desde la cual las muestras son espacialmente independientes entre sí. En este caso, el rango es 0.00285 km, los puntos de nuestro semi-variograma están después del rango, por lo tanto, todos los puntos son independientes. En otras palabras, a medida que aumenta la distancia de los puntos de muestreo, ya no existe una relación entre ellos. La varianza comienza a estabilizarse y los valores de la muestra no están relacionados entre sí.

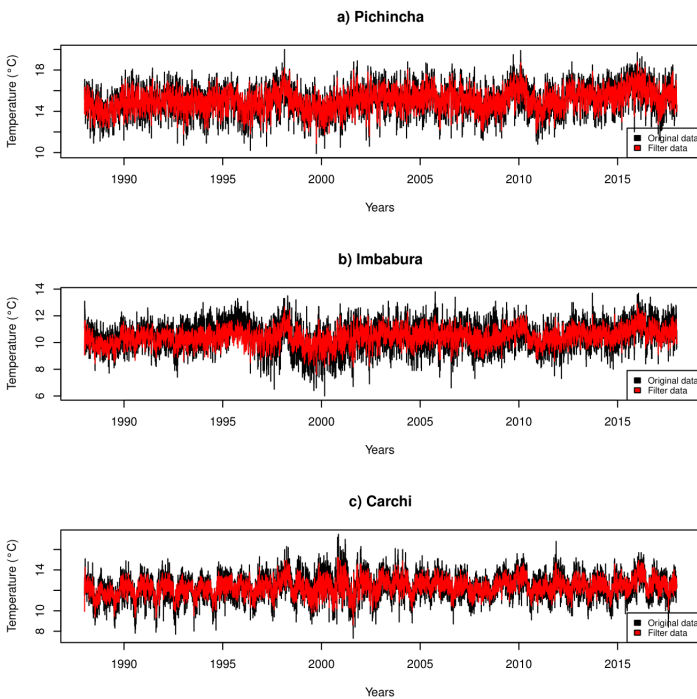


Figura 2 – Serie de tiempo de temperatura de la región de estudio.

La interpolación y la predicción se realiza utilizando el algoritmo combinado KKF, ambos procedimientos están estrechamente relacionadas con la precisión del campo espacial H, lo cual se puede observar en el semi-variograma ajustado. Dado que el modelo de

semi-variograma no se ajusta correctamente y el uso de un campo espacial incorrecto  $H$  conduciría a la divergencia del filtro, se utilizó una matriz  $H$  unitaria para realizar la interpolación y la predicción de los datos. Todos los cálculos se llevaron a cabo en MATLAB, en un sistema Windows 10, con un procesador Intel Core I5, con 2.27 GHz y 4 GB de memoria RAM. Los cálculos relacionados con el algoritmo Kriging Kalman, en el que se realizaron 20 iteraciones, tardaron en ejecutarse 743 segundos (12,48 min).

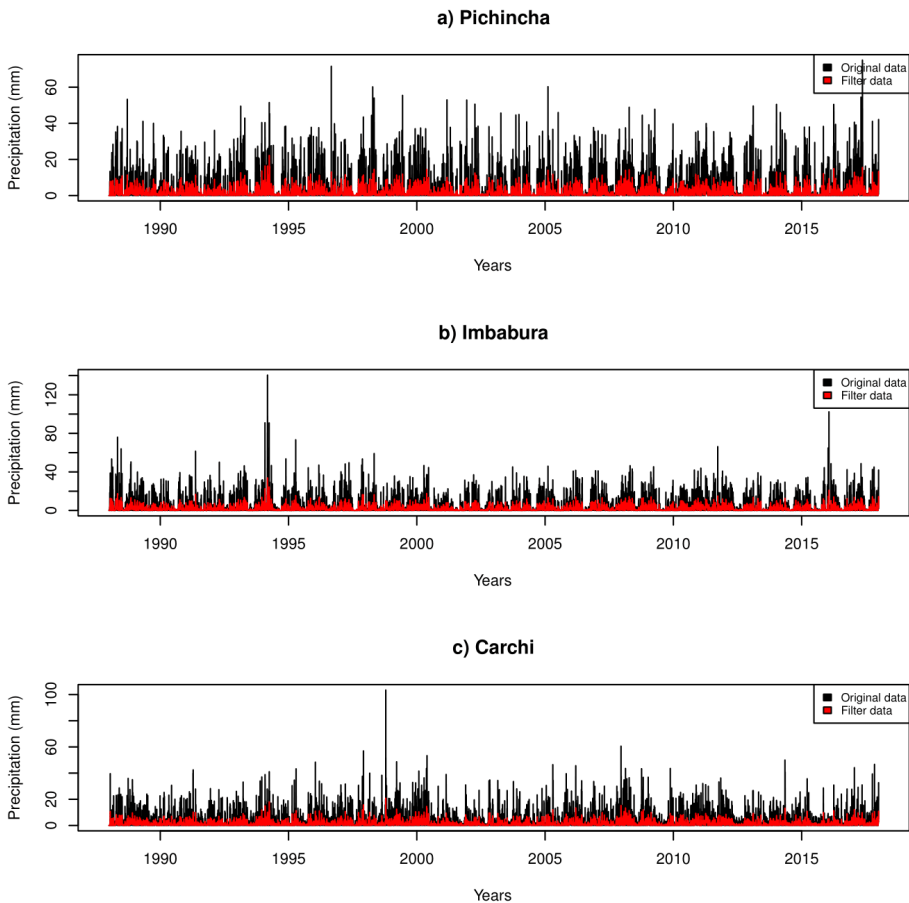


Figura 3 – Serie de tiempo de precipitación de la región de estudio.

La serie temporal original y los efectos de interpolación de la temperatura para los 3 sitios se muestran en la Figura 2. Se puede observar que la interpolación realizada para las provincias de Pichincha y Carchi es mejor que la provincia de Imbabura.

En la Figura 3 se muestra las series temporales de datos originales de precipitación y sus efectos de interpolación para los 3 sitios en la región de estudio. En este caso, la

interpolación de Carchi es mejor que la interpolación de Pichincha e Imbabura. Además, se pueden observar muchos valores atípicos en todas las series.

Las series temporales de humedad relativa, con sus datos originales y sus datos interpolados, se pueden ver en la Figura 4. En el año 2002 se observa un cambio repentino en la serie temporal de la provincia de Imbabura. La interpolación de datos es mejor en las provincias de Imbabura y Carchi que en Pichincha, esto puede deberse a que en la provincia de Pichincha faltan datos en relación a las otras provincias.

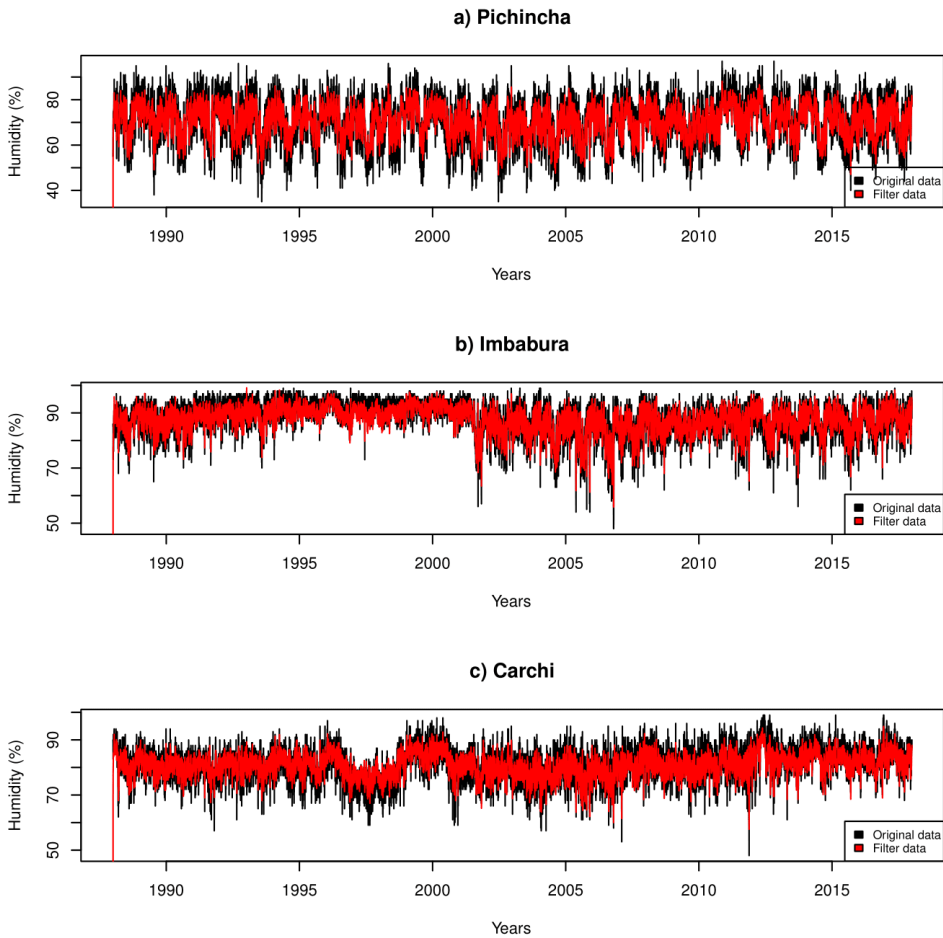


Figura 4 – Serie de tiempo de humedad de la región de estudio.

En la Tabla 2 y Tabla 3 se presentan resúmenes estadísticos de los datos originales y los datos interpolados. Los datos presentados son los valores mínimos, la media, mediana, el valor máximo y la desviación estándar.

Variable	Provincia	Min	Media	Mediana	Max	SD
Temperatura (°C)	Pichincha	9.90	15.12	15.10	20.00	1.29
	Imbabura	6.00	10.46	10.50	13.80	0.95
	Carchi	7.30	12.35	12.30	17.50	1.14
Precipitación (mm)	Pichincha	0.00	3.02	0.00	75.00	6.64
	Imbabura	0.00	3.43	0.00	140.50	7.44
	Carchi	0.00	2.74	0.40	103.50	5.57
Humedad (%)	Pichincha	35.00	70.33	72.00	97.00	10.31
	Imbabura	48.00	87.61	89.00	99.00	6.16
	Carchi	48.00	80.77	81.00	99.00	6.04

Tabla 2 – Resumen estadísticos de los datos originales.

Variable	Provincia	Min	Media	Mediana	Max	SD
Temperatura (°C)	Pichincha	10.88	15.09	15.11	18.81	0.98
	Imbabura	7.61	10.44	10.45	12.91	0.61
	Carchi	8.62	12.33	12.34	15.24	0.79
Precipitación (mm)	Pichincha	0.00	1.49	0.59	22.20	2.07
	Imbabura	0.00	1.79	0.67	33.83	2.38
	Carchi	0.00	1.29	0.62	20.84	1.73
Humedad (%)	Pichincha	28.06	70.23	71.04	88.15	6.95
	Imbabura	43.74	87.48	88.23	99.13	4.85
	Carchi	43.47	80.63	80.80	94.93	4.31

Tabla 3 – Resumen estadísticos de los datos interpolados.

Se utiliza la raíz del error cuadrático medio (RSME) como medida de bondad de ajuste para calibrar la calidad de estimación del algoritmo. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.

Provincia	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Humedad (%)
Pichincha	0.54	5.20	4.32
Imbabura	0.58	5.75	2.52
Carchi	0.53	4.42	2.94

Tabla 4 – RSME de las variables meteorológicas en estudio.

En la Tabla 5 se presenta los pronósticos para los 3 siguientes días para los diferentes sitios en estudio y para las diferentes variables.

Variable	Provincia	Día 1		Día 2		Día 3	
		Medido	Pronóstico	Medido	Pronóstico	Medido	Pronóstico
Pichincha	Temperatura (°C)	10.50	14.53	14.20	14.55	13.90	14.55
	Precipitación (mm)	2.20	6.64	1.70	3.39	18.20	1.73
	Humedad (%)	90.00	78.50	72.00	77.45	76.00	76.71
Imbabura	Temperatura (°C)	7.90	10.19	11.30	10.14	11.00	10.10
	Precipitación (mm)	10.20	7.46	0.00	3.88	1.90	1.98
	Humedad (%)	97.00	93.97	91.00	93.98	90.00	93.90
Carchi	Temperatura (°C)	10.70	12.14	13.50	12.06	12.70	11.99
	Precipitación (mm)	7.00	5.66	0.00	2.90	0.00	1.48
	Humedad (mm)	88.00	87.46	79.00	87.09	82.00	86.80

Tabla 5 – Valores medidos y pronóstico de los 3 siguientes días.

Provincia	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Humedad (%)
Pichincha	3.51	9.89	7.35
Imbabura	1.57	2.74	3.33
Carchi	1.24	2.03	5.43

Tabla 6 – RSME de los pronósticos de las variables meteorológicas en estudio.

## 5. Conclusiones

En este artículo se utilizó una metodología basada en el KKF para estimar y predecir tendencias a largo plazo con datos espacio-temporales. Para ilustrar la metodología se procesó un conjunto de registros de 30 años provenientes de tres estaciones meteorológicas del eje norte del Ecuador (Pichincha, Imbabura y Carchi).

Como parte del estudio, se realizó la edición y limpieza de los datos meteorológicos brutos que se obtuvieron del INAMHI, seguidamente se llevó a cabo un análisis exploratorio, donde se obtienen algunas medidas descriptivas y gráficos, como por ejemplo los diagramas de cajas (boxplot) para observar diferencias, simetría, valores atípicos etc.

También se estimó algunas de las variables estados desconocidos del clima como son la precipitación, la temperatura, y la humedad, obteniéndose resultados satisfactorios cuando se compara con las series tiempo originales.

También se estimó un semi-variograma para analizar componentes espaciales, y se obtuvo que el semi-variograma no se ajustó correctamente, dado que desde el punto de vista teórico se requiere incorporar más estaciones meteorológicas.

Para solventar esta situación se utilizó una matriz unitaria para  $\mathbf{H}$ , que permite realizar la interpolación y el pronóstico de los datos en forma adecuada. También se estimó la RMSE, como una medida de bondad de ajuste para calibrar la calidad de la estimación del KKF, de dónde se determina que la mayor RMSE proviene de la variable precipitación, seguido de la humedad y luego temperatura.

## Referencias

- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, [w:] proceedings of the 2nd international symposium on information, bn petrow, f. Czaki, *Akademiai Kiado, Budapest*
- Almendral-vazquez, A. (2006). The Ensemble Kalman Filter - theory and applications in oil industry. *Ariel*. Retrieved from [http://publications.nr.no/4334/Almendral\\_Vazquez\\_-\\_Ensemble\\_Kalman\\_Filter\\_-\\_theory\\_and\\_applications\\_i.pdf](http://publications.nr.no/4334/Almendral_Vazquez_-_Ensemble_Kalman_Filter_-_theory_and_applications_i.pdf)
- Baingana, B., Dall'Anese, E., Mateos, G., & Giannakis, G. B. (2015). Robust kriged Kalman filtering. *2015 49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2016-February*, 1525–1529. <https://doi.org/10.1109/ACSSC.2015.7421400>
- Berliner, L. M. (1996). Hierarchical Bayesian time series models. In *Maximum entropy and Bayesian methods* (pp. 15–22). Springer.
- Bookstein, F. L. (1989). Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(6), 567–585.
- Cortés, J. (2009). Distributed Kriged Kalman filter for spatial estimation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 54(12), 2816–2827. <https://doi.org/10.1109/TAC.2009.2034192>.
- Cressie, N. A. (1993). *Statistics for Spatial Data. rev. ed.* John Wiley & Sons.
- Dempster, A. P., Laird, N. M., & Rubin, D. B. (1977). Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 39(1), 1–22.
- Gelfand, A. E., Diggle, P., Guttorp, P., & Fuentes, M. (2010). *Handbook of spatial statistics*. CRC press.
- Goodall, C., & Mardia, K. V. (1994). Challenges in multivariate spatio-temporal modeling. *Proceedings of the XVIIth International Biometric Conference*, 1–17.

- Handcock, M. S., & Stein, M. L. (1993). A Bayesian analysis of kriging. *Technometrics*, 35(4), 403–410.
- Harrison, P. J., & Stevens, C. F. (1976). Bayesian forecasting. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 38(3), 205–228.
- Infante, S., Ortega, J., Cedeño, F. (2008). Estimación de Datos Faltantes en Estaciones Meteorológicas de Venezuela Vía un Modelo de Redes Neuronales. *Revista de Climatología de España*. Vol. 8, 51-70. ISSN 1578-8768
- Infante, S., Sánchez, L., Cedeño, F. (2012). Filtros para Predecir Incertidumbre de Lluvia y Clima. *Revista de Climatología de España*. Vol. 12, 33-48. ISSN 1578-8768.
- Jones, R. H. (1980). Maximum likelihood fitting of ARMA models to time series with missing observations. *Technometrics*, 22(3), 389–395.
- Liu, N., Dai, W., Santerre, R., & Kuang, C. (2018). A MATLAB-based Kriged Kalman Filter software for interpolating missing data in GNSS coordinate time series. *GPS Solutions*, 22(1), 25. <https://doi.org/10.1007/s10291-017-0689-3>
- Mardia, K. V., Goodall, C., Redfern, E. J., & Alonso, F. J. (1998). The Kriged Kalman Filter. *Test*, 7(2), 217–282. <https://doi.org/10.1007/bf02565111>
- Pagani, S., Manzoni, A., & Quarteroni, A. (2016). *A reduced basis ensemble Kalman filter for state/parameter identification in large-scale nonlinear dynamical systems*.
- Phan, N. K. K. C. (2014). *Kriged Kalman filtering for predicting the wildfire temperature evolution*.
- Roy, V., Simonetto, A., & Leus, G. (2018). Spatio-temporal field estimation using kriged kalman filter (KKF) with sparsity-enforcing sensor placement. *Sensors*, 18(6), 1778. <https://doi.org/10.3390/s18061778>
- Sahu, S. K., & Mardia, K. V. (2005). A Bayesian kriged Kalman model for short-term forecasting of air pollution levels. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 54(1), 223–244. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2005.00480.x>
- Samalot, A. (2017). *Combined Universal Kriging and Kalman Filter Techniques to Improve Wind Speed Prediction for Northeastern U . S . Combined Universal Kriging and Kalman Filter Techniques to Improve Wind Speed Prediction for Northeastern U . S .*
- Sánchez, L., Infante, S., Griffin, V., & Rey, D. (2016). Spatio-temporal dynamic model and parallelized ensemble Kalman filter for precipitation data. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, 653–675.
- Sánchez, L., Infante, S., Marcano, J., Griffin, V. (2015). Polinomial Chaos based on the parallelized ensemble Kalman filter to estimate precipitation states. *Statistics, Optimization and Information Computing*, Vol. 3, 79-95. ISSN 2310-5070.
- Wikle, C. K., Zammit-Mangion, A., & Cressie, N. (2019). *Spatio-temporal Statistics with R*. CRC Press

# El coronavirus y la salud como derecho humano al hilo de las TIC: Ecuador y Brasil

Bartolomé Gil Osuna<sup>1</sup>, Pedro Mauricio Arias Romero<sup>1</sup>, María Jackelin Gil Ozuna<sup>2</sup>

bagil2@pucesi.edu.ec, pmarias@pucesi.edu.ec, jackelin.gilozuna@unifebe.edu.br

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. 100112, Ibarra, Ecuador.

<sup>2</sup>Centro Universitário de Brusque UNIFEBE. 83354435, Brusque-Brasil.

Pages: 387–399

**Resumen:** El Covid-2019 ha logrado acaudalar toda la atención mediática, científica y jurídica de la comunidad internacional. En enero, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara que el brote de coronavirus es una emergencia internacional de salud pública que debe aliarse con las TIC para aminorarla. Este artículo suministra información sobre esta pandemia que ha causado alarma mundial por su rápida diseminación como virus mortal y que debe contribuir para que los Estados tomen decisiones emergentes que signifiquen una potencial respuesta internacional coordinada, sobre todo, de los países mejor preparados para enfrentar brotes de enfermedades a gran escala. Partiendo de un análisis con carácter documental, basado en una revisión biblio-hemerográfica, esta investigación epiloga que, ante los frágiles Sistemas de Salud de Ecuador y Brasil, constituye una herramienta protocolar para esbozar estrategias sanitarias que no sólo se centren en los aspectos médicos de la pandemia, sino que traten las consecuencias que la respuesta sanitaria tiene en los derechos humanos y en el adecuado uso de las tecnologías de la información en esta sociedad que se encuentra en un punto de inflexión crítico.

**Palabras clave:** coronavirus; covid-2019; derechos humanos; OMS; TIC.

## *The coronavirus and health as a human right in line with ICT. Ecuador and Brazil*

**Abstract:** Covid-2019 has managed to garner all the media, scientific and legal attention of the international community. In January, the World Health Organization (WHO) declared that the coronavirus outbreak is an international public health emergency that must partner with ICTs to reduce it. This article provides information on this pandemic that has caused worldwide alarm due to its rapid spread as a deadly virus and that should contribute to States making emerging decisions that signify a potential coordinated international response, especially from the countries best prepared to face outbreaks of large-scale diseases. Starting from a documentary analysis, based on a bibliographic review, this research epilogue that, given the fragile Health Systems of Ecuador and Brazil, it constitutes



a protocol tool to outline health strategies that not only focus on the medical aspects of the pandemic, but rather address the consequences that the health response has on human rights and the proper use of information technologies in this society that is at a critical turning point.

**Keywords:** coronavirus; covid-2019; human rights; WHO; TIC.

## 1. Introducción

Los coronavirus se han considerado una extensa familia de virus, algunos de los cuales pueden ser causa de diversas enfermedades humanas, que van desde el resfriado común hasta el SRAS (síndrome respiratorio agudo severo). Una de las hipótesis afirma que los primeros casos del virus en humanos se originaron en un mercado de pescado y vida silvestre en Wuhan, China. La sospecha de nuevos contagios de coronavirus se extiende en el mapa mundial. Sin embargo, esta enfermedad es común entre animales.

La Organización Mundial de la Salud<sup>1</sup> (OMS) según la Redacción BBC News Mundo (2020), ha declarado que el nuevo brote de coronavirus es una emergencia internacional de salud pública, luego de que un comité de emergencia se reuniera en Ginebra. La OMS define una emergencia de salud pública de interés internacional como “un evento extraordinario” (Director General de la OMS, Adhanom Ghebreyesus, en declaraciones dadas a la BBC, Londres, 2020), que constituye un “riesgo para la salud pública de otros Estados a través de la propagación internacional de enfermedades” y “potencialmente requiere una respuesta internacional coordinada” (BBC, Londres, 2020). Las emergencias anteriores han incluido el ébola, el zika y la gripe H1N1.

Frente a este virus mortal que aqueja al mundo entero, es preciso analizar el impacto de este meteoro, analógicamente hablando, llamado *coronavirus*, que habría sido incluso más devastador si una sociedad como la nuestra no tuviera el nivel de conectividad y digitalización actual; no obstante, se aprecia la violación de los derechos humanos generada por mantener a los habitantes en cuarentena, sin una adecuada observación médica y en espacios físicos no idóneos desde el punto de vista sanitario, prohibiendo su libre circulación, contraviniendo su derecho a la alimentación, al vestido, a la educación, a la información, a la libertad de expresión, entre otros, que forja una situación de vulnerabilidad sin control por parte de las políticas prohibitivas de los Estados a los fines de evitar la expansión de éste.

En este contexto las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) se han convertido en el gran aliado para batallar la crisis del coronavirus, no solo la crisis sanitaria, sino también la crisis económica y social. El mundo *prima facie* se detuvo presencialmente en la mayor parte de las actividades a excepción de las puramente esenciales. No obstante, gracias a la tecnología se ha podido, en muchos casos, suplir esa presencialidad con el teletrabajo, demostrando sus posibilidades y ventajas, a la vez que ha permitido nuevas formas de relación en el ámbito familiar y en el ocio y, que permite

---

<sup>1</sup> Es el órgano - parte del sistema de la ONU - que lidera el desarrollo del concepto de *salud global*: la OMS (Manchola, Garrafa, Cunha y Hellmann, 2017).

desarrollar investigaciones como ésta para plantear un potencial debate en torno al coronavirus y la salud como derecho humano<sup>2</sup> al hilo de las TIC, haciendo referencia muy particular en los Sistemas de Salud de Ecuador y Brasil, como países susceptibles de propagación y que están convocados a actuar “agresivamente” para contener el coronavirus, evitar que la gente enferme y salvar muchas más vidas.

El estado del arte de este virus internacional es escaso por ser de reciente data; no obstante, se revisaron algunas publicaciones de entes de relevancia mundial como el de la OMS (junio, 2015), que publicó “Consideraciones sobre las concentraciones multitudinarias y el coronavirus causante del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV). Orientaciones provisionales”, que contribuye al desarrollo de esta investigación. Del mismo modo, La Red Mundial de Alerta y Respuesta ante Brotes Epidémicos (GOARN) (2019) publicó “Principios rectores de la alerta y respuesta internacional ante brotes epidémicos”. Chen, Zhou, Dong, et al. (2020) publicaron “*Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study*”, en la prestigiosa Revista The Lancet, con el objetivo fue aclarar aún más las características epidemiológicas y clínicas de la neumonía 2019-nCoV.

Frente a este drama internacional que afecta el sistema de salud mundial, se perfila esta investigación con una perspectiva más amplia —aliada a los derechos humanos— que la visión restrictiva como ausencia de enfermedad promulgada por la OMS: “Completo estado de bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (Vélez, 2017, p. 63), en pro del avance a conceptos más integrales, que conciben la salud como parte prioritaria del conjunto de bienes básicos necesarios para que el individuo desarrolle sus potencialidades en el ser y el hacer, utilizando el *método hemerográfico comparativo* como proceso que procura obtener información relevante y fidedigna para entender, verificar y aplicar el conocimiento médico-jurídico que permita una lectura crítica de la comunicación científica, generalmente artículos científicos, frente al fenómeno del coronavirus, con *carácter documental*, pues se basó en una *revisión biblio-hemerográfica*. Bajo un *enfoque cualitativo* que contribuya a obtener información útil para enfrentar este virus de alcance internacional y permita identificar —*prima facie*— las vías más expeditas para su erradicación; con una *profundidad exploratoria descriptiva* tendiente a analizar el tema de los principales desafíos para los gobiernos locales y regionales con respecto al uso de las tecnologías digitales durante esta crisis, como la relación entre privacidad y seguridad, la brecha digital y la accesibilidad, —clasificando la salud como un derecho humano—, siendo uno de los aspectos más polémicos dentro del área de la salud global, porque está en el centro de su objetivo el asegurar que todos los seres humanos tengan la posibilidad de mejorar y garantizar equidad en el alcance de un estándar de salud aceptable, aun en medio de una emergencia internacional de salud, identificando *in pectore* las necesidades de avalar el derecho humano a la salud en este contexto mundial del coronavirus, que en predicciones médicas, puede tener un impacto de fatalidad global y que corre el riesgo

<sup>2</sup> Según la Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948), “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar (...)”. La salud es un derecho humano fundamental que sigue sin ser reconocido en muchos países. La salud, según se desprende del pensamiento de Almirón (2015), es mucho más que la ausencia de enfermedad.

de colapsar por una sobrecarga de consultas que podrían ser atendidas utilizando las tecnologías de información a través de medios virtuales.

## 2. Rol de las TIC en tiempos de pandemia

La OMS según la Redacción BBC News Mundo (2020/02), ha declarado en *ultimátum* que el nuevo brote de coronavirus es una *emergencia internacional de salud pública*, con el propósito que todos los países tomen de manera urgente las previsiones activando los respectivos Protocolos de vigilancia epidemiológica, en la que hay terrenos donde las tecnologías informáticas resultan cruciales en la lucha contra la pandemia. Son batallas menos conocidas y más alejadas de lo cotidiano, pero fundamentales para vencer al virus. Los gobiernos en general, los de Ecuador y Brasil, en particular, deben velar porque la inteligencia artificial, la supercomputación y tecnologías como el *big data*, entre otras, se conviertan en aliados para combatir esta situación de salubridad; lo cual debe conllevar a poder analizar ingentes cantidades de datos, a analizar patrones de comportamiento, predecir —en el menor tiempo posible— la propagación o realizar el seguimiento del virus a través del desplazamiento de personas, que permitan la toma de decisiones veraces, (¿cuánta gente morirá? ¿cuándo desaparecerá? ¿cuántos más?, etc.). Lograr la implantación de asistentes virtuales basados en tecnologías del lenguaje humano que permitan ayudar en el diagnóstico prolijo de la enfermedad. Asimismo, emplear recursos en la búsqueda de moléculas antivirales y así acelerar la obtención de medicamentos para tratar a enfermos de Covid-19. Por otro lado, para maximización de logros —como asevera Ureña-López (2020)— recurrir a sistemas de análisis de redes sociales y comprensión del lenguaje humano para desenmascarar la profusión de bulos (*fakes news*) y noticias manipuladas que inundan la red con el objetivo de crear opinión o desinformar a la población.

La OMS indica que «Covid-19» es el nombre oficial de la enfermedad provocada por el nuevo y mortífero coronavirus que fue identificado por primera vez en China el 31 de diciembre, que debe aliarse *ad imperium* con los sistemas de información para la salud —a través del acceso oportuno a datos correctamente desagregados, la correcta integración de los sistemas nacionales y locales, la salud digital y la utilización de las (TIC) de uso frecuente— que facilitan la identificación eficaz, el reporte y análisis de casos y contactos; la búsqueda y detección tempranas de casos; y la identificación y el seguimiento de la población de riesgo, los casos y sus contactos inmediatos. De esta manera, la contención se ve fortalecida con las plataformas digitales de seguimiento y monitoreo de casos, contactos, cuarentena<sup>3</sup> obligatoria y aislamiento social imperioso. Estos sistemas permiten a su vez la difusión masiva a toda la sociedad de las comunicaciones sobre medidas preventivas.

Del mismo modo, enfatiza la Organización Panamericana de la Salud —OPS— (2020) que las plataformas de tele consulta, monitoreo remoto de pacientes y comunicación a distancia permiten *al primer nivel de atención* el manejo de la asistencia médica y facilitan el seguimiento domiciliario de las personas con Covid-19. Estos mismos

---

<sup>3</sup> Las cuarentenas se remontan a Italia en los años 1300, cuando la peste bubónica devastó Europa. En Venecia, los marineros y barcos procedentes de puertos infectados tuvieron que esperar 40 días antes de atracar en una práctica llamada “*quaranta giorni*” o “40 días” (Andone, 2020).

mecanismos, integrados con los registros electrónicos de salud y los sistemas locales y nacionales de información, permiten y facilitan las referencias al nivel hospitalario de los pacientes con signos y síntomas graves o factores de riesgo. Se es consciente que, al facilitar el acceso a los servicios de salud, en países como Ecuador y Brasil, las TIC permiten una mayor equidad en el acceso a la atención médica oportuna, lo que facilita la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento de los casos sospechosos y positivos de forma segura y efectiva, minimizando el riesgo de transmisión.

Frente a este escenario, sólo nos queda preguntarnos: ¿Estamos preparados ante la expansión silenciosa de la *pandemia*?

### 3. Países mejor preparados para enfrentar brotes de enfermedades a gran escala

El Covid-19 en su estadística negativa ya cuenta con pacientes fallecidos a nivel mundial, lo cual ha hecho que el Índice de Seguridad Sanitaria Global<sup>4</sup> que examina si los países del mundo están preparados para enfrentarse a una epidemia o pandemia, se active en todas las regiones, con carácter de urgencia internacional.

Esto se basa en la clasificación de 195 países en función del valor de su Índice de Seguridad Sanitaria Global (GHS), un proyecto de la Iniciativa de Amenazas Nucleares (NTI) y el Centro Johns Hopkins para la Seguridad de la Salud (JHCHS) realizado en colaboración con *The Economist* Unidad de Inteligencia (EIU). Tal como se aprecia en la Figura 1.

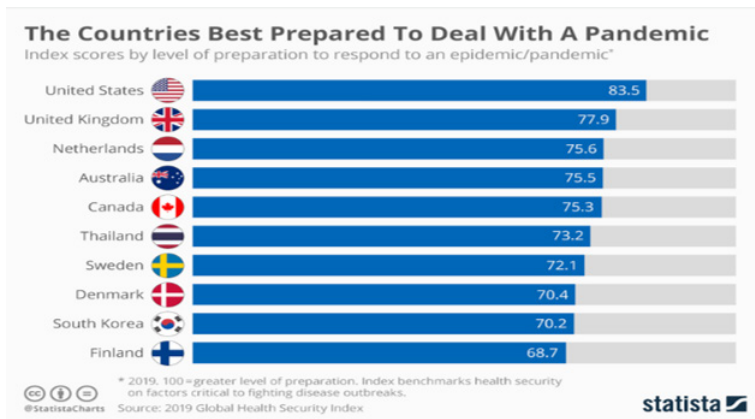


Figura 1 – Países mejor preparados frente a la pandemia. Fuente: www.statista.com.

Para elaborar el Índice SGA, NTI, JHCHS y la EIU formularon 140 preguntas utilizadas para evaluar la preparación de un país a la hora de prevenir y mitigar pandemias, entre las que resalta la utilización de las TIC en los sistemas de salud, las cuales fueron practicadas

<sup>4</sup> *The Global Health Security Index* ubica a los países mejor preparados a nivel mundial en medicina, con capacidad para afrontar una pandemia, haciendo referencia expresa al Covid-2019.

en Centros de Salud pública de Ecuador y Brasil, entre otros países latinoamericanos y puede ser utilizado por ministerios de salud y organizaciones internacionales, filántropos y financiadores, académicos e investigadores para prevenir la propagación del Covid-2019. “El índice GHS determina que ningún país está completamente preparado para brotes de enfermedades infecciosas que ocurren naturalmente, de manera intencional o accidental” (Homeland Security Today.US., 2020/sp).

#### 4. Derechos humanos afectados por el coronavirus

Al comenzar una década como la que se está iniciando (2020-2030), es determinante subrayar la existencia de factores sociales, políticos, económicos, ambientales y culturales que ejercen gran influencia en el *estado de la salud* de las personas y en su calidad de vida. Los principales derechos que a menudo están comprometidos en emergencias de salud pública incluyen el derecho a la salud, el derecho a la privacidad y la confidencialidad, el derecho a la circulación y la libertad, el derecho al empleo, el derecho a la no discriminación, la libertad de reunión y libre expresión y el derecho y acceso a la información.

En el contexto del virus Covid-19 los derechos humanos deben hacerse sentir, más que en cualquier situación, sobre todo el derecho a la salud tanto de los pacientes afectados por el coronavirus como los aún no afectados. De tal manera que, a través de información correcta y fácilmente disponible sobre cómo prevenirlo puede lograrse mitigar su difusión. Como asevera ONUSIDA (2020) los profesionales de la salud pública también requieren información oportuna y precisa para actuar de manera rápida y efectiva. Los líderes comunitarios son a menudo los mejores para garantizar la difusión de información y seguridad. Todas estas acciones solo son posibles si la información se intercambia libremente y de manera precisa.

Si bien comunicar incertidumbre y riesgo al abordar las preocupaciones públicas puede ser un desafío, no hacerlo sin tomar en cuenta el aporte fundamental de las TIC en la crisis sanitaria, puede conducir a una serie de resultados, incluyendo la pérdida de confianza y reputación, impactos económicos y, en el peor de los casos, pérdida de vidas. Una de las intervenciones más importantes y efectivas en cualquier respuesta de salud pública es comunicar de manera proactiva lo que se sabe, lo que se desconoce y lo que se está haciendo para obtener mayor información, con el objetivo de salvar vidas y minimizar las consecuencias antagónicas. La comunicación regular, proactiva y confiable y la participación con el público y las poblaciones en riesgo pueden ayudar a aliviar la confusión y evitar equívocos irremediables. Las personas tienen derecho a estar informadas y comprender los riesgos para la salud que enfrentan ellos y sus seres queridos<sup>5</sup>.

Grandes empresas de tecnología como Apple, Google, Microsoft, Samsung y Facebook han ofrecido a diversos gobiernos su colaboración para rastrear movimientos de personas

<sup>5</sup> La Organización Mundial de la Salud tiene orientación documentada del aprendizaje en Wuhan, China, sobre la importancia de la comunicación clara y la vinculación de la comunidad con las TIC en el foco de la pandemia ([https://www.who.int/publications-detail/risk-communication-and-communityengagement-readiness-and-initial-response-for-novel-coronaviruses-\(ncov\)](https://www.who.int/publications-detail/risk-communication-and-communityengagement-readiness-and-initial-response-for-novel-coronaviruses-(ncov))) y mantiene un tablero actualizado con informes diarios en su sitio web principal: [www.who.int](http://www.who.int).

a través de *bluetooth* y alertar acerca de posibles contactos con personas infectadas, comenta Schulkin (2020). Aunque proclaman una absoluta protección de la privacidad y supone un gran respaldo tecnológico en la lucha contra la expansión del coronavirus, surgen muchas dudas sobre la invasividad de estas prácticas. Esto es la sociedad vigilada en la que nos encontramos.

El brote de coronavirus originado en China ha enfermado a miles de personas, pero también ha generado otro tipo de víctimas: asiáticos que son objeto de *discriminación*. En Francia, las personas de origen asiático se han manifestado en las redes sociales para repudiar las expresiones de discriminación en su contra que se han incrementado ante los temores de la propagación del coronavirus (<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-51318220>), por lo que están usando la etiqueta *#JeNeSuisPasUnVirus* (no soy un virus). Las manifestaciones de rechazo contra el racismo en Francia se incrementaron luego de que un diario local, *Le Courier Picard*, ¿publicara titulares como “Alerte jaune” (Alerta amarilla) y “Le péril jaune?” (¿Peligro amarillo?). Titulares como éstos jamás se habían visto en ningún medio de comunicación mundial, que afectan —sin duda alguna— la encomiable labor que desempeñan las TIC en este crítico momento. Al respecto, Stéphane Nivet, jefe de Licra (la Liga Internacional contra el Racismo y el Antisemitismo), dijo que ningún periódico se habría atrevido a usar el titular “Alerta negra”, por lo que estaba claro que hay un problema de discriminación de la población asiática (<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-51318220>).

Otro de los derechos humanos en flagrante violación, es el derecho a la *información* y a estar debidamente comunicados<sup>6</sup>. Así como el derecho a la *alimentación*, el derecho a la *educación*, el derecho a la *recreación*, derecho al comercio, están siendo afectados por el Covid-2019, al evitar que la sociedad puede libremente ejercer estos derechos constitucionalmente establecidos y que deben ser garantizados por el Estado, en cualquier situación aún frente a una pandemia como ésta.

## 5. Otros efectos colaterales

Muchos son los efectos adyacentes de la expansión agresiva del Covid-19, entre ellos, “los altos niveles de dióxido de azufre en Wuhan serían consistentes con una gran cantidad de cremaciones<sup>7</sup> en la ciudad”, así lo manifestó El Día (2020), otro aspecto médico para tomar en cuenta y que puede agravar la ya existente, que puede ocasionar graves consecuencias en ciudades que no estén preparadas para masivas muertes de pacientes por covid-19, como en Ecuador o Brasil.

La enfermedad mortal amenaza en el ámbito global los mercados de valores, el petróleo, el transporte, alimentos y el turismo. Todo indica que inquietará negativamente el crecimiento económico del mundo, al menos en este primer trimestre. Es de advertir, que

<sup>6</sup> En estos tiempos de noticias falsas y su rápida difusión en las redes sociales, —expresa ONUSIDA (2020)— los gobiernos, los medios de comunicación, las comunidades y el sector privado deben llevar a cabo esfuerzos para identificar y aclarar rápidamente la información falsa y engañosa.

<sup>7</sup> China ha decretado que los cuerpos de las víctimas de coronavirus deben ser cremados en funerales discretos para evitar grandes reuniones públicas y la Comisión Nacional de Salud del país dijo a principios de este mes que los cuerpos deberían ser ‘incinerados cerca e inmediatamente.



el nuevo coronavirus aún no ha llegado a América Latina pero la crisis sanitaria china ya se vislumbra como otro escollo económico de magnitudes significativas para la región.

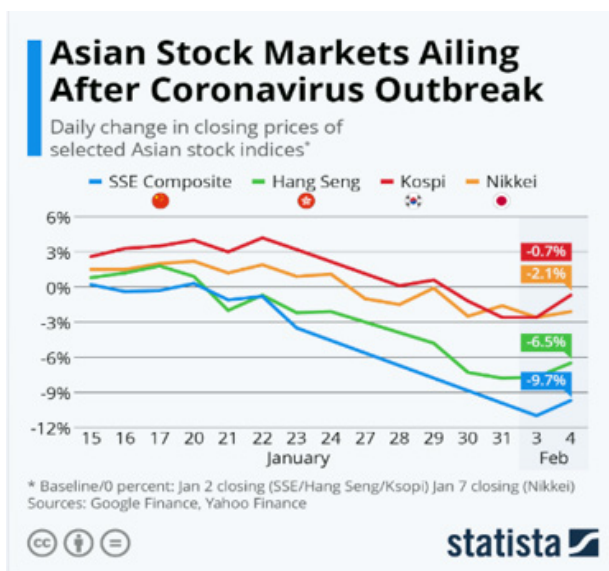


Figura 2 – Los mercados de valores asiáticos están enfermos después del brote del coronavirus.  
Fuente: www.statista.com.

El virus de Wuhan ha sacudido de lleno a la Bolsa del gigante asiático. El *Shanghai Composite* se ha hundido un 7,72% y pese a los esfuerzos del Banco Central Chino que ha inyectado liquidez en el mercado para mitigar los efectos adversos del coronavirus en la Bolsa, ver Figura N° 2. Las *commodities* también han sufrido grandemente el efecto del coronavirus. En China se haya augurado un desplome de la demanda de petróleo que ha llevado al oro negro hasta su nivel más bajo del último año. La propagación del coronavirus, según *Expansión* (2020) también ha afectado al *mercado de divisas* donde el *yuan*<sup>8</sup> chino.

El *transporte aéreo* ha sido uno de los sectores más afectados, ya que la mayoría de los vuelos de Wuhan fueron cancelados. Y varias aerolíneas regionales, incluidas AirAsia de Malasia y Scoot de Singapur, anunciaron una suspensión temporal de sus vuelos hacia y desde Wuhan. Asimismo, las líneas aéreas, Cathay y Qantas. Las principales *tiendas*, *restaurantes* y *destinos turísticos* están cerrando sus puertas en China, a medida que las empresas globales comienzan a sentir los efectos del brote mortal del virus Wuhan. *Disney* ha cerrado sus parques en Shanghái y Hong Kong. Las empresas automotrices con una gran presencia en Wuhan también se están preparando para los problemas. *Renault*, *Peugeot* y otras han tuiteado que repatriará a su personal expatriado y a sus familias de “la región de Wuhan”, según lo expresa su representante legal a CNN (Pham,

<sup>8</sup> 1 yuan es igual a 0.14 dólar estadounidense.

2020). Del mismo modo, las principales cadenas hoteleras, incluidas IHG, Marriott y Accor, dijeron que eximirán las tarifas de cancelación hasta el 8 de febrero para reservas en hoteles en China y más allá. *Apple*<sup>9</sup> está cerrando temporalmente todas sus tiendas en China debido al brote de coronavirus.

El miedo al nuevo virus respiratorio en China hunde las aerolíneas y dispara las *firmas de antibióticos*, sostiene el diario El País (08/02/2020). La noticia ha desplomado las acciones ligadas al turismo. Air China ha caído hasta un 7,5% en Bolsa, y tanto China Southern Airlines como China Eastern Airlines han bajado más de un 3%. Las operadoras de casinos en Macao han registrado descensos de más del 5%, y algunas cadenas de cines o de hoteles han registrado la caída máxima permitida en las Bolsas chinas, un 10%.

## 6. Ecuador y Brasil. Sistemas de Salud, TIC y coronavirus

El Ministerio de Salud de Ecuador informó que ha adoptado medidas de prevención contra la migración del coronavirus. El Ministerio de Salud (MSP) y el MINTEL auspician garantizar el abastecimiento de alimentos, víveres, medicinas y bienes de higiene personal en las ciudades principales del país, a través de empresas de base tecnológica, como plataformas de entrega a domicilio, servicios de mensajería. Además, agrega REDGEALC (2020), establecen los lineamientos obligatorios para provisión y acceso a servicios de telecomunicaciones durante la emergencia sanitaria, en los que prestadores de SMA, telefonía fija y acceso a Internet no suspendan el servicio por falta de pago de los clientes<sup>10</sup> y se dispuso *el uso gratuito de aplicaciones* desarrolladas por el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y la aplicación móvil SaludEc.

Del mismo modo, el gobierno federativo de Brasil ha declarado varias medidas en el uso de tecnologías de la información como el sitio web *Open Government* que transmite información sobre el coronavirus, desarrollando “Plataforma de desafíos”, sistema que invita a la sociedad a participar en la construcción de soluciones innovadoras para ayudar al país a enfrentar la pandemia de Covid-19. En este contexto, Brasil, siendo uno de los países de América Latina fuertemente golpeado por el virus está en permanente vigilancia epidemiológica por parte del Ministério Da Saúde, Secretaria de Atenção Especializada à Saúde, Departamento de Atenção Hospitalar, Domiciliar e de Urgência.

## 7. A modo de colofón

Sin duda, que en la sociedad actual del conocimiento y la información es preciso disponer de herramientas y procedimientos de investigación que permitan conocer

<sup>9</sup> Docenas de compañías estadounidenses están luchando para enfrentar la propagación del coronavirus y detener las pérdidas a causa del brote. Pero Apple, tal vez, puede perder más que otros: depende en gran medida de la fabricación en China y de los consumidores chinos como un factor clave de ingresos.

<sup>10</sup> Con estas medidas, el mensaje para los ciudadanos es que “usemos inteligentemente todo este sistema digital”, a través del cual es posible tener acceso a servicios de salud, educación y a la distribución de alimentos para no salir de casa en la contingencia sanitaria, dijo el titular del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (Mintel), Andrés Michelena. (Carreño, 2020).



las evidencias científicas sobre problemas de Salud como la rápida diseminación por el mundo del coronavirus para contribuir a la toma de decisiones en relación con la prevención, difusión y propagación de este virus mortal. La utilidad fundamental de esta indagación holística es generar *evidencias científicas* necesarias e imprescindibles para la prevención y alerta frente a virus como éste y; al mismo tiempo, evitar las infracciones a la salud como derecho humano constitucionalmente<sup>11</sup> garantizado por las legislaciones de Ecuador y Brasil, que vienen dadas por múltiples factores<sup>12</sup> —como lo ha expresado el Secretario General de las Naciones Unidas António Guterres (2020)— con el aumento de casos de violencia doméstica generalizada, como lo sugieren los informes de la policía y de las líneas directas. El hogar puede ser un sitio de miedo y maltrato para muchas mujeres, niñas y niños durante esta pandemia, por lo que, la situación empeora considerablemente en casos de aislamiento como las cuarentenas, cuyo único recurso de salvedad es el uso adecuado de las TIC.; asimismo, con los informes de personas mayores abandonadas o de cadáveres encontrados en residencias que constituyen acontecimientos alarmantes, vulnerando este derecho humano.

Los Sistemas de Salud de los diferentes gobiernos se ven ineludibles a implementar soluciones tecnológicas para enfrentarnos el Covid-19 siendo imprescindible que éstas se encuentren integradas en el marco de una estrategia de medidas jurídicas y organizativas realistas, eficaces, basadas en criterios científicos, legítimas y proporcionales. Cuya proporcionalidad se establece mediante un análisis del coste y el beneficio para la sociedad y los derechos y libertades del individuo frente a algunas de las *tecnologías en la lucha contra* el Covid-19, de los beneficios que prometen aportar en la lucha frente a la pandemia y de los costes en la privacidad de los individuos, como son: la geolocalización anonimizada mediante la información recogida por los operadores de telecomunicaciones, la geolocalización en redes sociales, apps, webs y *chatbots* para auto-test o cita previa, apps de recogida de información de contagiados, apps de seguimiento de contactos por *bluetooth (contact trace apps)*, pasaportes digitales de inmunidad, cámaras infrarrojas para lecturas masivas de temperatura. En este punto, siguiendo los lineamientos de la AEPD (2020), hay que recordar que las *tecnologías de la información* no pueden ser entendidas de forma aislada, sino siempre en el marco de un tratamiento con un objetivo definido. Este tratamiento ha de implementar una estrategia global basada en evidencias científicas, evaluando su proporcionalidad en relación con su eficacia, eficiencia y teniendo en cuenta de forma objetiva los recursos

---

<sup>11</sup> Constitución de la República de Ecuador (2008), art. 32. “La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos (...)”. La Constitución Federal de Brasil (1988), art. 196. “*A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação*”, postula el acceso universal e igualitario a las acciones de promoción, protección y recuperación de la salud, y responsabiliza al Estado de la provisión de servicios.

<sup>12</sup> Durante una epidemia el crecimiento del número de enfermos es exponencial, lo cual puede *desbordar la infraestructura de la salud* en materia de camas, medicinas, reactivos y material de laboratorio clínico, entre otros (CAF -banco de desarrollo de América Latina, 2020).

organizativos y materiales necesarios. Además, *teniendo siempre presente* que se han de cumplir los principios establecidos en el Reglamento General de Protección de Datos.

Los países de América Latina y el Caribe son susceptibles al Covid-19 debido a que sus Sistemas de Salud no están debidamente preparados para una embestida de grandes magnitudes, como sucede con Ecuador y Brasil; frente a este escenario los gobiernos nacionales deberían poner más atención y cuidado al dictamen de medidas extremas para evitar el contagio, como las cuarentenas o distanciamientos sociales que pueden surtir un efecto muy positivo en la sociedad, a sabiendas *—a priori—* que no están debidamente preparados para enfrentar y prevenir el Covid-2019.

La ampliación de esta revisión biblio-hemerográfica, hecha a mediados del primer semestre de 2020, permitirá *in continendi* pesquisar datos que, con toda seguridad, cambiarán con el devenir de los días, debido a las mutaciones *—profectum scientiae—*. Esta pandemia está evolucionando de manera bastante rápida y con ello, el conocimiento que tenemos sobre este virus. De no saber nada de él a principios de 2020, la comunidad científica mundial ya ha logrado identificarlo y desplegar pruebas para diagnosticarlo, haciendo énfasis en el *uso de las tecnologías* tanto para manejar la información respecto a la pandemia, como desde el punto de vista de la garantía inexcusable de los derechos humanos. La inteligencia artificial, los sistemas basados en PC y *deep learning* son nuestra mejor herramienta en la mayoría de los casos y, por eso, debemos seguir investigando en ella y en su aplicabilidad en pro de enervar este flagelo universal. Si conseguimos una vacuna en un tiempo récord será gracias, en parte, a la informática. Será con las TIC como alcanzaremos un nuevo estado del bienestar *post* pandemia.

## Referencias

- Agencia Española Protección Datos —AEPD— (2020) *El uso de las tecnologías en la lucha contra el Covid19. Un análisis de costes y beneficios*. Unidad de Evaluación y Estudios Tecnológicos 1 / 13. Madrid. Disponible en: <https://www.aepd.es/sites/default/files/2020-03/analisis-tecnologias-COVID19.pdf>
- Andone, D. (2020) *Las cuarentenas sin precedentes en China podrían tener consecuencias mayores, dicen los expertos*. 27/ene/2020. Atlanta. Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2020/01/27/las-cuarentenas-sin-precedentes-en-china-podrian-tener-consecuencias-mayores-dicen-los-expertos/>
- Carreño, I. (2020) Estas son las medidas TIC que han implementado los gobiernos latinoamericanos frente a la pandemia del coronavirus. *DPL News*. Disponible en: <https://digitalpolicylaw.com/estas-son-las-medidas-tic-que-han-implementado-los-gobiernos-latinoamericanos-frente-a-la-pandemia-del-coronavirus/>
- Chen N., Zhou M., Dong X., et al. (2020) “Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study”, en *Revista The Lancet*. Volumen 395, Issue 10223, P507-513, 02/15/2020. London. Disponible en: <https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2820%2930211-7/fulltext>

- El Día (2020) *Los efectos del coronavirus en Wuhan vistos desde el espacio*. 11/02/2020. Madrid. Disponible en: <https://www.eldia.es/buzzeando/2020/02/11/efectos-coronavirus-wuhan-vistos-espacio/1050195.html>
- El país*. (2020) El miedo al nuevo virus respiratorio en China hunde las aerolíneas y dispara las firmas de antibióticos. Salud cinco días. 20/01/2020. Madrid. Disponible en: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/01/20/companias/1579505185\\_614146.html?rel=str\\_articulo#1581205700677](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/01/20/companias/1579505185_614146.html?rel=str_articulo#1581205700677)
- Expansión* (2020) El coronavirus hunde la Bolsa de China pese a los esfuerzos del banco central. 3/02/2020. Madrid. Disponible en: <https://www.expansion.com/mercados/2020/02/03/5e37c771e5fdeac1218b460b.html>
- Schulkin, J. (2020) Las empresas de tecnología más grandes del mundo, según Forbes. *Infobae*. América, Argentina. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/tecnologia/2018/07/19/las-empresas-de-tecnologia-mas-grandes-del-mundo-segun-forbes/>
- Manchola, C.; Garrafa, V.; Cunha, T. y Hellmann, F. (2017) El acceso a la salud como derecho humano en políticas internacionales: reflexiones críticas y desafíos contemporáneos. En DOI: 10.1590/1413-81232017227.04472017. pp. 2151-2160. Universidade de Brasília. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/csc/v22n7/1413-8123-csc-22-07-2151.pdf>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2020) *MSP de Ecuador descarta circulación de coronavirus (CoV) y llama a la calma a la ciudadanía*. Quito: Gobierno de la República del Ecuador. Feb/2020. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/msp-de-ecuador-descarta-circulacion-de-coronavirus-cov-y-llama-a-la-calma-a-la-ciudadania/>
- Ministério da Saúde, (2020) *Protocolo de Tratamento do Novo Coronavírus (2019-nCoV)*. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde Departamento de Atenção Hospitalar, Domiciliar e de Urgência, Brasília – DF, Jan, 2020. Disponible en: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2020/fevereiro/05/Protocolo-de-manejo-clinico-para-o-novo-coronavirus-2019-ncov.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2020) *COVID-19 y el rol de los sistemas de información y las tecnologías en el primer nivel de atención*. Departamento de Evidencia e Inteligencia para la acción en Salud, Washington D. C. Hoja informativa N.7. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52205/COVID-19FactsheetPNA%20\\_spa.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52205/COVID-19FactsheetPNA%20_spa.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Pham, S. (2020) Cómo el coronavirus ya está perjudicando a los negocios globales. *CNN*. 27/02/2020. Atlanta. Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2020/01/27/como-el-coronavirus-ya-esta-perjudicando-a-los-negocios-globales/>
- Red de gobierno electrónico de América Latina y el Caribe (REDGEALC) (2020) *Ecuador: las TIC y su rol ante el COVID19*. Ecuador: Disponible en: <http://www.redgealc.org/contenido-general/noticias/ecuador-las-tic-y-su-rol-ante-el-covid19/>

- Redacción BBC News Mundo (2020) *Coronavirus: cómo es Wuhan, la ciudad china donde se originó el nuevo brote y aislada por las autoridades*. 23/ene/2020. Londres. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-51206219>
- Redacción La Vanguardia. (2020) Coronavirus: Última hora sobre el virus en España, Europa y China, en directo. *La Vanguardia*. 07/02/2020. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/20200207/473316587255/coronavirus-wuhan-infectados-casos-fallecidos-china-espana-cuarentena-sintomas-ultimas-noticias-hoy-en-directo.html>
- Redacción El Economista (2020) Ante brote de coronavirus. Firmas chinas de biotecnología al alza en Shanghai. *El Economista*. México, 06 feb 2020. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/mercados/Firmas-chinas-de-biotecnologia-al-alza-en-Shanghai-20200206-0099.html>
- Redacción Río Negro, (2020) Coronavirus: Dos aviones de Brasil partieron a China para repatriar a 29 ciudadanos. *Río Negro*, Argentina. 05/02/2020. Disponible en: <https://www.rionegro.com.ar/coronavirus-dos-aviones-de-brasil-partieron-a-china-para-repatriar-a-29-ciudadanos-1247156/>
- Ureña-López (2020) Las TIC, el gran aliado para combatir la crisis del coronavirus. *Ideal*. Corporación de Medios de Andalucía, S.A.-España. Disponible en: <https://www.ideal.es/opinion/gran-aliado-combatir-20200518133932-nt.html?ref=https:%2F%2Fwww.ideal.es%2Fopinion%2Fgran-aliado-combatir-20200518133932-nt.html>
- Vélez, A. (2017) *Nuevas dimensiones del concepto de salud: el derecho a la salud en el estado social de derecho*. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/hpsal/v12n1/v12n1a05.pdf>
- World Health Organization (2020) *Clinical management of severe acute respiratory infection when novel coronavirus (2019-nCoV) infection is suspected. Interim guidance* (28 January 2020). Disponible en: [https://www.who.int/publications-detail/clinical-management-of-severe-acute-respiratory-infection-when-novel-coronavirus-\(ncov\)-infection-is-suspected](https://www.who.int/publications-detail/clinical-management-of-severe-acute-respiratory-infection-when-novel-coronavirus-(ncov)-infection-is-suspected)
- 20 minutos Editora S. L. (2020). Bulos y teorías sobre el coronavirus: se fabricó en un laboratorio, el portador era un murciélago... Madrid. Disponible en: <https://www.20minutos.es/noticia/4138100/0/coronavirus-bulos-teorias-conspirativas/>

# La usabilidad temprana en el modelado conceptual de sistemas

Juan Carlos Moreno<sup>1</sup>, Marcelo Martin Marciszack<sup>1</sup>, Mario Alberto Groppo<sup>1</sup>

[jmoreno33@gmail.com](mailto:jmoreno33@gmail.com), [marciszack@gmail.com](mailto:marciszack@gmail.com), [sistemas@groppo.com.ar](mailto:sistemas@groppo.com.ar)

<sup>1</sup> Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información (CIDS), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, 5016, Córdoba. Argentina.

Pages: 400–412

**Resumen:** La industria del software exige el desarrollo de métodos más veloces para la construcción de aplicaciones usables. En el presente trabajo, se presenta una propuesta metodológica que permite definir y mantener atributos de usabilidad, integrándolos al ciclo de vida de desarrollo del software. Los atributos de usabilidad son identificados tempranamente desde la elicitación de requerimientos, partiendo del Modelo de Procesos de Negocios. Mediante un conjunto de transformaciones, se los incorpora a una estructura denominada “Requirements Baseline”, que emplea el léxico extendido del lenguaje (LEL) y escenarios. Además, el proceso permite definir métricas para la evaluación de los atributos y sub-atributos, tomando como fundamento la norma ISO/IEC 25000. Los subatributos permiten definir métricas que posibilitan evaluar los criterios de usabilidad relacionados con la calidad del producto. Asimismo, se pueden incorporar nuevas especificaciones o correcciones relacionadas con la aplicación de criterios de usabilidad al diseño para garantizar la trazabilidad del proceso.

**Palabras-clave:** usabilidad; patrones; MDA; modelado conceptual; escenarios.

## *Early Usability in Conceptual Systems Modeling*

**Abstract:** The software industry demands the development of faster methods for building usable applications. In the present work, a methodological proposal is presented that allows defining and maintaining usability attributes, integrating them into the software development life cycle. The usability attributes are identified early from the elicitation of requirements, based on the Business Processes Model. Through a set of transformations, they are incorporated into a structure called “Requirements Baseline”, which uses the extended language lexicon (LEL) and scenarios. Also, the process allows to define metrics for the evaluation of attributes and sub-attributes, based on the norm ISO / IEC 25000. The sub-attributes allow metrics to be defined that make it possible to evaluate usability criteria related to product quality. Likewise, new specifications or corrections related to the application of usability criteria can be incorporated into the design to specify the traceability of the process.

**Keywords:** usability; patterns; MDA; conceptual modeling; scenarios.

## 1. Introducción

La norma ISO/IEC 9126-1 (2001), define a la usabilidad como “la capacidad en que un producto de software puede ser entendido, aprendido y usado por determinados usuarios bajo ciertas condiciones en un contexto de uso específico”. Para estudiar la usabilidad, los criterios abstractos que la definen se descomponen en subatributos medibles (Piattini et al., 2007). La norma ISO/IEC 25000 (SQUARE) (2005), contempla a la usabilidad desde el punto de vista del software y desde la perspectiva del usuario.

La Ingeniería de Sistemas debe construir software de calidad cuyos resultados deben ser útiles a sus usuarios. El problema se suscita porque la calidad de las aplicaciones se mide generalmente basándose en el sentido común del desarrollador (Abraham et al., 2004), quien hace énfasis en aspectos de arquitectura, funcionalidad y persistencia de cada proceso, y no trata adecuadamente la facilidad de uso. La usabilidad es considerada en etapas finales de la construcción del software, donde una modificación afecta la arquitectura y el costo es alto (Bass et al., 2003), (Folmer et al., 2004). Una solución posible sería incluir el análisis de la usabilidad en etapas tempranas de construcción del modelo conceptual. Esto obliga a plantearse la pregunta: ¿sí es factible incorporar aspectos de Usabilidad durante proceso de desarrollo del software.

Se plantea entonces como objetivo desarrollar una propuesta metodológica que permite al analista incorporar especificaciones de Usabilidad en etapas tempranas de desarrollo del software y antes de que la construcción del mismo se encuentre finalizada. El proceso será acompañado por métricas, que permitirán comprobar la presencia de aspectos de Usabilidad en el proceso. Existen algunos antecedentes de trabajos desarrollados bajo entorno MDA (Juristo et al, 2003), (Panach Navarrete, 2010), pero la diferencia radica en que, desde el punto de vista de la Ingeniería de Software, la metodología descrita emplea: BPMN como modelo de procesos de negocios, del cual se consideran las tareas automatizables; escenarios que permiten modelar con el lenguaje natural del universo de discurso del cliente, brindando una mejor descripción de los requerimientos del sistema y validarlos con el cliente; el empleo de patrones que implementan buenas prácticas; y finalmente la utilización de modelos abstractos para verificar requerimientos del modelo. Esto permite la retroalimentación y trazabilidad al proceso, para la corrección de errores u omisiones de los procedimientos del sistema. Además, se complementa a cualquier metodología de desarrollo web actual, con información más detallada. En la etapa actual se trabaja en un experimento, cuyo resultado originarán otro informe. A continuación, en los siguientes apartados se describe la metodología.

## 2. Metodología y herramientas

Para poder aplicar el esquema conceptual propuesto, planteado en este caso como una estrategia en etapas, es necesario tener conocimiento sobre conceptos relacionados con: Modelado de Procesos de Negocios (BPM), Desarrollo de Software Dirigido por Modelos, Escenarios, Patrones y Modelos Abstractos. Esto le permitirá al lector comprender mejor como se diseña y especifica cada etapa, los elementos y artefactos relacionados al modelo conceptual del sistema y como incorporar aspectos relacionados con calidad (Usabilidad) al modelo. Como parte de la estrategia de solución al problema planteado se propone una metodología que lleva a cabo el análisis de la usabilidad en



etapas tempranas de construcción del modelo conceptual, empleando el paradigma de Desarrollo de Software Dirigido por Modelos (MDA) (Mellor et al., 2002), (Miller et al., 2003), y modelos abstractos para su verificación. Ver Figura 1.

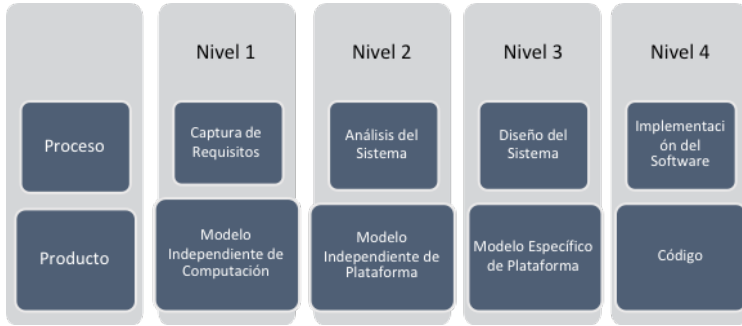


Figura 1 – Esquema de proceso de Model-Driven Architecture (MDA).

Una vez especificado lo anterior, en el siguiente apartado se desarrolla la estrategia propuesta junto con un ejemplo práctico, con el objetivo de mostrar y aclarar al lector su aplicación.

### 2.1. Estrategia propuesta

La estrategia que aquí se presenta, se conforma de tres etapas con diversas actividades que se llevan a cabo en cada una de las mismas (ver Tabla 1). Posteriormente se desarrollará un ejemplo práctico.

Proceso	Actividades
a) Etapa 1	Diseñar el modelo de negocio con “Business Process Model and Notation” (BPMN) o en español “Modelo y Notación de Procesos de Negocio” [19]. Indicar qué actividades están vinculadas con la gestión de información. Incorporar estereotipos (Reglas de Negocio) a aquellas actividades automatizadas con Requerimientos No Funcionales (R.N.F.) de Usabilidad.
b) Etapa 2	Construir los Casos de Uso o Escenarios a partir de las actividades y el diccionario de datos, empleando Léxico Extendido del Lenguaje.
c) Etapa 3	Trasformar los Procesos de Negocios y Casos de Uso o Escenarios en máquinas abstractas. Verificar la consistencia de los requerimientos y de las definiciones de atributos de Usabilidad a través de Redes de Petri Coloreadas y Autómatas Finitos resultantes del proceso anterior.

Tabla 1 – Especificación de la propuesta metodológica.

- a. La primera etapa comienza con el modelado de negocio en BPMN (OMG) [19], en donde las actividades resultantes serán mapeadas dentro de una estructura denominada Requirements Baseline (Leite et al., 1995) (do Prado Leite et al., 1997), propuesta por Leite, que permite representar el lenguaje de la aplicación mediante un conjunto de símbolos y su comportamiento, en un momento específico, a través de escenarios.

Para realizar el modelado se deberá cumplir lo siguiente:

- Cada especificación de usabilidad deberá definirse como una actividad con estereotipo “Regla de Negocio”, y asociarse a la actividad del modelo de negocio que deba satisfacer la especificación.
- Las especificaciones deberán definirse en términos de palabras reservadas que ya se encuentren contenidas en el vocabulario del LEL, cada palabra reservada corresponderá a un atributo de usabilidad de bajo nivel que contendrá su definición y métrica asociada.
- Dado el caso que la especificación no se encuentre definida como atributo de bajo nivel dentro del LEL, deberá definirla el especialista como se irá describiendo en la segunda y tercera etapa.
- Todas las actividades serán mapeadas a la Requirements Baseline como escenarios salvo las definidas con el estereotipo “Manual”.
- Las actividades de “Regla de Negocio” asociadas a una actividad con el estereotipo “Manual” no serán mapeadas.

Para el modelado de negocio se utilizará la herramienta Bizagi. El modelo resultante se exportará en formato XPDL para ser utilizada en la siguiente etapa.

- En la segunda etapa se utilizará la herramienta Baseline Mentor Workbench (BMW) (Antonelli, 2003), que contiene todas las funcionalidades necesarias para introducir en la Requirements Baseline las definiciones contenidas en el archivo XPDL obtenido en la etapa anterior.

Como se podrá observar más adelante en un ejemplo de aplicación de la metodología, las especificaciones de usabilidad serán agregadas como restricciones en los escenarios y deberán definirse reglas en la herramienta BMW que permitan asociarlas a un atributo en función de si se encuentra definido o no dentro del vocabulario del LEL.

- Finalmente, en la tercera etapa del proceso es donde se deben definir dentro del LEL los atributos de usabilidad y las métricas con la que se evaluarán para luego ser utilizados como palabra reservada en el proceso de modelado de la primera etapa. Cada atributo que se defina deberá asociarse a una sub-característica, y ésta a su vez, con una característica de alto nivel, estableciendo relaciones jerárquicas entre sí formando un árbol de requerimientos de calidad. La descomposición de características en sub-características estará precargada en el LEL y se basará en la estructura conceptual propuesta en la norma ISO/IEC 25000 (SQUARE) (2005). También se ofrecerá un conjunto de atributos precargados con métricas definidas, ofreciendo la posibilidad al especialista de modificarlos, o bien, de generar nuevos atributos con sus métricas y asociaciones. Las métricas definidas



Figura 2 – Etapas del proceso de la metodología.



en los atributos serán utilizadas posteriormente para evaluar la calidad del producto. Las etapas del proceso pueden observarse en la Figura 2.

### 3. Descripción del proceso metodológico con un ejemplo

En esta sección se hará una breve descripción de la aplicación metodológica a través de un ejemplo, a los fines de ayudar a comprender el proceso aplicado.

#### 3.1. Diseñar el modelado de negocios con BPMN

En BPMN, los Procesos de Negocio se construyen como una secuencia ordenada de actividades y de información que emplea el proceso, para representar cómo una organización realiza sus objetivos centrales del negocio. BPMN es gráficamente más rico, con menos símbolos, fundamentales lo que facilita su comprensión por parte de personas no expertas. A continuación, se plantea un ejemplo de un proceso de producción (ver Figura 3). Teniendo en cuenta las reglas de modelado descritas para la primera etapa se mapearán todas las actividades exceptuando aquellas que tengan el estereotipo “Manual”.

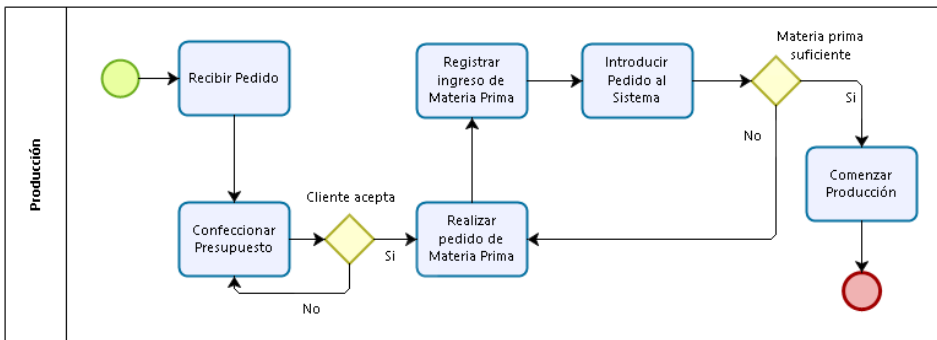


Figura 3 – Ejemplo de un Modelo de Proceso de Negocio de Producción modelado en BPMN.

#### 3.2. Indicar qué actividades tienen manejo de información

En la Figura 4, se muestra cómo se procede para seleccionar las actividades de negocio que son automatizadas y formarán parte del Sistema de Información. Las especificaciones de usabilidad deberán agregarse como actividades utilizando el estereotipo “Regla de Negocio” y la descripción a utilizar deberá corresponder a un atributo cargados previamente en el LEL. Para el caso donde la especificación no se encuentre cargada como atributo en el LEL, la descripción de la actividad es utilizada para generar una nueva entrada que posteriormente deberá definirse. Una vez definida estará disponible para ser usada como palabra reservada. Aquí, el analista deberá identificar en los diagramas de procesos aquellas actividades que utilicen / generen información, diferenciándolas de aquellas que son puramente manuales. Las especificaciones de usabilidad deberán

agregarse como actividades utilizando el estereotipo “Regla de Negocio”. En la Figura 4, también se muestra un ejemplo de la actividad “Registrar ingreso de materia prima”, a la que se le asociaron los atributos “Completado de las tareas” y “Exactitud de las tareas” correspondientes a la subcaracterística “Rendimiento de las tareas del usuario”. El proceso completo puede observarse a continuación.

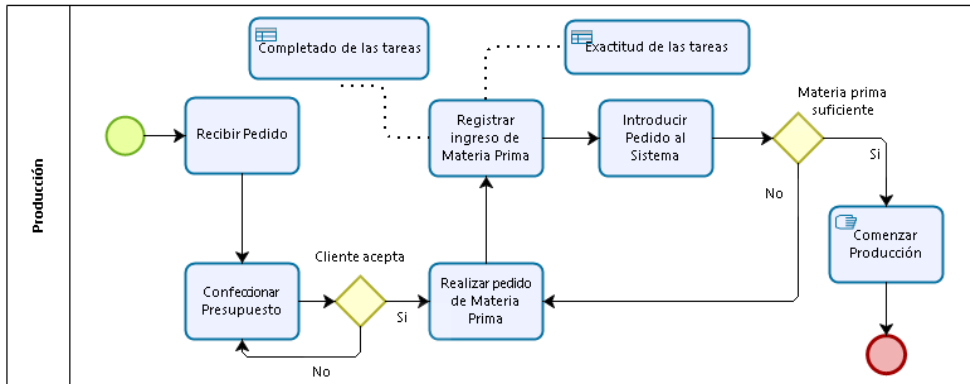


Figura 4 – Modelado de atributos de usabilidad en BPMN para actividades de un proceso de producción.

Una vez finalizado el modelado se exporta el modelo en formato XPD, para luego ser importado dentro de la herramienta BMW.

### 3.3. Construir los escenarios a partir de las actividades de negocio

En este paso, utilizando como guía las actividades marcadas como automatizadas (no manuales) en el punto anterior, es preciso identificar los Casos de Uso del sistema que darían soporte “informático” a las actividades.

Habiendo finalizado el modelado del sistema de negocio y cumplimentado con todos los aspectos a considerar especificados en las dos etapas anteriores, se procede a aplicar transformaciones mediante un proceso automatizado, donde las actividades identificadas como de soporte del sistema de información se convierten en escenarios.

Una vez finalizado el modelado del sistema de negocios se debe exportar el modelo en formato XPD desde Bizagi para luego ser importado dentro de la herramienta BMW. La herramienta verificara todas las actividades generando un escenario para cada una de ellas exceptuando las del tipo “Manual”. Para las del tipo “Regla de negocio” buscará una asociación dentro del vocabulario de LEL que corresponda a un atributo de usabilidad ya definido, una vez encontrada la asociación se agregará como restricción al escenario. En caso de no encontrar ninguna asociación con atributos contenidos en del LEL se creará automáticamente una entrada que deberá definir el diseñador del sistema. Las entradas de LEL son denominadas símbolos y se definen por medio de nociones e impactos que indican la repercusión que tendrá el símbolo en el sistema. Los diferentes tipos de símbolos, según la función que cumplan con sus nociones e impactos, se observan en la Tabla 2.

<b>Sujeto</b>	Nociones: describen quien es el sujeto.
	Impactos: registran acciones ejecutadas por el sujeto.
<b>Objeto</b>	Nociones: definen al objeto e identifica a otros términos con los cuales el objeto tiene algún tipo de relación.
	Impactos: describen las acciones que pueden ser aplicadas al objeto.
<b>Verbo</b>	Nociones: describen quien ejecuta la acción, cuando ocurre, y cuáles son los procedimientos involucrados.
	Impactos: describen las restricciones sobre la acción, cuáles son las acciones desencadenadas en el ambiente y las nuevas situaciones que aparecen como resultado de la acción.
<b>Estado</b>	Nociones: describen que significa y que acciones pueden desencadenarse como consecuencia de ese estado.
	Impactos: describen otras situaciones y acciones relacionadas.

Tabla 2 – Tipos de símbolos de LEL.

Asimismo, los símbolos del LEL deberán satisfacer las siguientes reglas en forma simultánea (Leite et al., 1993) (Leite et al., 1996):

- Principio de circularidad: acotando el lenguaje en función del dominio mediante la maximización de símbolos del lenguaje del LEL, que se logra utilizando en las definiciones de noción e impacto símbolos ya descritos dentro del LEL.
- Principio del vocabulario mínimo: en donde la tarea es minimizar el uso de símbolos externos al dominio de la aplicación.

En la Figura 5, continuando con el ejemplo, puede observarse el escenario creado para la actividad “Registrar ingreso de materia prima”, y las asociaciones de los atributos de usabilidad “Completado de las tareas” y “Exactitud de las tareas” agregadas como restricciones. Las descripciones restantes de los escenarios deberán ser completadas en forma manual por el analista.

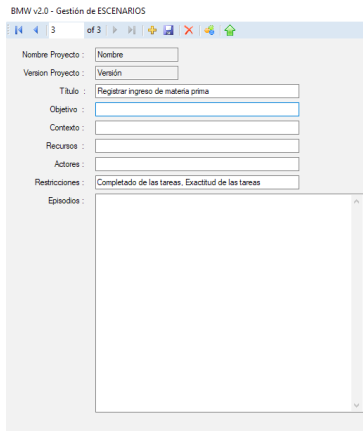


Figura 5 – Plantilla de LEL para la definición de escenarios.

Los atributos de usabilidad y sus métricas serán ingresados dentro del LEL en la clasificación de “Objeto” de la siguiente forma:

- Nombre: identificación del símbolo. Más de uno indica la presencia de sinónimos. Sintaxis: Palabra | Frase
- Noción: descripción del símbolo. Debe ser expresada usando referencias a otros símbolos y usando el vocabulario mínimo. Sintaxis: Texto compuesto por Símbolos y No símbolos del LEL pertenecientes al vocabulario mínimo
- Impacto: connotación del símbolo. Debe ser expresado utilizando referencias a otros símbolos y usando el vocabulario mínimo. Sintaxis: Texto compuesto por Símbolos y No símbolos del LEL pertenecientes al vocabulario mínimo.

Para la carga de las entradas de LEL se utilizará la plantilla provista por la herramienta BMW de la Figura 6.

Teniendo en cuenta lo anterior, para definir el atributo “Completado de las tareas” se agregarán como “*Nociones*” la descripción y las asociaciones que tenga el atributo con otros atributos, características, sub- características, o cualquier otro elemento contenido en el LEL, mientras que las métricas y la forma en que se medirán se indicarán como “*Impactos*”. Las asociaciones entre elementos deben indicarse con texto subrayado debido a que la herramienta BMW utiliza el subrayado para establecer las asociaciones en forma automática. El resultado es el siguiente:

*Nombre:* Completado de las tareas

*Noción:*

- Es un atributo correspondiente a la subcaracterística Rendimiento de las tareas del usuario.
- Se utiliza para medir la cantidad de tareas que realizan los usuarios.

*Impacto:*

Número de tareas completadas. Valor entero entre 0 y 7

En la figura 6, puede observarse la entrada de LEL utilizando la plantilla de BMW.

El principio de vocabulario mínimo y el de circularidad permiten que todos los atributos de usabilidad y sus métricas se encuentren relacionados con subcaracterísticas, y éstas a su vez, con otras subcaracterísticas o características de orden superior armando una estructura jerárquica en forma de árbol, como se observa en la Figura 7.

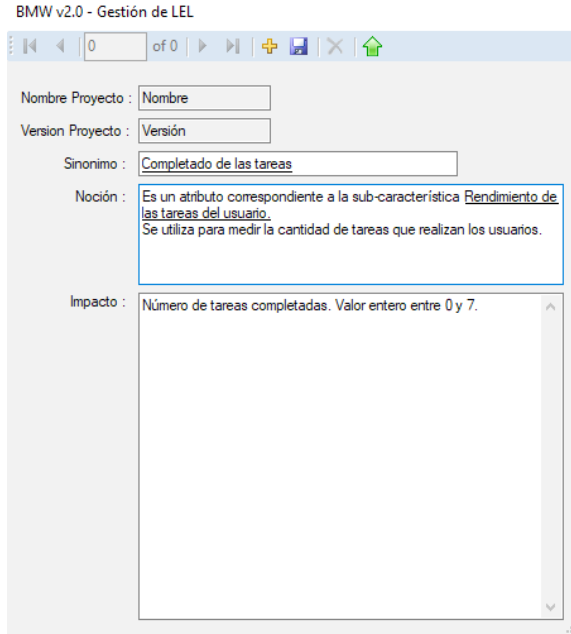


Figura 6 – Plantilla de LEL para la definición de símbolos.

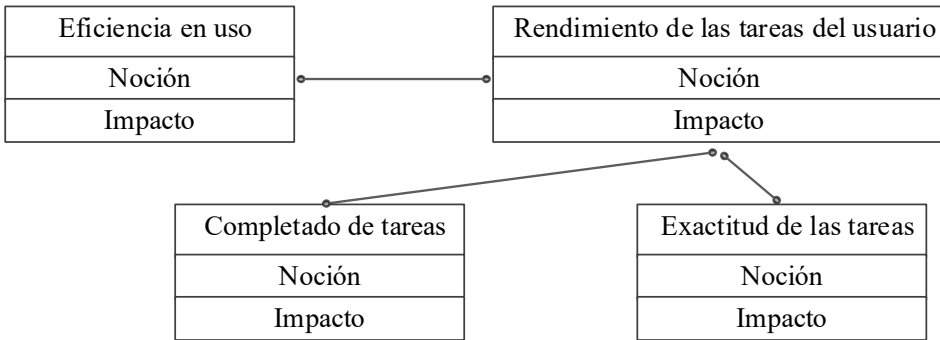


Figura 7 – Árbol jerárquico de atributos de usabilidad definidos en LEL.

El árbol de requerimientos de calidad y su descomposición en características, subcaracterísticas y atributos estará basado en la estructura prescrita en el estándar ISO/IEC 25000 (Square) (ver Ejemplo de algunas características en Figura 8).

A partir de este estándar se construirá un árbol mínimo de requerimientos de calidad que estará disponible para el especialista en forma precargada.

Esto permite mantener las especificaciones de usabilidad en forma organizada y acorde a estándares vigentes.

La metodología será también flexible y escalable brindando al especialista la posibilidad de modificar las especificaciones existentes y generar sus propias especificaciones.

Finalmente, las métricas definidas en las especificaciones de usabilidad serán utilizadas para evaluar la calidad del producto de software (Fernández, 2011).

Sub-característica	Atributo	Métrica	
1. Efectividad en uso	1.1. Facilidad de ayuda	1.1.1 Efectividad de la ayuda online	Legibilidad del tutorial
			Efectividad del sistema de ayuda
			Facilidad de uso del sistema de ayuda
		1.1.2 Completitud de la ayuda online	Proporción de funcionalidades no cubiertas en las consultas del usuario
		1.1.3 Frecuencia de consulta de ayuda	Número de veces que el usuario accede a la ayuda por tarea
	1.2 Rendimiento de las tareas del usuario	1.2.1 Completado de las tareas	Número de tareas completadas
1.2.2 Exactitud de las tareas		Número de tareas completadas de forma adecuada	
2. Eficiencia en uso	2.1 Eficiencia de las tareas del usuario	2.1.1 Tiempo para completar las tareas	Tiempo medio necesario para cumplir una tarea
		2.1.2 Carga de la tarea	Índice User Task Load (UTLindex)
	2.2 Esfuerzo cognitivo	2.2.1 Esfuerzo mental subjetivo	Tasa Subjective Mental Effort (SME ratio)
		2.2.2 Facilidad de recordar (memorabilidad)	Facilidad de la función de aprendizaje
			Facilidad de realizar tareas de aprendizaje
	2.3 Limitaciones del contexto	2.3.1 Carga del sistema	Memoria consumida durante el uso de la aplicación Web
		2.3.2 Adaptación a las habilidades del usuario	Número de perfiles de usuario contemplados
		Número de incidencias en la tarea	
3. Satisfacción en Uso	3.1 Satisfacción cognitiva	3.1.1 Utilidad percibida	Número de funcionalidades que el usuario encuentra útiles
		3.1.2 Calidad de los resultados	Número de funcionalidades que el usuario esperaba encontrar
	3.2 Satisfacción emocional	3.2.1 Atracción subjetiva percibida	Número de comentarios positivos del usuario
		3.2.2 Frustración percibida	Número de interrupciones en una tarea
		3.2.3 Riesgos del contenido	Número de comentarios negativos acerca del contenido
	3.3 Satisfacción física		Número de comentarios positivos del usuario
	3.4 Confiianza	3.4.1 Aparición de errores	Número de errores entre operaciones.
		3.4.2 Credibilidad del sitio	Calidad de las impresiones del usuario
		3.4.3 Riesgos económicos	Número de incidentes involucrando pérdidas económicas
	4. Usabilidad en uso Adherida a normas o convenciones	4.1 Grado de conformidad a la ISO/IEC 25000 SQuaRE	Ratio de conformidad cubierto
4.2 Grado de conformidad a criterios ergonómicos		Ratio de conformidad cubierto	
4.3 Grado de conformidad con cuestionarios SUMI, SUS y QUIS		Ratio de conformidad cubierto	

Figura 8 – Ejemplo de subcaracterísticas, atributos y métricas de usabilidad sobre Calidad de Uso de la Norma ISO/IEC 25000 (Fernández, 2011).

### 3.4. Transformar procesos de negocios y escenarios en autómatas finitos

Las máquinas abstractas se emplean en el modelado de sistemas en diversas áreas. En este caso, se emplea un tipo máquina abstracta que son los Autómatas Finitos. Una vez que se cuenta con una especificación detallada de los Procesos de Negocios y los escenarios que satisfacen las necesidades del negocio, se realiza nuevamente una transformación de los mismos a máquinas abstractas. Cada una de las actividades de Negocio identificadas tendrá un mapeo directo con cada estado identificado del Autómata finito. Lo mismo

ocurrirá con los estados de Inicio y de finalización, ya sea por el éxito del procedimiento o por el fracaso del mismo. Los arcos del autómata finito surgirán a través de los flujos de trabajo que vinculan las Actividades del proceso de Negocio.

### ***3.4.1. Verificar la consistencia de las definiciones a través de los autómatas finitos resultantes***

Al disponer de la representación de cada proceso de negocio y de los escenarios, se obtiene un Autómata Finito, a partir de una transformación directa de la representación del modelo que debe ser validado, se verifican los modelos los cuales deberán satisfacer ciertos requisitos y condiciones, que se detallan a continuación: a) Conjunto Conexo y accesibilidad de estados: si un estado definido en el AF no es accesible desde el estado inicial, significa que el modelo que está siendo representado por el autómata no está correctamente planteado; b) Autómata Finito Determinista: La definición de los modelos de procesos puede resultar en procesos paralelos o simultáneos, se traducen en no determinismo. Se puede convertir el AF No Determinista en uno Determinista equivalente, de manera de brindar al analista la posibilidad de analizar si se reformula el modelo o se mantiene tal como está definido; c) Minimización del Autómata Finito: un AF no minimizado puede significar la presencia de estados equivalentes, los cuales mediante los autómatas pueden ser identificados y reemplazados. Esto contribuye a simplificar el Modelo que representa al Proceso de Negocio; d) Simulación de Ejecución de Autómatas Finitos: En cada modelo de proceso de Negocio y su representación mediante un Autómata Finito, se pueden simular diversas entradas, verificando si se producen los resultados esperados por el modelo. Todo esto permite determinar si en los modelos hay procesos con actividades que no se realizan o procesos con actividades irrelevantes o innecesarias.

## **4. Resultados**

Partiendo del modelado de negocio de un dominio de ejemplo fue posible utilizar el Léxico Extendido del Lenguaje para definir características, subcaracterísticas, y métricas de usabilidad entre distintos modelos, estableciendo relaciones entre los mismos, garantizando cierto grado de trazabilidad. Además, se crea un mecanismo flexible que permita al especialista modificar especificaciones de usabilidad precargadas en el LEL y crear nuevas conforme avanza el ciclo de desarrollo. En función de los resultados obtenidos, se puede crear un procedimiento sistematizado como una metodología, que permita detectar, definir, mantener e incorporar en forma flexible y escalable: características, subcaracterísticas, atributos y métricas de usabilidad asociadas, basados en los estándares vigentes de calidad.

## **5. Conclusiones**

La metodología planteada en este trabajo permite al diseñador definir especificaciones de usabilidad en etapas tempranas del desarrollo de software en forma organizada, flexible, escalable y acorde a estándares de calidad vigentes. Esto queda demostrado a través del desarrollo metodológico propuesto como proceso donde se emplean metodologías de Modelado de Negocios y de Escenarios, vinculadas a través del uso de conceptos y

prácticas del paradigma del Desarrollo de Software Dirigido por Modelos. A través de esta propuesta metodológica y sus herramientas de soporte, que se sintetizan como un conjunto de transformaciones aplicadas sobre el modelo conceptual primario, es posible generar nuevos modelos que sirvan para representar las máquinas abstractas necesarias para la verificación y validación de los requerimientos funcionales iniciales como así también de sus interfaces, garantizando de esta forma que los modelos reflejen fielmente la realidad, sin ambigüedades, manteniendo la coherencia y asegurando la trazabilidad a lo largo de todo el proceso de gestión de requerimientos.

Estas validaciones y simulaciones a las Máquinas Abstractas generadas a través de un proceso automatizado de transformaciones, ya sean sobre: Procesos de Negocios, o Escenarios, nos permiten confirmar las características deseables sobre las especificaciones de los requisitos funcionales del sistema a construir. De este modo, el proceso de verificación y validación propuestos resultan útiles durante la etapa de diseño del modelo conceptual y de sus interfaces, para posteriormente poder construir el sistema de software que será soporte del sistema de información.

## Referencias

- Abrahão, S., Condori-Fernández, N., Olsina, L., & Pastor, O. (2004, September). Defining and validating metrics for navigational models. In *Proceedings. 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry (IEEE Cat. No. 03EX717)* (pp. 200-210). IEEE.
- Antonelli, R. L. (2003). Traceability en la elicitación y especificación de requerimientos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Bass, L., & John, B. E. (2003). Linking usability to software architecture patterns through general scenarios. *Journal of Systems and Software*, 66(3), 187-197.
- Do Prado Leite, J. C. S., Rossi, G., Balaguer, F., Maiorana, V., Kaplan, G., Hadad, G., & Oliveros, A. (1997). Enhancing a requirements baseline with scenarios. *Requirements Engineering*, 2(4), 184-198.
- Fernández Martínez, A. (2011). WUEP: Un Proceso de Evaluación de Usabilidad Web Integrado en el Desarrollo de Software Dirigido por Modelos.
- Folmer, E., & Bosch, J. (2004). Architecting for usability: a survey. *Journal of systems and software*, 70(1-2), 61-78.
- ISO/IEC 25000:2005. Software Engineering -- Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuARE) -- Guide to SQuARE.
- Juristo, N., Lopez, M., Moreno, A. M., & Sánchez, M. I. (2003, May). Improving software usability through architectural patterns. In *International Conference on Software Engineering (ICSE)* (pp. 12-19).
- Leite, J. C., & Oliveira, A. P. (1995, March). A client oriented requirements baseline. In *Proceedings of 1995 IEEE International Symposium on Requirements Engineering (RE'95)* (pp. 108-115). IEEE.



- Leite, J. C. S. P. (1993). Eliciting requirements using a natural language based approach: the case of the meeting scheduler problem. *Monografias em Ciência da Computação*, (13).
- Leite, J. C. S. P., Oliveros, A., Rossi, G., Balaguer, F., Hadad, G., Kaplan, G., & Maiorana, V. (1996). Léxico extendido del lenguaje y escenarios del sistema nacional para la obtención de pasaportes. Documento de trabajo.
- Mellor, S. J., Scott, K., Uhl, A., & Weise, D. (2002, September). Model-driven architecture. In *International Conference on Object-Oriented Information Systems* (pp. 290-297). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Miller, J., Mukerji, J. "MDA Guide Version 1.0" (2003), [http://www.omg.org/mda/mda\\_files/MDA\\_Guide\\_Version1-0.pdf](http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA_Guide_Version1-0.pdf), Consultado en junio de 2019.
- Norma ISO/IEC ISO9126-1,"Software Engineering -Product Quality - Part 1," 2001.
- Object Management Group. Business Process Modeling Notation (BPMN).
- Panach Navarrete, J. I. (2010). Incorporación de mecanismos de usabilidad en un entorno de producción de software dirigido por modelos (Doctoral dissertation).
- Piattini Velthuis, M. G., Garcia Rubio, F., & Caballero Muñoz-Reja, I. (2007). Calidad de sistemas informáticos (No. 004.05). Alfaomega Ra-Ma.

# Feasibility Analysis Proposal for an IoT Infrastructure for the Efficient Processing of Data in Agriculture, Case Study on Cocoa

Miguel Angel Quiroz Martinez<sup>1</sup>, Hugo Fransisco Vera Espinoza<sup>1</sup>,  
Maikel Yelandi Leyva Vazquez<sup>1</sup>, Monica Daniela Gomez Rios<sup>1</sup>

[mquiroz@ups.edu.ec](mailto:mquiroz@ups.edu.ec), [hverac@est.ups.edu.ec](mailto:hverac@est.ups.edu.ec), [mleyva@ups.edu.ec](mailto:mleyva@ups.edu.ec),  
[mgomezr@ups.edu.ec](mailto:mgomezr@ups.edu.ec)

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Chambers 227 y 5 de Junio, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 413–426

**Abstract:** IoT information in agriculture and its benefits were analyzed to determine a proposal in the management of information generated in the sowing and harvesting of cocoa. The problem is the lack of knowledge of farmers and support entities about the concepts and application of IoT in agriculture. The objective of this paper is to propose a feasibility analysis of an IoT infrastructure for efficient data processing in agriculture in the case of cocoa. The exploration and deductive method were applied for the analysis of the information of the referenced articles. It resulted in a Conceptual Model of IoT in agriculture, a four-layer Architecture, an Execution Algorithm and a Proposal for infrastructure feasibility. It was concluded that the proposal based on IoT is an efficient option for collecting, transporting, processing and delivering information in the process of sowing and harvesting cocoa; feasibility shows that the proposal is viable, simulation tests measured the architecture efficiency with a minimum value of 95.70%. A collective feasibility evaluation based on the LWPM operator shows very high feasibility according to the experts.

**Keywords:** Agriculture data; Efficient data processing; Internet of Things; Smart agriculture; LWPM.

## 1. Introduction

Information and Communication Technologies are transversal to all areas and agriculture is no exception; here the Internet and IoT have a higher incidence due to the remote areas they must cover; IoT is in high change in different areas and in peripheral prices, which allows people to design and implement products and services for home, work and industry (Alzahrani, 2017).

IoT in agriculture tries to deliver to the farmer the decision tools and systematization technologies that link goods and services for better performance, characteristics and economic income; the investigations contain challenges and limitations of prototypes in the process of supply of the agri-food section; other challenges are the generation

of new business, security and governance pilots; others propose new sensors and IoT applications in the agricultural products chain; IoT has application in connected areas such as industry and automobile, buildings and campuses; in smart areas such as cities, home, energy, agriculture, healthcare, logistics and domains (Elijah, Rahman, Orikumhi, Leow, & Hindia, 2018).

In agriculture, there is an introduction of more concepts: electronic agriculture, robotics, IoT and intelligent agriculture (Roy et al., 2017). The government of India promoted market reforms in agriculture to improve the rural economic condition, agricultural interconnection in biotechnology, nanotechnology, and ICT is expected to have smart agriculture (Roy et al., 2017). In the United States, Canada and other countries developed and improved precision agriculture; due to the low cost in energy consumption and high reliability of wireless sensor networks, they are increasingly used in agriculture; middleware systems and information management systems are also used (Jiang & Sun, 2016).

The problem is the lack of knowledge of farmers and support entities about the concepts and application of IoT in agriculture; In addition to how to generate detailed data of the cultivated area, how to process that data to obtain information that helps manage agricultural assets.

IoT gives great benefits in the management of one or several farms, tracking and location, agricultural machinery, agriculture accuracy and obtaining products in the greenhouse; in addition to having a considerable volume of data collected with Data Analysis to perform or obtain: estimation of environmental conditions, management of products and services, information management for better decision making, monitoring the farm through sensors, optimizing use of fertilizers, caution against climatic changes.

The objective of this paper is to propose a feasibility analysis of an IoT infrastructure for efficient data processing in agriculture in the case of cocoa.

Conceptual Model of IoT in agriculture, an Architecture of four layers, an Algorithm of execution and a Proposal of infrastructure feasibility analysis based on computer with words paradigm are obtained and discusses.

## **2. Bibliographic review**

Some concepts and characteristics of IoT are presented:

It is an ecosystem that has four components: devices, communication technology, Internet and data storage/processing (Elijah et al., 2018).

It is Internet connected with things, with the objective of information exchange, remote and intelligent application system; it is in 3 layers: collection layer, network layer, and application layer; it is the main piece in intelligent agricultural systems to extract parameters of crops and control of agricultural equipment, in order to optimize and certify the quality of crops (Huang & Guo, 2017). Intelligent devices that allow to control the use of pesticides through precise detection of the crop and facilitates the management of pests; it also provides real-time monitoring, modeling, disease prognosis (Ayaz, Ammad-Uddin, Sharif, Mansour, & Aggoune, 2019).

IoT uses information detection equipment to collect information for intelligent identification, positioning, monitoring, monitoring, and network management. To achieve the exchange of information and communication (Zhao & Cao, 2017). IoT uses devices of any type and is connected to each other through the Internet, facilitates remote control of IoT devices and also the devices are controlled with the data collected (Alzahrani, 2017).

### 3. Materials and methods

#### 3.1. Materials

The authors designed a sensor for data collection and processing and connection to IoT; the device uses global positioning, the data is sent to a web server and stored in a database (Alzahrani, 2017). The authors proposed a four-layer architecture in an agriculture ecosystem; they concluded that IoT increases the operational efficiency and production of plants and animals (Elijah et al., 2018). A hybrid solution based on IoT, Big Data Analytics, Cloud Computing and mobile applications for smart agriculture was obtained (Roy et al., 2017). The authors used IoT to provide a farmland information service with radiofrequency identification (Jiang & Sun, 2016). The authors analyzed models of technologies applied to agriculture through hypotheses, where they measured technology, costs, adoption of IoT, compatibility, and benefits (Lin, Lee, & Lin, 2016). The authors proposed an IoT architecture in the cloud on 3 layers; the cloud server is managed via the web with Ubuntu, Apache, MySQL on AWS (Khattab, Abdelgawad, & Yelmarthi, 2016). System tracks retroactively, collects data from the IoT, encrypts the data with an RSA and SHA-3 algorithm to certify the security and non-rejection of the data (Zhao & Cao, 2017). The system collects information in real-time, controls the hardware via wireless and early alarm devices (Huang & Guo, 2017). The authors applied data mining to report possible diseases; the authors concluded that the prototype guarantees a good and healthy crop yield (Abhijith, Jain, & Adithya Athreya Rao, 2017). The authors implemented an agricultural IoT architecture consisting of four parts (Mukherjee, Misra, Raghuwanshi, & Mitra, 2019). The authors proposed an architecture to connect rural farms using low-cost IoT, where several networks are combined for scalability and wide coverage (Ahmed, De, & Hussain, 2018). The authors proposed an IoT platform to generate precision agriculture, with this the farmer manages irrigation systems and pest control remotely; in the tests, the errors are within 0.5%; 85,275 ms for data transmission in ADSL scenario and 171,916 ms in 4G scenario (Chen et al., 2019). The authors described intelligent agriculture with components such as applications, services, and sensors in detail (Ayaz et al., 2019). A scheme to apply big data to data delivered by IoT on farms; they used the XMPP web platform, Python and MySQL server and 4G networks were developed (Tseng, Cho, & Wu, 2019). The authors proposed a blockchain system to manage the information generated by IoT sensors in a farm (Wu & Tsai, 2019). The trends of technology applied to agriculture and the components of IoT applied to this area were additionally described (Farooq, Riaz, Abid, Abid, & Naeem, 2019). The authors proposed an architecture to assess the concentration of pH linked to a photograph and deliver information of a local or remote nature (Archbold Taylor et al.,

2019). The authors presented software in a client-server architecture, which monitors the parameters in cocoa fermentation; they used JAVA for the client interface (Ipanaqu, Belup, Castillo, & Salazar, 2017). The authors applied computer visualization techniques in cocoa fermentation; in the tests of the algorithm a test of 83% of success, another test was 75% (Parra, Negrete, Llaguno, & Vega, 2018). The authors used IoT to manage the process of fermentation and drying of cocoa beans (Abijaude, Santiago, & Wahab, 2019).

### 3.2. Methods

**Data to evaluate:** Soil indicators: Ph, nitrogen, calcium, and phosphorus (Abhijith et al., 2017), (Ahmed et al., 2018) and (Archbold Taylor et al., 2019).

**Environmental indicators:** Temperature, atmospheric pressure, humidity, soil moisture, leaf moisture, wind direction, wind speed, rainfall or rain, solar radiation (Alzahrani, 2017), (Elijah et al., 2018), (Jiang & Sun, 2016), (Abhijith et al., 2017), (Mukherjee et al., 2019) and (Chen et al., 2019). Other indicators that are evaluated: Crop health, soil, environment, diseases, water (Ayaz et al., 2019).

**Devices to consider:** Temperature sensors, humidity sensors, soil sensors, water sensors, light sensors, sound sensors, gas sensors, ultraviolet sensors, insect hunter sensors, drones, leaf sensors, fruit size sensors (Alzahrani, 2017), (Elijah et al., 2018), (Khattab et al., 2016), (Huang & Guo, 2017), (Tseng et al., 2019), (Wu & Tsai, 2019), and (Farooq et al., 2019).

#### Scope for the Proposal:

- Directed to manage the information of a cocoa farm and the cocoa fermentation process; Capture environmental and soil data.
- Propose a data management model.
- A 4 layer architecture
- To Adopt from (Elijah et al., 2018) limited availability of arable land, increase in unpredictable weather conditions makes food security a major concern for most countries. As a result, the use of Internet of Things (IoT) (Farooq et al., 2019) the architecture.
- A collection and processing algorithm.
- Visualization of information for decision making is contemplated.
- Remote activation of controllers such as irrigation systems or lamp lighting is not contemplated.
- The speed of processing and downloading information depends on the cloud storage provider.

#### Features and considerations:

- 2.4 GHz devices due to their low power consumption.
- Protocol: Standard TCP / IP and data rate is 150 Mbps.
- Each sensor sends 14 bytes of data per second, this volume of data is optimized in sending of each time.
- Long-term monitoring with large-scale sensor networks is feasible.
- Measurement of the soil and environment of the farm, every 15 minutes.
- Measurement inboxes where cocoa is fermented every 15 minutes.

## 4. Results

The following results were obtained:

- Conceptual Model of IoT in agriculture.
- Four-layer architecture.
- Execution algorithm.
- Proposal of infrastructure feasibility.

### 4.1. Conceptual model of IoT in agriculture

A model that brings together the entities participating in the agricultural area was defined; where it use IoT to capture and send environmental and soil data to off-farm storage, sensors, communication, data stores, data processing, and analysis, indicator generation is used. Another actor is the Farmer who performs activities of planting, harvesting, maintenance, evaluation, and control of the farm; After the harvest of cocoa, the next actor continues. The logistics provider provides the services of transport, storage, distribution and control of the product delivered by the farmer. The wholesaler or exporter is responsible for bringing cocoa to another kind of market, can make the relationship of ownership, location of the product in foreign customers and possession of the product in the market. The food industry takes the cocoa carried by the wholesaler to process it into a final product with a brand and added value. The farmers' association works for the benefit of the farmer in terms of minimum prices, market shares and compliance with legal obligations. The consumer is the one who generates the demand for cocoa, through the management of services, product quality and relationships with those who deliver the goods. All or most commercial and cocoa movements are within a legal framework; where a state agricultural control entity seeks to strengthen the agricultural area, establish new external markets and launch projects for the benefit of farmers.

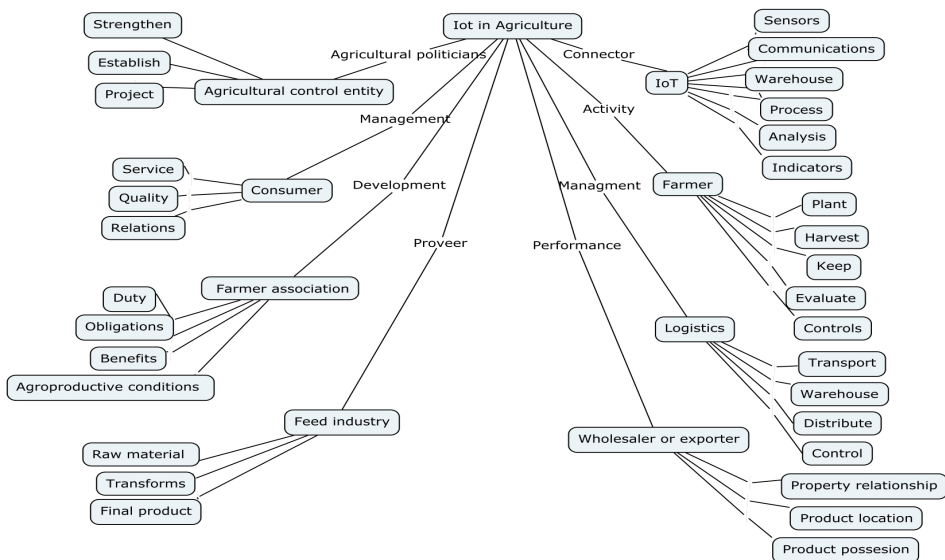


Figure 1 – IoT Model in Agriculture.

With IoT it is possible to cover all the cocoa phases, this document focused on obtaining data from the farm and cocoa fermentation process.

Figure 1 shows in a general way the participants in the cocoa agriculture or other product of similar characteristic.

#### 4.2. Four-layer Architecture

A 4-layer architecture was proposed in the design of an IoT infrastructure for efficient data management in a cocoa farm.

**Sensor Layer:** it used temperature, humidity, water, ph, light, sound, leaf, wind and soil sensors; the sensors detect data on environmental conditions to convert them into useful information; to follow in real-time the evolution of the climate.

**Connection and Internet Layer:** all the nodes of the farm are connected to the main node that picks up the signal, sends them to a Gateway for later sending to the internet; the sensors are not created to connect to the internet for the purpose of sharing data; to make the exchange of data it used a local Gateway to act as a bridge between the sensors and the internet.



Figure 2 – IoT architecture in the farm.

Figure 2 shows the architecture and in each layer the devices used, has sensors that connect to a single gateway through wireless interfaces; connects to the Internet and to the back-end server in the cloud; uses WiFi technology; transmits raw data and creates visual illustrations for easier data interpretation.

**Storage and Processing Layer:** in the storage part, there are services that capture that data to be stored in a repository; the server captures, saves and processes the data received through the services; this layer can have all the information agriculture and data of the climate, the soil, the fertilization, commercialization of the harvest; at the moment it proposed the management of a farm.

Presentation Layer: it considered a web or mobile application to see on a dashboard the indexes and statistics generated on the web server; this layer assists farmers to monitor the environment of cocoa crops, and achieve crop growth and drying; with the climatic indicators they help in the management of the farm and minimize the risks of the harvest.

To determine the efficiency of the architecture the formula (1) was defined; it is justified its use to know the average performance of the architecture and to help simplify the calculation.

$$P = 100 - \frac{1}{\frac{(Vt / bps) / 100000}{\sqrt{(St - Sn) * At * Su}}} \tag{1}$$

Where:  $P$ = the efficiency or performance of the architecture;  $St$  = number of sensors for data collection;  $Sn$  = number of invalid sensors;  $At$  = number of areas where the sensors are located;  $Su$  = number of user sessions;  $Vt$  = average transmission speed is 150Mbps;  $bps$  = 14 bytes per second.

Architecture performance: In the last simulation with 92 sensors a performance of 96.41% is achieved; performance can be lowered by the number of connected sensors, although the lowest value in this simulation is% 95.70; it is affirmed that the architecture remains stable and would provide good information service.

### 4.3. Execution Algorithm

To understand the operation an algorithm expressed in flowcharts was developed:

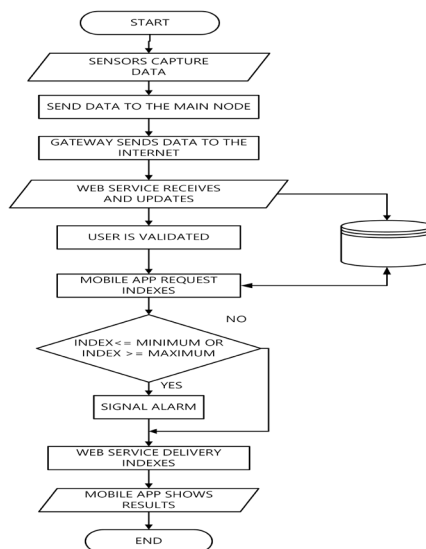


Figure 3 – Proposed algorithm.



In the figure 3 expresses the flowchart algorithm, the steps are described below:

Begin

```

Sensor get data
Send data -> main node
Gateway send port internet
Web service get data
Save on database
User -> web service
Select index from cloud.database.table
Web service: update indices set index = valor where index name = environment
If index < parameter_min or index > parameter_max
Then
    Send light
Endif
Web service delivery index
App Movil shows on the dashboard
    
```

End

#### 4.4. Infrastructure feasibility proposal

**Economic** are the costs that the project elaboration will represent to us.

Style Name	Format
Torre 10 metros manual de aluminio telescópicas mástil	1097.00
Wifi de largo alcance antena repetidor transmisor router	219.00
Sensor de suelo	14.00
Sensor de viento	350.00
Sensor de hoja	76.00
Sensor de ruido	2.50
Sensor de luz	42.00
Sensor de temperatura	25.00
Sensor de humedad de suelo	40.00
Sensor de agua	15.00
Sensor de PH	60.00
Access Point Cisco	289.99
Router Security Gateway	194.99
Internet inalámbrico Claro 150GB	30.00
Servicio en la nube AWS	59.99
Software aplicación móvil	500.00
Portal web	500.00
Total	\$3515.47

Table 1 – IoT Connection Hardware. Prices were taken from alibaba.com on February 10, 2020.

**Technique:** Cloud server specifications: Core I7 processor, 8 GB of RAM, 80GB hard drive. Software specifications: Red Hat 4.2 Linux Operating System (for the server), Java version 8. Data analysis software: Web services to collect data from the farm, perform calculations and deliver indicators.

**Operative:** It does not require special training, index information is for mobile application, the web portal is for access management, feasibility analysis by multiple experts.

**Feasibility Assessment:** Among the activities included in the proposed method to determine the feasibility, based on experts appears to establish an evaluation framework, obtaining information and aggregation

Figure 4 shows the activities contained in the workflow and describes each of them.

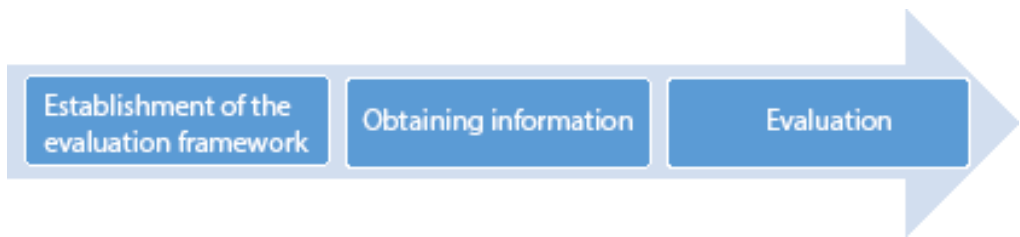


Figure 4 – Workflow activities for prioritization for decision making.

**Establishment of the evaluation framework:** The criteria that will participate are selected. Being  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$  with  $k \geq 2$  the evaluated criterias, and  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_j\}$  with  $j \geq 2$  the experts. Each expert is assigned a weight depending on their level of expertise and the criteria according to their importance.

**Obtaining information:** Information is obtained on the preferences of the decision-makers. This information represents the assessment of each alternative with respect to the criteria. The utility vector (Espinilla, 2012) is represented as  $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ , where  $v_{jk}$  is the preference in relation to criteria  $c_k$  to the expert  $E_j$ . The value is given in the interval using 2-linguistic tuples(Herrera, 2000)

**Evaluation:** The aggregation function  $OAG: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$  is obtained through a hierarchical aggregation process. The logical preference scoring model (LSP) is used (J. Dujmović, 2006) because it adjusts in a more realistic way to the vocational guidance process. The use of aggregation operators in a hierarchical manner gives flexibility to the method. The possibility of directly obtaining the preferences of the decision-maker and his expression in the weight vectors is another of his strengths. For aggregation, the medium linguistic heavy power operator (LWPM) is defined:

Being  $X = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ , a set of 2-linguistic tuples, The r-th linguistic WPM (LWPM) is defined as follows (Al-Subhi, Salah Hasan Saleh; Mahdi, Gaafar Sadeq Saeed; Alava, Milton Villegas; Pérez, Miton Pedro Yobanis Piñero; Vázquez, 2017):

$$M_n^{[r]}((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = (\sum_{i=1}^n \beta_i^r w_i)^{\frac{1}{r}} \tag{2}$$

Where  $w_i \in [0,1]$  and  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  and  $r$  can be selected to achieve desired logical properties (J. Dujmović, 2006). This evaluation process occurs in two stages in the first one the valuations of the individual experts are added and then a collective valuation is given. Finally, an interpretable linguistic evaluation is given by the decision makers in the linguistic model of the 2 tuples.

**Collective Feasibility Assessment**

The collective evaluation of the proposal by a group of experts.

Attributes were valued on the following linguistic scale:

No	Labels	Membership Functions
S <sub>0</sub>	Very Low (MB)	(0.0,0.0,0.25)
S <sub>1</sub>	Low (B)	(0.0,0.25,0.50)
S <sub>2</sub>	Medium (M)	(0.25,0.50,0.75)
S <sub>3</sub>	High (A)	(0.50,0.75,1)
S <sub>4</sub>	Very High (MA)	(0.75,1,1)

Table 2 – Services valuation.

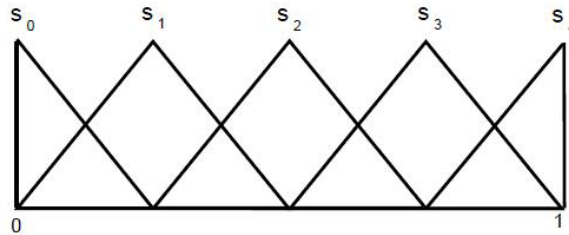


Figure 5 – Set of labels used.

Expert set was selected  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$

Subsequently, the valuation is carried out for each requirement with respect to Economic Feasibility C1, Technical Feasibility C2, Social Feasibility C3.

Criteria	Experts			
	e1	e2	e3	e4
C1	s3	s4	s2	s4
C2	s4	s4	s3	s4
C3	s4	s4	s4	s3

Table 3 – Criteria valuation.

The hierarchical aggregation structure obtained is shown below. Aggregation operators were used that reflect simultaneity as established by LSP (GYORGY, Todoran; SUCIU, George; MILITARU, 2012), (A.Tapia-Rosero, A. Bronselaer, R. De Mol, 2016)

The information aggregated in a two-stage process initially according to the criteria (Table 4).

Initial Entries	Operator	Block ID
C1	0.4	C- Individual Feasibility Assessment
C2	0.3	
C3	0.3	

Table 4 – Individual Aggregation Structure.

Finally a collective assesment is given (Table 5).

Initial Entries	Operator	Block ID
E1	0.4	C+ Collective Feasibility Assessment
E2	0.3	
E3	0.2	
E4	0.1	

Table 5 – Collective Aggregation Structure.

The result of the aggregation gives us the following linguistic information ( $s_4, -0.4464$ ), which shows very high feasibility according to the experts.

### 5. Discussion

Relation of the results: the conceptual model gives us a vision of the authors in the agriculture of the cocoa tree or another tree; not all named participants always assist in the process of planting until consumption; the architecture applies on the farm an infrastructure for obtaining data, shipping, storage, processing and delivery of information; the flowchart explains how the architecture works in each layer, the web services receive the data, process it and send it to the farmer; the formula applied measures the performance of the architecture, the elements of each are considered in quantity.

Concordance: this proposal is consistent with the research referenced in the following topics: use of multi-layer architectures, use of web services, presentation of dashboards in the Smart puts, study of cocoa, and other research carried out IoT statistics in agriculture.

Theoretical consequences of the proposal: the application of IoT in the process of planting, monitoring and harvesting of cocoa, in addition to the management of the farm assisted by climate and soil information; obtain a farm’s climate history for projections; to be able to plan activities for the very cold or hot weather; reduce the risk of planting or harvesting thanks to daily and summary data.

Feasibility study: the technical study allowed us to see the operational benefits and information online when implementing IoT in a cocoa farm; the economic study allowed establishing the total amount of investment and considering that the project is viable.

The linguistic evaluation through the LWPM operator showed a very high feasibility of the proposal.

## 6. Future Works and Conclusions

It was concluded that the proposal based on IoT is an efficient option for collecting, transporting, processing and delivering information in the process of sowing and harvesting cocoa. By having more volume of information collected, big data, predictive analysis, and descriptive modeling can be applied to obtain precision agriculture.

As future work, an IoT infrastructure in the supply chain in the harvest and trade of Cocoa will be proposed. Extending the linguistic model to include consensus among experts is another area of research.

## References

- A.Tapia-Rosero, A. Bronselaer, R. De Mol, G. D. T. (2016). Fusion of preferences from different perspectives in a decision-making context. *Information Fusion*, 29, 120–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inffus.2015.07.006>
- Abhijith, H. V., Jain, D. A., & Adithya Athreya Rao, U. (2017). Intelligent agriculture mechanism using internet of things. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2017, 2017-Janua*, 2185–2188. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2017.8126169>
- Abijaude, J. W., Santiago, L., & Wahab, O. A. (2019). *IoTcocoa – an IoT platform to assist gourmet cocoa production*.
- Ahmed, N., De, D., & Hussain, I. (2018). Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4890–4899. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2879579>
- Al-Subhi, Salah Hasan Saleh; Mahdi, Gaafar Sadeq Saeed; Alava, Milton Villegas; Pérez, Miton Pedro Yobanis Piñero; Vázquez, M. L. (2017). Operador media potencia pesada lingüística y su aplicación en la toma de decisiones. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 22(1), 38–43.
- Alzahrani, S. M. (2017). Sensing for the internet of things and its applications. *Proceedings - 2017 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops, W-FiCloud 2017, 2017-Janua*, 88–92. <https://doi.org/10.1109/FiCloudW.2017.94>
- Archbold Taylor, G., Beltran Torres, H., Ruiz, F., Narducci Marin, M., Mendez Chaves, Di., Trujillo Arboleda, L., ... Mouazen, A. M. (2019). PH Measurement IoT System for Precision Agriculture Applications. *IEEE Latin America Transactions*, 17(5), 823–832. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8891951>

- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E.-H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk. *IEEE Access*, 7, 129551–129583. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2932609>
- Chen, W. L., Lin, Y. B., Lin, Y. W., Chen, R., Liao, J. K., Ng, F. L., ... Yen, T. H. (2019). AgriTalk: IoT for precision soil farming of turmeric cultivation. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(3), 5209–5223. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2899128>
- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758–3773. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>
- Espinilla, M. (2012). A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria. *Information Sciences*, 222, 459–471. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ins.2012.08.015>
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2019). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *IEEE Access*, 7, 156237–156271. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949703>
- GYORGY, Todoran; SUCIU, George; MILITARU, T. L. (2012). CLASSIFICATION OF ON-LINE STUDENTS USING AN EXPERT SYSTEM OVER OPEN SOURCE, DISTRIBUTED CLOUD COMPUTING SYSTEM. *The International Scientific Conference ELearning and Software for Education*, (3), 566–574.
- Herrera, F. (2000). A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words. *Brain and Cognition*, 8(2), 273–344. <https://doi.org/10.1006/brcg.1996.0066>
- Huang, G., & Guo, R. (2017). Intelligent manor sand table demo system based on Internet of things and virtual reality technology. *Proceedings of 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference, ITOEC 2017, 2017-Janua*, 571–575. <https://doi.org/10.1109/ITOEC.2017.8122361>
- Ipanaqu, W., Belup, I., Castillo, J., & Salazar, J. (2017). Internet of things applied to monitoring fermentation process of cocoa at the Piura's mountain range. *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2017 - Proceedings, 2017-Janua*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CHILECON.2017.8229532>
- J. Dujmović, H. N. (2006). LSP method and its use for evaluation of Java IDEs. *International Journal of Approximate Reasoning*, 41(1), 3–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijar.2005.06.006>
- Jiang, R., & Sun, D. (2016). An agricultural service oriented information discovery technology for internet of things. *Proceedings - 2016 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation, ICSGEA 2016*, 268–271. <https://doi.org/10.1109/ICSGEA.2016.51>

- Khattab, A., Abdelgawad, A., & Yelmarthi, K. (2016). Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture. *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM*, 0, 201–204. <https://doi.org/10.1109/ICM.2016.7847850>
- Lin, D., Lee, C. K. M., & Lin, K. (2016). Research on effect factors evaluation of internet of things (IOT) adoption in Chinese agricultural supply chain. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2016-Decem*, 612–615. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797948>
- Mukherjee, A., Misra, S., Raghuwanshi, N. S., & Mitra, S. (2019). Blind entity identification for agricultural IoT deployments. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 3156–3163. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2879454>
- Parra, P., Negrete, T., Llaguno, J., & Vega, N. (2018). Computer Vision Techniques Applied in the Estimation of the Cocoa Beans Fermentation Grade. *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conference Proceedings*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/ANDESCON.2018.8564569>
- Roy, S., Ray, R., Roy, A., Sinha, S., Mukherjee, G., Pyne, S., ... Hazra, S. (2017). IoT, big data science & analytics, cloud computing and mobile app based hybrid system for smart agriculture. *2017 8th Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference, IEMECON 2017*, 303–304. <https://doi.org/10.1109/IEMECON.2017.8079610>
- Tseng, F.-H., Cho, H.-H., & Wu, H.-T. (2019). Applying Big Data for Intelligent Agriculture-Based Crop Selection Analysis. *IEEE Access*, 7, 116965–116974. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2935564>
- Wu, H. Te, & Tsai, C. W. (2019). An intelligent agriculture network security system based on private blockchains. *Journal of Communications and Networks*, 21(5), 503–508. <https://doi.org/10.1109/JCN.2019.000043>
- Zhao, Y., & Cao, N. (2017). Research on Traceability of Agricultural Products Based on Internet of Things. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering and IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, CSE and EUC 2017*, 2(1), 414–417. <https://doi.org/10.1109/CSE-EUC.2017.264>

# Análisis de las principales dificultades en la auditoría informática: una revisión sistemática de literatura

Daisy Imbaquingo<sup>1,2</sup>, Javier Díaz<sup>2</sup>, Tatyana Saltos<sup>2</sup>, Silvia Arciniega<sup>2</sup>,  
Jayli De la Torre<sup>2</sup>, Jácome Jesús<sup>2</sup>

[daisy.imbaquingoe@info.unlp.edu.ar](mailto:daisy.imbaquingoe@info.unlp.edu.ar), [jdiaz@unlp.edu.ar](mailto:jdiaz@unlp.edu.ar), [tksaltos@utn.edu.ec](mailto:tksaltos@utn.edu.ec),  
[srarciniega@utn.edu.ec](mailto:srarciniega@utn.edu.ec), [jddelatorrer@utn.edu.ec](mailto:jddelatorrer@utn.edu.ec), [jajacomeq@utn.edu.ec](mailto:jajacomeq@utn.edu.ec)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de La Plata, 1900, La Plata, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, 100105, Ibarra, Ecuador.

**Pages: 427–440**

**Resumen:** En la actualidad las organizaciones cuentan con una infraestructura de TI en la que se implantan sistemas de información y a su vez se desarrollan procesos que permiten automatizar otros que son manuales. El presente artículo tiene por objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura a partir de la revisión de un número considerable de trabajos que permitan dar respuesta a las tres preguntas de investigación planteadas. Se determinó que las principales dificultades de la auditoría informática tienen que ver con los costos elevados de realizar una auditoría, en los resultados de esta que no satisfacen al usuario final y la posibilidad de generar resultados negativos. Por último, se señala la importancia de la auditoría en la seguridad de la información alojada en infraestructura propia del auditado y alojada en el Cloud.

**Palabras-clave:** auditoría de TI; problemas de auditoría de TI; tendencias de auditoría de TI.

## *Analysis of the main difficulties in Computer Auditing: Systematic literature review*

**Abstract:** Currently organizations have an IT infrastructure where information systems are installed and at the same time processes are developed to allow the automatization of manual processes. The objective of this article is to make a literature systematic review starting with a considerable number of works which allow to give answers to three research questions asked. It was determined that the main difficulties of the computer audit are focused with the high costs to do an audit, the results of it that do not satisfy the final user and the possibility to generating negative results. Lastly, the importance of auditing in the security of the hosted information in the own infrastructure of the audited and hosted in the Cloud is pointed out.

**Keywords:** IT audit; IT audit problems; IT audit trends.



## 1. Introducción

Al hablar de auditoría se asocian a este proceso conceptos errados, tales como que el objetivo sea buscar errores en una organización y atacar a funcionarios o responsables. Si bien es cierto, la idea anterior tiene su verdad, la auditoría va más allá de los hallazgos y de identificar las anomalías de los auditados, es así que el concepto de auditoría ha ido evolucionando con el paso del tiempo, y con él, las ramas que derivan de la misma también. Una de ellas es la llamada “Auditoría Informática” o también conocida como “Auditoría de TI”. El área de la Auditoría de TI es relativamente nueva como explica Aditya & Ferdiana (2018), tuvo su auge en la década de los 60 cuando el empresario vinculó aspectos de la organización, estrategia de TI y los negocios, todo con el fin de cumplir los objetivos planteados en su organización. Con el paso del tiempo, la auditoría de TI se ha vuelto más compleja expone David (2015) debido al crecimiento de las tecnologías y a que las organizaciones buscan automatizar procesos. Las empresas en la actualidad están optando por el almacenamiento en Cloud mencionados, tales como señalan David (2015), Esther & Vasanthi (2019), Razaque Abdul (2017) lo que significa también que la auditoría de TI debe adaptarse a las nuevas tendencias.

Como su nombre lo indica, la Auditoría de TI es la encargada de auditar los procesos de TI en una organización relata Vasarhely Miklos (2018), encontrar fallos y hallazgos que ayuden al auditado a mejorar estos procesos y con ello llegar a sus objetivos, además Aditya & Ferdiana (2018) menciona que Auditoría de TI también es encargada de evaluar la seguridad de la información que maneja una empresa dentro y fuera de ella. Las vulnerabilidades en los sistemas web plantean serias amenazas a la seguridad y la privacidad, como violaciones de la privacidad de los datos, violaciones de la integridad de los datos y denegaciones de servicio, así señalan Thomé, Khin, & Bianculli (2018). Como bien se sabe, David (2015) revela que la información es uno de los bienes más preciados de cualquier organización, de ahí la importancia de resguardarla.

El presente documento de revisión sistemática pretende analizar los errores más comunes que tienen los auditores al realizar el proceso de Auditoría de TI o Auditoría Informática a través de la obtención de información de trabajos realizados en los cuales han surgido inconvenientes en este proceso. Los trabajos citados en este documento no solamente tienen que ver con la Auditoría de TI sino también con la Auditoría de manera general lo cual permitirá tener una visión más amplia del estado del arte de esta y realizar comparaciones entre sus distintas ramas con la Auditoría informática. A continuación, se enumeran las preguntas de investigación que serán respondidas más adelante en el documento:

- ¿Cuáles son las principales dificultades de la auditoría informática?
- ¿Cuáles son las principales capacidades, aptitudes o habilidades que debe tener un Auditor Informático?
- ¿Cuál es el papel de la Auditoría de TI con respecto a la seguridad de la información?

## 2. Metodología

La metodología usada para la redacción del presente documento de revisión sistemática de la literatura es la misma utilizada por Atymtayeva, Bortsova, & Inoue (2012) llamada

SLR. Cabe mencionar que el proceso de investigación se realizó en cuatro fases que se listan y describen detalladamente a continuación:

### 2.1. Búsqueda de documentos

Para realizar la búsqueda de los documentos en base al tema en desarrollo se usó la siguiente cadena de búsqueda en varias de las bases de datos científicas más usadas (Figura 1): ((“it audit” OR “computer audit” OR “information audit” OR “IS audit”) AND (“computer Audit issues” OR “it Audit issues” OR “audit issues”) AND (“Audit problems”)). Adicionalmente, se usaron algunas variantes para obtener, al menos, 15 documentos en cada base de datos bibliográfica. En total se obtuvieron 71 documentos relacionados al área en cuestión.

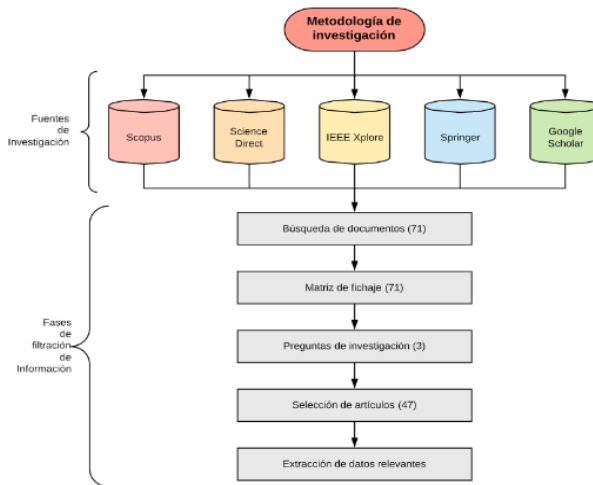


Figura 1 – Diagrama del protocolo utilizado en la SLR.

### 2.2. Preguntas de investigación

Para la redacción de los resultados de este documento se definieron tres preguntas de investigación (PI) sobre los problemas de la Auditoría informática, las cualidades de los auditores informáticos y el papel e importancia que desempeña la auditoría de la información en la seguridad de los datos. En la Tabla 2 se pueden observar a detalle las preguntas y la motivación que llevó a realizarlas. Para la búsqueda de información de relevancia para el presente trabajo se hizo uso de las bases de datos de Science Direct, Scopus, IEEE Explore, Springer y Google Scholar.

Número	Preguntas de investigación	Motivación
PI1	¿Cuáles son las principales dificultades de la auditoría informática?	Identificar los principales problemas para los auditores en la rama de la Auditoría Informática

Número	Preguntas de investigación	Motivación
PI2	¿Cuáles son las principales capacidades, aptitudes o habilidades que debe tener un Auditor Informático?	Identificar las cualidades que permiten a los auditores informáticos realizar su labor de la mejor manera posible.
PI3	¿Cuál es el papel de la Auditoría de TI con respecto a la seguridad de la información?	Identificar la importancia de la auditoría de TI en la seguridad de la información y el impacto que tiene en las organizaciones.

Tabla 1 – Preguntas de investigación (PI).

### 2.3. Selección de artículos

Para filtrar los documentos hallados en las bases de datos de investigación se aplicaron criterios de filtración. Los criterios considerados fueron: (i) relevancia del contenido, (ii) revisiones, (iii) estudios relacionados con la Auditoría Informática y temas afines. Además, un filtro adicional empleado al momento de realizar las búsquedas en las bases de datos bibliográficas fue de filtrar el contenido por “Ciencias e ingeniería”, “Ciencias computacionales”, “Seguridad de la información”, “Auditoría y control interno”, entre otras, todos estos escritos en inglés. En la segunda fase se tomó en cuenta el aporte a las preguntas de investigación descritas en el contenido del documento.

### 2.4. Extracción de datos relevantes

Al finalizar las dos fases de selección de los documentos se obtuvieron 48 trabajos. Para la extracción de las partes esenciales de los documentos se tomaron aquellos párrafos que ayudaron a responder las PI por lo que hubo que revisar en primera instancia, aquellos trabajos relacionados con la Auditoría Informática, Auditoría de TI y Problemas en la Auditoría de TI; pasando luego por aquellos relacionados con las características que definen a los buenos auditores en general y por supuesto a los auditores de TI; por último, se debió revisar la literatura relacionada con el papel de la Auditoría Informática en la seguridad de la información de las organizaciones en artículos que lo aplicaban a casos reales.

## 3. Resultados

### PI1 ¿Cuáles son las principales dificultades de la auditoría informática?

#### 3.1. Costos exagerados

Hanibuchi (2019) afirma que al realizar sus auditorías a las calles de Japón utilizando la herramienta Google Street View generan costos muy elevados por ser herramientas de pago. Con el uso de la tecnología Hoffman Benjamin (2018) corrobora que existe aumento de las tarifas de auditorías. Kumar & Singh (2018) evidencian que existen pocos métodos de verificación de integridad remota que puedan servir en datos almacenados estáticos, pero no funcionan dinámicamente, estos métodos de verificación deben realizar empresas dedicadas a la integridad de los datos.

Bahri Leila (2018) propone un método de selección de auditoría mejorado que se basa en parámetros clave, como la reputación de los nodos y las tasas de malos comportamientos detectados en la red. Se realizó experimentos en un gráfico OSN real para estudiar el valor agregado de las estrategias de auditoría mejoradas propuestas. Los resultados muestran que el método mejora el rendimiento del sistema en más del 50% en comparación con las selecciones aleatorias. Se considera que este trabajo es de suma importancia para el desarrollo de soluciones de control de acceso, con un mecanismo de auditoría adecuado, eficiente y efectivo.

### **3.2. Falta de experiencia**

Como afirma Pedrosa Isabel (2019) en previas investigaciones el grado de compromiso de la alta dirección y la influencia de los auditores legales es determinante para la adopción de CAATS. Además, Razaque Abdul (2017) señala que el papel de un tercer auditor externo podría ser una amenaza de seguridad potencial en sí misma y puede crear nuevas vulnerabilidades de seguridad para los datos del cliente. Huan Feiqi (2019) en su investigación indica que las tareas de auditoría repetitivas, estructuradas y laboriosas (como conciliaciones, interna pruebas de control y pruebas detalladas) son candidatos ideales para RPA (Robotic Process Automation), su aplicación a la auditoría se ha retrasado debido a preocupaciones sobre riesgo y regulación.

Según Siew Eu Gene (2019), los CAATT no se han utilizado en el mundo del desarrollo, sin embargo existe tres factores ambientales que son exclusivos del entorno de auditoría externa, estas son la complejidad del entorno AIS de los clientes, la presión competitiva de otras firmas de auditoría para adoptar los CAATT y el grado en que los organismos contables profesionales apoyan la adopción de los CAATT. El estudio realizado por Gepp Adrian (2018) se basa en la falta de progreso en la implementación de técnicas de big data en la práctica de auditoría sigue siendo sorprendente, dado que el uso temprano de técnicas de auditoría de muestreo aleatorio coloca a los auditores muy por delante de las prácticas de sus empresas cliente.

#### **3.2.1. Reportes negativos**

Alzahrani (2018) afirma que según la auditoría de seguridad interna realizada por un proveedor el 7 de septiembre de 2014, la red de la Universidad de Albaha tiene los siguientes problemas, en términos de seguridad: el departamento de TI necesita recursos más calificados, un solo ingeniero no puede manejar las operaciones diarias. El no tener un departamento de TI suficientemente equipado evidencia dificultades a la hora de realizar auditorías obteniendo resultados erróneos.

Hanibuchi (2019) presenta que uno de los mayores desafíos de la auditoría informática es la precisión en sus resultados, en este caso se presenta variedad de error en el estudio utilizando Google Street View al realizar auditorías sobre las calles de Japón, 830 segmentos fueron auditados física y virtualmente por auditores capacitados con resultados diferentes en pendientes. Manita Riadh (2020) expone su investigación La Nueva Ley sobre Regulación Económica (Ley Sarbanes-Oxley de 2002 en EE. UU.) que fortaleció los controles de los auditores, particularmente a través del PCAOB1 y los comités de auditoría. La calidad de la auditoría sigue siendo la principal preocupación

de los interesados, el usuario final no queda conforme con los resultados obtenidos por lo cual no pueden tomar decisiones que puedan ayudar en un futuro.

### 3.2.2. Comunicación ineficiente

Strous (1998) explica que los problemas particulares para un auditor son la creación de mensajes de información como los procesos que rigen dentro de un sistema no son directos con el auditado dentro y fuera de la organización y la creación de estos por parte del socio comercial. Thomé, Khin, & Bianculli (2018) revelan que no existe un auditor de seguridad para localizar vulnerabilidades en el código fuente, identificar sus causas y corregirlas, es así que no serían suficientes para soportar la auditoría de código que contienen información derivada de comportamientos observados del programa o trazas de ejecución. Pedrosa Isabel (2019) reflexiona sobre lo que se puede hacer para promover la TI entre los auditores, teniendo en cuenta el impacto de los CAAT en la eficacia y la eficiencia del trabajo de los auditores, lleva a la necesidad de aclarar las herramientas potenciales: esto puede indicar que las casas de software necesitan proponer software orientado por procedimiento/tarea y hacer que todo el software sea fácil de usar y comprender.

Tendencia de Auditoría	Nro. Artículos
Costos Exagerados	4
Falta de Experiencia	5
Reportes Negativos	4
Comunicación ineficiente	3
Total	16

Tabla 2 – Tendencias de dificultades en la Auditoría de TI.

## PI2 ¿Cuáles son las principales capacidades, aptitudes o habilidades que debería tener un auditor?

### 3.3. Disponer amplios conocimientos

Lu Hui (2018) explica varios requisitos importantes para el sistema de auditoría de seguridad, no es difícil ver que el sistema de auditoría de seguridad no es solo un simple sistema de registro. Especialmente a medida que los ataques y la destrucción de la red se vuelven cada vez más serios, el sistema de auditoría de seguridad presenta requisitos más altos. Se debe guiar normas internacionales, de acuerdo con las condiciones del propio sistema, las dificultades de seguridad y los problemas que enfrentan las necesidades específicas para desarrollar nuestro sistema de auditoría de seguridad. Strous (1998) pone a consideración que el auditor debe tener conocimiento de legislación internacional sobre el estado legal de documentos comerciales electrónicos, retención de registros, acuerdos de intercambio de datos, etc. Huan Feiqi (2019) atestigua que el auditor debe tener el dominio contable, por lo que las principales firmas contables aplican RPA (Robotic Process Automation) para lograr ahorros de costos y aumentar la eficiencia

operativa en los servicios de asesoría e impuestos, además tener la capacidad de liderar a un grupo.

### 3.4. Imparcial sincero y honesto

Bylica Wojciech (2011) indica que el proceso de auditoría escalable propuesto da al auditor conocimiento sobre qué activos no están adecuadamente protegidos, y en qué forma particular la organización no puede realizar el procedimiento en una empresa. El proceso introducido permite centrarse en los problemas de seguridad más importantes el tiempo que incluye las prioridades de la organización.

David (2015) analiza que los auditores deben crear un informe de auditoría en el que se deben registrar todos los procedimientos que se realiza que contiene elementos de auditoría (interna, externa, TI) incluyen todos los SLA (Service Level Agreement), gobierno, ahorro de costos, almacenamiento de datos, problemas de riesgo y seguridad, y protección contra desastres en las operaciones de computación en la nube dentro de los sitios de proveedores de servicios y clientes de la industria. Básicamente, hay tres secciones que deben completarse, incluidos el objetivo, el procedimiento de auditoría y los resultados de la norma relevante.

Tendencia de Auditoría	Nro. Artículos
Disponer amplios conocimientos	3
Imparcial Sincero y honesto	2
Total	5

Tabla 3 – Tendencias de las habilidades de un auditor informático.

### PI3 ¿Cuál es el papel de la auditoría de TI con respecto a la seguridad de la información?

La seguridad de la información de las organizaciones es de vital importancia para las mismas porque, como se sabe, “la información es poder”. Es así que se puede evidenciar la importancia que tiene el realizar auditorías de la información que permitan saber el estado actual cómo las organizaciones manejan sus datos:

### 3.5. Las vulnerabilidades de los sistemas de información

Las vulnerabilidades y errores de los sistemas de información son a menudo explotados por usuarios malintencionados para inmiscuirse en éstos y comprometer la seguridad (por ejemplo, disponibilidad, integridad y confidencialidad) de los sistemas de información tal como señalan Nong, Xiangyang, & Qiang (2001). A demás Atymtayeva, Bortsova, & Inoue (2012) nos mencionan que “las amenazas que se presentan en los sistemas de información: Por lo general, el riesgo se calcula en función a la probabilidad de que la amenaza se ejerza contra la vulnerabilidad y el impacto resultante de un compromiso exitoso. En realidad, el impacto es el valor del daño al atributo de ciertos activos (disponibilidad, integridad, etc.) causado por la materialización de una o más

amenazas. La identificación y medición de riesgos es muy crucial en la auditoría de seguridad de la información, lo que también se menciona en este trabajo.”

### **3.6. La auditoría de TI a la información de las organizaciones**

La Auditoría Informática o de TI basa mucho sus técnicas y procesos en la visualización de datos de las organizaciones como exponen Aditya & Ferdiana (2018), a continuación, se define cuál es la importancia de realizar una auditoría a la información o a los datos que manejan interna y externamente las organizaciones. En algunos de los documentos encontrados, los auditores utilizan herramientas que explican en su investigación Swathy & Velvizhi (2014) en el que se menciona las “firmas de preservación de la estructura” las cuales son utilizadas como técnica para crear seguridad y autenticación de los datos en la nube. De modo que el verificador público realiza la auditoría sin necesidad de descargar los datos de quién lee desde la nube. Para admitir varias tareas de auditoría simultáneamente, el verificador realiza una auditoría por lotes. La auditoría de la información en la nube será un tema que trataremos más adelante. Al realizar un análisis Chang, Wu, & Chang (2008) muestran que existen aún problemas con las herramientas usadas para la extracción de datos de los sistemas de información en los cuales se alojan los datos de las organizaciones. Además, Aditya & Ferdiana (2018) proponen un esquema de comprensión novedosa a un sistema de auditoría que simula el método de DTT. Método que logra ser aplicado con éxito como indican Aditya & Ferdiana, (2018).

Para un auditor, es importante conocer la información acerca de los datos de los usuarios que usan un sistema de información con el fin de identificar si alguno de estos ha incurrido en alguna anomalía tal como explican Wang, Wu, & Deng (2017). Según Han, Lin, & Chen (2018) explican de un esquema que no tiene emparejamiento y permite que un auditor externo genere un metaconjunto de autenticación en nombre de los usuarios. Li, Yen, & Chuang (2016) en su investigación hablan de un dispositivo fuente que registra una entrada de los sistemas del usuario, los datos se transfieren a la base de datos simultáneamente. Cuando se agrega un registro, el servidor de la base de datos activa los programas basados en LZW (algoritmo de precisión sin pérdida) para ejecutar automáticamente las funciones de compresión y auditoría de datos. Por lo tanto, el proceso de datos recién agregados a los resultados de monitoreo fluye de manera oportuna y continua, lo que ayuda a que el trabajo del auditor fluya rápidamente. En resumen, la auditoría de la información se encarga de recabar los datos de las empresas con el fin de verificar si el flujo de los Sistemas de Información que maneja la misma contiene datos íntegros, verificables y sobre todo seguros frente a agentes que intentasen hacer uso indebido de estos.

### **3.7. La auditoría de TI a información alojada en *Cloud***

“La computación en la nube ha atraído mucha atención en esta década. Debido a los recursos ilimitados de la informática y el almacenamiento, cada vez más personas y las organizaciones prefieren seleccionar la computación en la nube para ayudar a almacenar los datos y procesamiento de los asuntos complejos.” Explican (2018). Otro concepto casi análogo a la computación en la nube (respecto al almacenamiento de información) es el de outsourcing de bases de datos, que consiste en contratar alojamiento de terceros para



usar sus servicios de bases de datos. Xiang, Li, & Chen (2018) señalan que el outsourcing de bases de datos está ligado al desafío sobre la seguridad de los datos de los usuarios por lo tanto es importante proporcionar medidas de seguridad adecuadas para proteger los datos tercerizados de atacantes externos maliciosos. Y es aquí en donde actúa la auditoría informática, en verificar que la información almacenada en estos proveedores de servicio se encuentre segura.

Kumar & Singh (2018) proponen una arquitectura de seguridad de tres niveles para almacenar archivos multimedia que incluyen control de acceso, cifrado y verificación de firma de base de roles. Lo que puede considerarse como un protocolo de acceso a esa información y que ayudará un auditor a conocer los usuarios que interactúan con un sistema de información.

Otro problema es que los datos se pueden perder en la nube explican Esther & Vasanthi (2019). La pérdida de datos puede ocurrir en cualquier infraestructura, independientemente de las medidas confiables tomadas por los proveedores de servicios en la nube. Por otro lado, Pasquier, Singh, & Powles (2018) mencionan que los dispositivos IoT y sus sistemas de habilitación son, por su naturaleza, un testigo constante de nuestra vida cotidiana. Estos almacenan información en la nube de sus usuarios, un trabajo a futuro puede ser el desarrollar metodologías de auditoría que permitan evaluar a estos dispositivos IoT y la información sobre los usuarios que éstos generan.

Por su parte, en la investigación de Wang, Hui, & Li (2013) se debe proteger la privacidad de la información de los auditados al tratarse de datos almacenados en la nube. En resumen en trabajos como los de (Nong, Xiangyang, & Qiang (2001), Wenying & Xiong (2018), Xiang, Li, & Chen (2018) y Esther & Vasanthi (2019) se mencionan casos de estudio en los cuales se aplican metodologías de auditoría de TI que resultan exitosas. El éxito total de una auditoría en términos generales depende de la cooperación del auditado y de la subjetividad con la que responden las preguntas de auditoría o la validez de la información que entregan para este proceso. En la Tabla 3 se da un resumen de las tendencias de la Auditoría de TI aplicada a la información y los trabajos.

Tendencia de Auditoría	Nro. Artículos
Auditoría de TI a las organizaciones	12
Auditoría de TI al cloud	6
Total	18

Tabla 4 – Tendencias de la Auditoría de TI en la información de las organizaciones

#### 4. Discusión

Sobre las dificultades de la auditoría informática tenemos los principales puntos:

- Reportes Negativos: por la falta de una infraestructura adecuada los resultados no son 100% acertados, en la mayoría de los casos hace falta una tecnología robusta para tener seguridad al auditar con la ayuda de un computador.
- La ineficiente comunicación: al realizar un tipo de auditoría informática si bien



se tiene una comunicación con el auditado al no ser una auditoría presencial existe inconvenientes al intercambiar información durante la auditoría.

- Costos Exagerados: para realizar una auditoría informática se necesita equipos altamente costosos, así como de herramientas de software con licenciamiento que generan costos para el auditado.
- Falta de experiencia: cambiar la auditoría tradicional por una informática es complejo y como son herramientas nuevas se carece de información sobre la realización de una auditoría informática por la falta de experiencia al utilizar nuevos equipos y herramientas.

Tang Xing (2019) declara que relaciona la seguridad y los requisitos de eficiencia de las imágenes en la nube. Sin embargo, las soluciones existentes no tienen en cuenta las características de las imágenes en la nube y, por lo tanto, requieren enormes cómputos, comunicaciones y almacenamiento para generar, transferir y almacenar datos de autenticación. Además, el resultado de la auditoría no se puede usar como evidencia para demostrar la culpabilidad del proveedor de servicios en la nube, ya que el verificador especificado por el cliente puede ocultar su mal comportamiento. En la Ilustración 1 se evidencia las dificultades presentes dentro de la auditoría informática desde el año 1998 hasta el año 2020 (Enero), teniendo 4 principales dificultades que varían en los diferentes años.

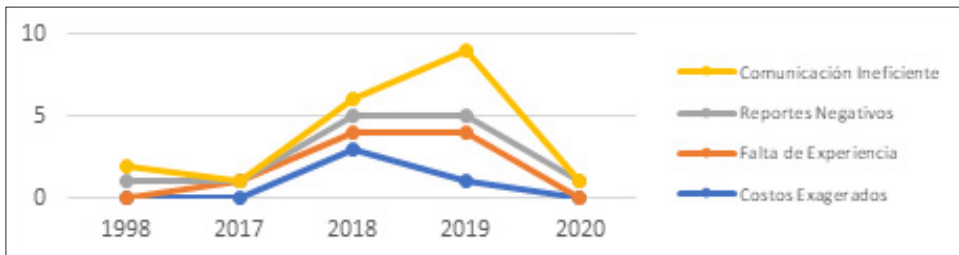


Figura 2 – Dificultades de la auditoría informática.

Las técnicas de los auditores son de gran importancia para evitar dificultades y fallas durante las auditorías informativas, los mismo que tienen que estar plenamente capacitados sobre qué es lo que se va a auditar, además Mary (2018) muestra cómo mejorar el proceso de gestión de piezas de repuesto en un operador de telecomunicaciones. Varias técnicas como: redes neuronales, proceso de jerarquía analítica y agentes de software se utilizan para implementar un prototipo de software que ha sido validado en un entorno operativo con una prueba de concepto, se aplicó una combinación de estas técnicas para administrar un inventario de repuestos y priorizar incidentes en un escenario tan complejo como la red de transmisión óptica de un importante operador de telecomunicaciones. La ayuda de la inteligencia artificial en los equipos facilita que un auditor pueda tomar decisiones dentro de un proceso de auditoría, tener la firmeza de decidir y estar seguro del procedimiento que se está realizando. En la Ilustración 2 se muestran las principales habilidades de un auditor a partir del año 1998 en donde

se evidencia la tendencia hacia el 2019 en disponer amplios conocimientos junto a la sinceridad presentados en los informes finales.

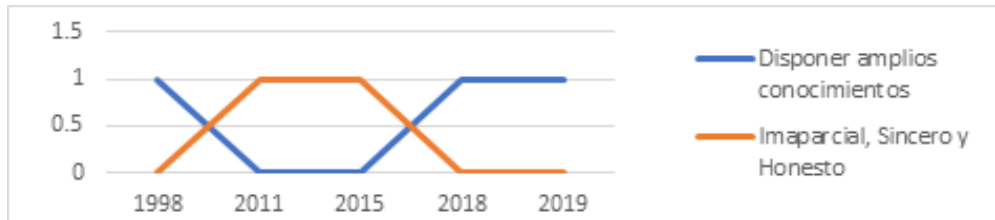


Figura 3 – Habilidades de un auditor.

Con respecto a la auditoría en el campo de la seguridad de la información es importante rescatar dos partes: La auditoría a datos alojados en Cloud; y la auditoría a datos alojados en SI (sistemas de información) de las organizaciones. En la Ilustración 3 se muestra que la Auditoría de la información que se encuentra en infraestructura propia de las organizaciones es la más común con el pasar del tiempo, sin embargo, a partir del 2018, la auditoría a datos almacenados en Cloud ha ido en constante crecimiento hasta estar casi a la par de la anterior.

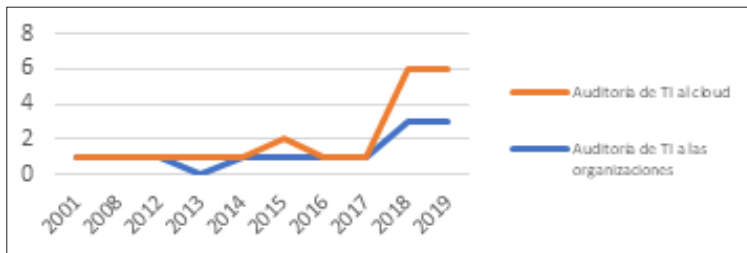


Figura 4 – Tendencias de auditoría de TI en la información.

El principal problema en este tipo de auditorías es la pérdida de información o de datos por problemas, en este caso, del cloud y de los proveedores de alojamiento de base de datos, lo que realmente imposibilita que el auditor genere un reporte de auditoría con hallazgos precisos y que puedan diagnosticar a detalle todas las anomalías que puedan presentarse en la información que la organización maneja. Por otro lado, al auditar los datos a sistemas de información con infraestructura propia del auditado se debe considerar las vulnerabilidades que estos poseen, ya que se encuentran expuestos a ataques maliciosos que pueden afectar de manera indeseable a una organización.

Afortunadamente en la actualidad las empresas que cuentan con un sistema informático, en su mayoría, llevan bitácoras (que registran interacciones de usuarios con el sistema) haciendo que así el auditor realice su trabajo sin basarse en suposiciones o incluso en la subjetividad, sino que, a partir de evidencias claras, pueda emitir su informe de hallazgos claro y preciso.

## 5. Conclusiones

Los artículos analizados en la redacción de este documento utilizaron técnicas de minería de datos para seleccionar su contenido en el ámbito de la Auditoría Informática. Como se evidenció, existen dificultades comunes en todos los casos de estudio en el apartado de la PI1, por ejemplo, los resultados que son erróneos que generan malestar al auditado, Lu Hui (2018) muestra sus pruebas al realizar estudio y análisis de calles en Japón con Google Street View genera resultados negativos, a esto se añade altos costos al utilizar herramientas tecnológicas para realizar una auditoría. La posición negativa de realizar auditorías informáticas se evidencia principalmente en los resultados que no satisfacen al usuario final.

Por otro lado, para poder garantizar que una auditoría informática se desarrolle de manera óptima, es necesario que auditores y auditados cooperen entre sí. Con respecto a los auditores, en la PI2 se analizaron las habilidades y actitudes que estos deberían poseer, como: experticia, exactitud y firmeza en resultados para tomar decisiones ante cualquier situación, ser discreto y una buena comunicación con el auditado siendo honesto sincero y parcial con los resultados, a fin de garantizar una auditoría de calidad. Como se observó en la discusión referente a la PI3, en la *Ilustración 3: Tendencias de Auditoría de TI en la información*, la auditoría a la información de las organizaciones tradicionalmente era realizada a la infraestructura instalada en las propias organizaciones y hasta la actualidad es lo que se continúa haciendo. Sin embargo, en los últimos años, Cloud Computing ha destacado en el almacenamiento de información de las organizaciones por lo que el área de la Auditoría de TI se ha adaptado a la información en estos servicios desde el 2014 aproximadamente, según muestra el número de investigaciones.

Finalmente, creemos que el uso de tecnologías emergentes como la minería de datos y algoritmos que permiten extraer información de auditoría a partir de sistemas informáticos y de sus usuarios, permitirá a los auditores informáticos eliminar la subjetividad, disminución de tiempo y costos en una auditoría.

## Referencias

- Aditya, B., & Ferdiana, R. (2018). Toward Modern IT Audit– Current Issues. *Proceedings - 2018 4th International Conference on Science and Technology, ICST 2018*, 4. doi:10.1109/ICSTC.2018.8528627
- Atymtayeva, L., Bortsova, G., & Inoue, A. (2012). Methodology and Ontology of Expert System for Information Security Audit. *SCIS-ISIS 2012*, 13. doi:10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505287
- Bahri Leila, C. B. (2018). Enhanced Audit Strategies for Collaborative and Accountable Data Sharing in Social Networks. *IEEE CIC*, 18.
- Bylica Wojciech, K. B. (2011). On Scalable Security Audit for Web Application According to ISO 27002. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 160.

- Chang, S.-I., Wu, C.-C., & Chang, I.-C. (2008). The Development of a Computer Auditing System Sufficient for Sarbanes-Oxley Section 404— A Study on the Purchasing and Expenditure Cycle of the ERP System. *Information Systems Management*, 25. doi: 10.1080/10580530802151145
- David, C. (2015). Cloud Computing Risk and Audit Issue. *Elsevier*, 42.
- Esther, D., & Vasanthi, N. (2019). LDAP: a lightweight deduplication and auditing protocol for secure data storage in cloud environment. *Cluster Computing*. doi:https://doi.org/10.1007/s10586-017-1382-6
- Gepp Adrian, L. M. (2018). Big data techniques in auditing research and practice: Current trends and future opportunities. *Elsevier BV*.
- Han, J., Lin, Y., & Chen, W. (2018). A Lightweight And privacy-preserving public cloud auditing scheme without bilinear pairings in smart cities. *Computer Standards and Interfaces*, 62. doi:doi:10.1016/j.csi.2018.08.004
- Hanibuchi, N. I. (2019). Virtual audits of streetscapes by crowdworkers. *Elsevier BV*, 79.
- Hoffman Benjamin, S. D. (2018). The impact of client information technology capability on audit pricing. *Elsevier Ltd.*, 29.
- Huan Feiqi, V. M. (2019). Applying robotic process automation (RPA) in auditing: A framework. *Elsevier Ltd.*, 35.
- Kumar, R., & Singh, G. (2018). ANALYSIS AND DESIGN OF AN OPTIMIZED SECURE. *Materials Today*, 5(1). doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.180
- Li, S.-H., Yen, D., & Chuang, Y.-P. (2016). A Real-Time Audit Mechanism Based on the Compression Technique. *ACM Transactions on Management Information Systems*, 8(2). doi:http://dx.doi.org/10.1145/2629569
- Lu Hui, C. H. (2018). The Research on Security Audit for Information System Classified Protection. *Springer Nature Switzerland*.
- M., A. (2018). Auditing Albaha University Network Security using in-house Developed Penetration Tool. *Institute of Physics Publishing*, 978.
- Manita Riadh, E. N. (2020). The digital transformation of external audit and its impact on corporate governance. *Elsevier Ltd.*, 150.
- Mary, M. (2018). Optimizing the Spare Parts Management Process in a Communication Network. *Elsevier* .
- Nong, Y., Xiangyang, L., & Qiang, C. (2001). Probabilistic Techniques for Intrusion Detection. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS*, 31(4).
- Pasquier, T., Singh, J., & Powles, J. (2018). Data provenance to audit compliance with privacy policy in the Internet of Things. *Personal and Ubiquitous Computing*, 22. doi:10.1007/s00779-017-1067-4

- Pedrosa Isabel, C. C. (2019). Determinants adoption of computerassisted auditing tools (CAATs). *Springer-Verlag London Ltd.*
- Razaque Abdul, R. S. (2017). Privacy preserving model: a new scheme for auditing cloud stakeholders. *Springer Berlin Heidelberg.*
- Siew Eu Gene, R. K. (2019). Organizational and environmental influences in the adoption of computerassisted audit tools and techniques (CAATTs) by audit firms in Malaysia. *Elsevier Ltd.*
- Strous, L. (1998). Audit of information System: The Need for Cooperation. *Springer, 15211.*
- Swathy, K., & Velvizhi, N. (2014). Public Audit on Dynamic data preserving user identity and data freshness. *2014 Sixth International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*. doi:10.1109/ICoAC.2014.7229741
- Tang Xing, H. Y. (2019). Efficient Real-Time Integrity Auditing With Privacy-Preserving Arbitration for Images in Cloud Storage System. *IEEE Access Computer Science.*
- Thomé, J., Khin, L., & Bianculli, D. (2018). Security Slicing for Auditing Common Injection Vulnerabilities. *Journal of Systems and Software*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.02.040
- Vasarhely Miklos, H. F. (2018). "The Continuous Audit of Online Systems".
- Wang, B., Hui, L., & Li, M. (2013). Privacy-Preserving Public Auditing for Shared Cloud Data Supporting Group Dynamics. *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. doi:10.1109/ICC.2013.6654808
- Wang, Y., Wu, Q., & Deng, R. (2017). Identity-Based Data Outsourcing with Comprehensive Auditing in Clouds. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 12(4)*. doi:10.1109/TIFS.2016.2646913
- Wenyng, Z., & Xiong, L. (2018). Secure sustainable storage auditing protocol (SSSAP) with efficient key updates for cloud computing. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. doi:https://doi.org/doi:10.1016/j.suscom.2018.03.002
- Xiang, T., Li, X., & Chen, F. (2018). Achieving verifiable, dynamic and efficient auditing for outsourced. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2017.10.004

# Characterization of Tangible User Interface Elements to Define their Information Architecture

Javier M. Reyes V.<sup>1</sup>, Paola-J Rodríguez-C<sup>1</sup>, Ivette Kafure Muñoz<sup>2</sup>

[javier.reyes@correounivalle.edu.co](mailto:javier.reyes@correounivalle.edu.co), [paola.rodriguez@correounivalle.edu.co](mailto:paola.rodriguez@correounivalle.edu.co), [ivettek@unb.br](mailto:ivettek@unb.br)

<sup>1</sup> Universidad del Valle, 100-00, Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad de Brasilia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF, Brasil.

Pages: 441–454

**Abstract:** This paper is a part of some doctoral research called -Information Architecture Model for Tangible User Interfaces-, Its objective is to characterize the particular elements of Information Architecture of a Tangible User Interface. The Taxonomy and Objects Characterization is obtained from: 1) the academic literature review, 2) the definition of the concepts of -Information Architecture- and -Tangible User Interface-, 3) the development of 12 low cost prototypes, 4) team tests (interviews & Focus Group) and 5) early user tests (cognitive path & thinking aloud). These allow it the establishment of the Object Definition (Actions & Attributes) for a Tangible User Interface. In Summary, this definition is the basis for the specification of the Information Architecture of a Tangible User Interface.

**Keywords:** information architecture; object attributes; object actions; tangible user interfaces; use experience.

## 1. Introduction

Tangible User Interfaces -TUI- are a new interaction paradigm in which physical objects are interconnected to manipulate digital information (Fitzmaurice, Ishii, and Buxton 1995), (Shaer 2009a)Tangible User Interfaces (TUIs, (Harley et al. 2016a). As it is an emerging proposal, the user experience -UX- becomes the starting point for the development of this type of interfaces in which professionals from diverse knowledge areas participate such as: Software Engineers, Electronics Engineers and Designers (Industrial and Graphic) (Cordoba K, Rodriguez, P. Reyes 2017).

Communication between these areas is affected, primarily, by the absence of artifacts that allow the compositional elements of a TUI to be abstracted. On the other hand, the interdisciplinary nature of the TUI product makes it difficult for it to be implemented, since each area of knowledge handles different methodologies with different languages that make it difficult for the team to communicate.

Some works have tangentially explored the previous points, such is the case of Token & Constraints -TAC- which establishes a direct relation with the real coupling of the objects that compose a TUI (Shaer 2009a)Tangible User Interfaces (TUIs. There is

also the work proposed by Conradie et al. (2016), who use a method proposed by S. Pugh (1991), this consists of a series of iterations with activities that allow for gradual progress in the design life cycle. These are: a) Generation of the idea, b) Definition of the concept, c) Prototype of the system and d) Integrated prototype. In these works, the communication of the work team is not discussed.

Up to the moment of the development of this work they have not found proposals that describe the particularities of the related areas and tend to the integration and communication of the work team. This issue implies a great relevance given that these are emerging technologies that are increasingly closer to the user due to the development and ease of access to various technological devices (Ullmer and Ishii 2001), (Shaer 2009b) Tangible User Interfaces (TUIs).

On the other hand, UX has been defined as the process of interaction before, during and after of a user with a product or service, this implies considering four elements: 1) Social factors, 2) Marketing Aspects, 3) Cultural Factors and 4) Context of Use (Arhippainen and Tähti 2003), (Korhonen, Arrasvuori, and Väänänen-Vainio-Mattila 2010), (Vermeeren et al. 2010). Each of these elements implies a set of sub-variables that must be considered for the development of a product such as a user interface. One of the sub-variables of the UX Usage Context is the Information Architecture -IA- which is defined as the structuring of the information to be shown to the user, that is -what is to be shown- (Morville, Rosenfeld, and Arango 2015), (Herrera 2013), (Surla 2008).

In this way, to formalize the TUI development process and thus think at a commercial product level, it is necessary to include the UX knowledge area specifically in the Use Context element, the Information Architecture sub-variable, because it allows a fluid integration and communication between all the actors involved in the creation process.

Therefore, it is important to establish a scheme or representation of the IA in the context of the TUI, defining elements, artifacts, tools and/or guidelines, to facilitate their understanding, construction and communication by the work team, to improve the UX in the interaction with these emerging technologies. Thus, this research project addresses the following question: How to define an Information Architecture model in the context of Tangible User Interfaces?

The objectives that allow to answer this question are: To characterize the particular elements of Information Architecture in a Tangible User Interface, to design a tool that allows the construction of Information Architecture and to validate the proposal through the construction of a set of Tangible User Interface prototypes.

## **2. Information Architecture**

Before we explain the Information Architecture -IA- It is needed to understand what 'User Experience -UX-' is to place the relevance of IA in the context of this paper.

Based on the literature review (Arhippainen and Tähti 2003), (Korhonen et al. 2010), (Roto et al. 2010), the next definition proposes to combine the common aspects that have been found and are considered relevant for the UX, taking into account that the common point is the relationship user-product/service. Thus, UX is defined as the



relationship before, during and after the interaction of the user with a product or service. This relationship user-product/service is mediated by four variables that are shown in Figure 1. The components in the relationship user-product/service are:

- User: Values, emotions, previous experiences, physical characteristics, motor functions, personality, motivation, skills, age, level of education, preferences, beliefs, perceptions, physical responses, psychological responses, behaviors, attitudes.
- Product/Service: Usability, functionality, size, weight, material, controls, aesthetic aspects, use, Adaptivity/Adaptability, mobility, accessibility, presentation, system development, ergonomics.

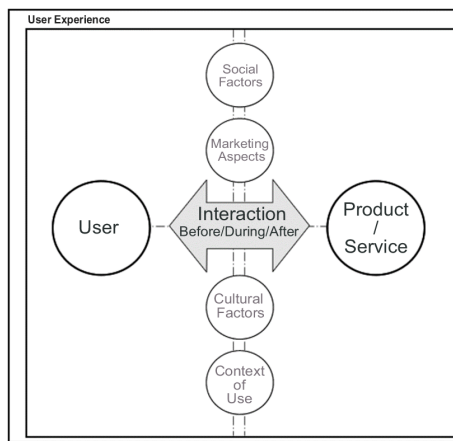


Figure 1 – Definition of UX.

Information about the four variables of this relationship are:

1. *Social Factors*: time pressure, pressure of success or failure, implicit and explicit requirements.
2. *Marketing Aspects*: corporate image, brand recognition, quality of product or service, experience design.
3. *Cultural Aspects*: sex (gender), fashion, habits, rules, language, semiotics, and religion.
4. *Context of use*: time, place, companions, human factors (lighting, noise, temperature, anthropometry), Information Architecture and Information Design.

The set of variables and sub-variables presented here allow a more complete appreciation of what UX means. In this way, the practical application of this definition implies the founding of every definite variable, whether this applies or not, depending on the product or service.

As observed in the definition of UX, the Information Architecture and Information Design belong to variable -contexts of use-. In the literature review, this concept tends



to be mixed. For this reason, a clear definition of each one must lay out a clear definition of each one to get the differences and particularities of the model presented in this paper.

Nowadays, a formal definition does not exist for ID, although the term was coined in 1970 for the Society of Britannic Information Design where it is described as “*an art and a science for processing and rebuilding the information that optimizes their environment and improves their communication. Their function is to make the communication process more convenient and specific, to ease the identification to be more useful and agreeable*” (Yong 2010).

Also the International Institute of Information Design presented ID as the planning and organization of contents and environment which are presented with the intention of satisfying the need for the information of the receivers (O’Grady 2008). On the other hand, the Society of Technical Communications -STC- describe it as “*the complex translation of disorganized and unstructured data in understandable information*” (Baer and Vacarra 2008).

According to Frascara (2008), the ID is formed by two different aspects: the first is the organization of information (contents), the second is the planning of the visual presentation (Graphic design). This requires ability for processing, organizing and presenting the verbal and non-verbal information.

Also, the authors Coates and Ellison (2014), integrated the ID into three categories according to the way and the context in which the data is presented.

1. Press Information design: they are shown in anatomic illustration, assembly instructions, reports, station maps in the cities.
2. Interactive Information Design: the concrete examples are interactive magazines; use of GPS in vehicles; interactive screens in the shopping center.
3. Environment Information Design: their more complete application is in ‘Wayfinding’ that is evident in the sign-posting of private or public spaces so that the person navigates the space better. It can be seen in libraries, government buildings, airports and bus or train stations, etc.

Thus, the ID covers a heterogeneous audience (i. e. differently-abled people); for this reason, it is very important, also, to be visual and auditory and tactile to find the data interpretation. Therefore, the ID includes analysis, planning, presentation and message understanding (content, language and way). Apart from the mean selection, a good ID must satisfy the aesthetic, economic, ergonomic and user requirements (Carlsson 2010).

In summary, the relation between IA and ID is shown in Baer and Vacarra (2008), where the IA is explained as an area related to ID. The IA organizes and categorizes the information, which can include the creation of classification and nomenclature schemes for websites, software and other applications, online or not. The IA frequently participates in the ID planning of a project through the creation of the high-level documentation.

IA emerged at the end of the nineties and its definition evolves gradually through time (Pérez-Montoro 2010), (García, Botella, and Marcos 2010). The first to coin the term was Wurman (1996) quoted in Pessoa et al. (2017), who defines it as “*a discipline in charge of structuring, organizing and labeling the informational elements with the*

*target of making it easy to find and access content. Also, to make the utility and user exploitation better”.*

From the above, Garrett (2011) quoted in Ruzza et al. (2017) specifies it in digital environments as *“the structuring of digital information focus on providing the simple and intuitive access to the content and user functions”*. Moreover, Resmini and Rosati (2011) quoted in Pessoa et al. (2017), defines it as *“a process and design service that involves a multichannel design and cross-channel User Experience”*.

Later, Morville et al. (2015) extended the definition to another context beyond the digital, taking into account the next perspective:

- Structural design to share information environments.
- Organization synthesis, name-tagging, search and navigation system in a digital, physical and cross-channel ecosystem.
- The Art and science of organizing the product information and the experience to support the usability, findings and its understandability.
- Emerging discipline and community of focused practice offering design principles and architecture in the digital landscape.

The meaning of Frascara (2008) permits one to differentiate the IA (as the organization of the information) and the ID (as the visual presentation of the information). In this sense, it can be shown that both concepts can be mixed up from the design area but are different in practical terms.

To conclude, in Pessoa et al. (2017) they interpret it as *“the organization and simplification of the information for the users; designing, integrating and adding information spaces with the objective of creating systems and usable interfaces; creating ways for people to find, understand, interchange and manage information; thus keeping abreast of it and taking the correct decisions”*.

Specifically, the IA can be understood as the structuring of the information to ease the access to the users. So, it is a tool to zoom in on the information for the users (see Figure 2). However, it is a process that must be thought through by the development group because, in the creation process different knowledge areas intervene which contribute from their perspectives, making the interaction process easier with the applications. This should not be the work of the Information Architect alone. This implies taking into account the contributions and knowledge of all work teams.

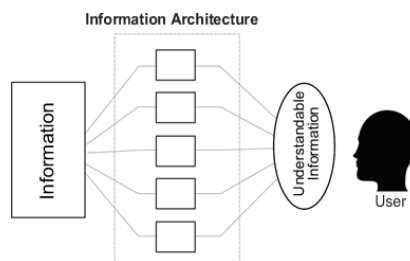


Figure 2 – IA Process.

Finally, it can be said that the IA presages the coming information; that is: the identification of the information elements and their hierarchical organization in the context of a user interface. This definition of IA can be complementary to Surla (2008) perspective, who suggests that, with an IA product, the following factors, at least, must be considered:

- The navigation, labeling and organization of the information.
- The interaction between the user and the different parts of the website.
- The relationship between the site and other objects in the environment (search engines, other sites that help the use of the information on the site itself).

Based on the above, the definition adopted for this work is: structuring and organization of the information according to the navigation, interaction and relationships between the parts and the user. Once there is established a definition of IA, and, considering that the interest of the present work is to apply it in the TUI context, it is important to highlight that these are framed in the knowledge area called Human Computer Interaction as an emergent interaction paradigm. With this understanding, first it will show a description of interaction paradigms, ultimately all related to TUI.

### 3. Interaction Paradigms

Once the information technology had spread worldwide, people interacted with a desktop computer whose unique communications elements were the keyboard, the mouse and the screen. This kind of interaction was called WIMP (Windows, Icons, Menus and Pointers) (Shaer 2009b). In the last 25 years, new interaction styles have emerged from the work of several researchers. These new style were called post-WIMP (for example, wii control with the use of infrared lights, touch screen, augmented reality system, gestures-based interfaces, etc.) (Shaer 2009b).

From the above, it can be concluded that an interaction paradigm can be extended as the way in which a person handles the technology to executing an action, whether aware of the environment or not.

In this sense and according to the academic literature review, the interaction paradigms are a development of the evolution of electronics, computation and telecommunications; and, four kinds of paradigms can be stated where the different tendencies can be placed and there can exist a mixture between one and another, that is: hybrid interaction. These kinds of paradigms will be explained below (Lores and joan Manuel Gimeno 2002) (see Figure 3).

Type I: the relationship between user and computer exists, but not the user and the real world, as a result, a device can be used as long as the optimal conditions of the interaction are present. As an example: use of terminals to pay for parking in shopping centers, the use of cash machines, use of desktop computers or laptop, use of mobile devices (cell phones and tablets).

Type II: the three-dimensional emulated world is presented here, that is, the user loses the perception of the real world. In this sense, it is necessary to take control of the context and the use of space in this paradigm, moreover, to have special devices that

help in the interaction such as VR glasses and/or haptic gloves. This use has spread to video games, rehabilitation (psychological and physical), entertainment, meditation, instruction (basically surgical) and interactive installations.

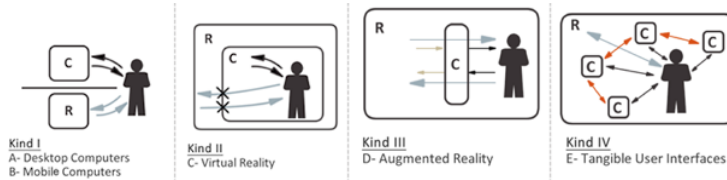


Figure 3 – Paradigms of Interaction adapted from (Lores and Joan Manuel Gimeno 2002).

Type III: the real world is extended with digital information from the use of mediators like a cell phone, tablets or special glasses, but taking into account that the user is aware of the world around them.

Type IV: this paradigm generates a sensation of the ubiquity of the technology, because all devices are interconnected improving the interaction with the real world. It implies a component called interplay understood as the relationship between objects (with computational capacity) from the user action, or autonomously (internal programming).

To conclude, the TUI is an example of post-WIMP interaction and is placed in the interaction paradigm Type IV, because it is designed to give the physical shape of the digital information and allow the physical representation of digital data controlling through direct hands-on manipulation (Ishii and Ullmer 1997). The main idea of TUI is to allow the user to get in direct contact with the information, but manipulating the data with their hands (Maia and Castro 2017).

#### 4. Tangible User interfaces TUI

TUI emerges as an initiative to exploit the learning that the user had in the relationship with the manipulation of physical objects, of his environment, hence, they can manipulate the digital information associated with physical objects and their interplays. Thus, one of the first motivators was called Slot Machine (Perlman 1976) that consisted of a set of inserted plastic boxes to teach programming aimed at children; the objective was manipulated constructs of the language (actions, numbers, variables or conditions) in a more educational and direct way.

Another seminal TUI work was Fitzmaurice and Buxton (1997), called -Graspable User Interfaces- or hands-on interfaces, which used -blocks- to represent three key ideas. One: the physical artifacts that act as manipulative controls; two: to make the best of people's physical world; and, three: multiplexed devices by space and time.

One more relevant project for this development, in the early eighties, was Frazer, J. and Frazer (1980) quoted in Shaer (2009b) Tangible User Interfaces (TUIs whose objective was to affect a better approach and communication of the user with the architects; this

was the precursor of 3D modeling and proposed strategies for manipulating a set of elements to establish an adequate space from some cubes.

As understood from the beginning, the TUI took advantage of the haptic human interaction for providing physical representations from digital information, these representations turn into a model and control of the information, also eases the direct manipulation and a multisensory interaction. Thus, the TUI permits work in the real world with a model based on gestures and actions of applications in context. Furthermore, the collaborative interaction based on the human abilities for making better associations with tangible elements is facilitated (Imhanwa, Greenhill, and Owrak 2015) delivered and managed. This model of computing where all data, application, are hosted over a network is a significant shift from the traditional model of computing where data, software's resources are hosted on a local computer or the client server model of business computing where resources are hosted on the firms servers and requires specialist staff for implementing and maintaining IT services. For several organizations especially in the case of small and medium-sized enterprise (SME's allowing more significant user immersion and interaction (Maia and Castro 2017), which transforms into a real User Experience.

Specifying, the work of TUI is based on the physical incorporation of digital information and vice versa with the objective of reaching beyond the paradigm of *-bits-* drawn in a GUI (Graphical User Interface). Nowadays, there are different applications areas in TUI, for example, in education (to solve programming problems) (Schneider et al. 2013) inclusive education (Starcic, Cotic, and Zajc 2013), simulation tools, support or information visualization, entertainment (interactive toys), music and in social communication. In each of these, the perspective of technology use and information design are the same; the information architecture is inside the design which must have the narrative clear to tell the user the correct way in the interaction process (Harley et al. 2016b).

Now, to establish a definition of TUI, it is necessary to recognize its elements therefore, in the next part, the taxonomy, according to different authors, will be explained.

## 5. Taxonomy of a TUI

According to Xu et al. (2007), the TUI has the following characteristics that must be considered to define it as a taxonomy:

- **Connection:** The TUI presents a link between objects and the digital information that they represent. It can be dynamic or static.
- **Objects:** TUI implies objects that interact with the user and they have an interplay. Both are possible because of the spatiality, with relationships or with connections.
- **Embodiment:** TUI is defined as the input-output method and is related in the physical space occupied.
- **Metaphor:** The physical artifacts that compose a TUI represent a particular thing to the user (mainly the analogies to the physical world).

Thus, we propose a taxonomy in which the TUI can be matched according to four criteria: 1) by the inference ability, 2) by the construction method, 3) by input and output; and, 4) by the metaphor used (Cordoba K, Rodriguez, P. Reyes 2017).

The taxonomy established in this item shows a set of elements at starting point for the development to TUI from a technological and conceptual point of view. Based on the above, a TUI can be defined as: a user interface in which the physical objects from the environment will be integrated to bring digital information and/or permit modification throughout and interaction user-object or an interplay object-object, generated by the initial intervention of the user or automatically. An important aspect is the intuitive nature of physical objects in the TUI because it allows the interaction made to be more natural compared to the conventional user interfaces.

In the next part, the aspects that allow the construction of a TUI from a methodological point of view and the way in which the elements mentioned are combined will be explained in more detail.

## 6. The elements of information architecture for a TUI

The elements are the constitutive components that allow the definition of IA in a TUI and help to establish a specification. It has the following:

- Objects: constitute part of a TUI that can be manipulated physically (Physical object) or can be tangible (Digital Object). Any object must define a set of qualities or inherent properties to its function (Attributes) and can be manipulated by the user or by the environment in some way (Action).
- Interplay: relationship between objects (Physical and/or Digital) and denote the final state of TUI before this association.
- Relationships: the answer that the participant objects in interplay give.
- Interactions: ways how the user can manipulate any part of the TUI.

The present paper will focus on the objects and their characterization, which are the foundation of the IA process for a TUI. Subsequently, the aspects related to the objects inside a TUI will be explained.

### 6.1. Methodology

The objective was to establish a common vocabulary between development team to succeed a fluid communication of the Specification and the Object Diagram. For this reason, it was made two mini-projects with 12 prototypes (six groups of three persons) and the early user test. The instruments used were: 1) Surveys: to measure the perception of the particular elements of IA in each mini-project related to define objects and the communication of the team, 2) Focus Group: for deeper on the found elements proper of the diagram, for this purpose was suggested a set of questions to guide the discussion of the group after the delivery of the final prototypes, 3) Direct Observation: was done during the whole development process, this allowed to highlight the practices, integration and communication of the different disciplines to

later collate them in the Object Diagram proposed, finally 4) Early User Test: were carried out with all prototypes. These tests followed the cognitive path and thinking aloud methods.

## 6.2. Objects

As was explained, an object is a constitutive part of a TUI, thus, the taxonomy of the objects is composed by: Physical Objects (Passive and Hardware) and Digital Objects (Software and Multimedia). Then, this particular taxonomy will be explained:

### 6.2.1. Physical Objects

There are tangible elements, with which the user interacts using his body parts, especially his hands. These can be:

- Passive Objects -PO-: their main characteristic is that they do not have computational capacity but allow the interaction with the user and the other constitutive parts of the TUI.
- Hardware Objects -HO-: they have computational capacity and/or processing, from these characteristics, they communicate effectively with Digital Objects from the user interaction or through sensors and/or actuators.

### 6.2.2. Digital Objects

Represent the digital information and are elements that allow one to give a logical answer to all functionality of the TUI without being tangible. These are:

- Software Objects -SO-: control the hardware and implement the logical layer on the TUI. It is within the domain of *Computer Science* and a *UML* tool permits their modeling.
- Multimedia Objects -MO-: allow the visualization and/or feedback on the digital information of the TUI images, videos, audios, texts, animations etc.

Any object in the TUI must specify a set of Actions and Attributes. The Actions are understood as the task that the user can undertake with the object or the object itself automatically; and the Attributes correspond to a set of characteristics that define it (in the level of the shape and compositional structure). For the correct specification, it is important to define who is the *executor* and choose the stereotype for their representation.

The executor of an action can be a user or a change in the environment (temperature, light, humidity, etc.). It should be noted that each action executed by the environment implies that the object has a particular sensor. The next table summarizes the main Attributes and Actions defined for PO and DO that were proposed after a process of direct observation and the application of several interactions analyzing in the use with objects in the research project called -Emot-brain, User experience evaluation method- from interaction with everyday tools based on emotional states approved by Camaleón research group.

The Actions, in the context of this model, indicate the tasks that the object can perform, autonomously (programmed from logic or electronics) - in this case called Environment - or by a user action. The Actions shown below, in Table 1, are the result of the analysis of tasks that objects can have in a TUI.



Object	Attribute		Action			
	Name	Description	Name	Description	Executor*	Stereotype
Physical Object (Passive Object - Hardware Object)	Weight	Related to the manipulation and the function allows user to lift an object up in a lateral way.	Displaying	Can be verified on horizontal line - must have a straight or curved path.	User/Environment	
	Material	Related to the relationship between user and object, also if the material can be constructive or not.	Turning	Can be clockwise or anti-clockwise.	User/Environment	
	Dimension	For ease of manipulation and a good spatial fit.	Catching	This happens when the user needs to hold an object firmly.	User	
	Shape	This is defined by the handling i.e. ergonomics and anthropometric aspects.	Dropping	When the user needs to take away the manipulated object.	User	
	Texture	Allows catching and correcting manipulation.	Throwing	This happens when an object drops in a particular place on an interface.	User	
	Color	Intrinsic property of the object that helps their perception and relationship with other objects.	Inserting	When an object is necessary introduce an object inside another.	User	
			Lifting up	Raise the objects.	User	
		Sticking	Allow user objects to adhere to a body part without catching.	User		

Object	Attribute		Action			
	Name	Description	Name	Description	Executor*	Stereotype
Digital Objects (Software Objects - Multimedia Objects)	Size	Its importance is needed in giving visual emphasis and relevance to certain elements.	Pressing	To click or touch on Touch Screens.	User	
	Shape	Which can be geometrical or organic.	Dragging	This is to carry an object in any direction on the interface.	User	
	Position	From the reference by importance of the elements.	Dropping	This is the action of dropping the object.	User	
	Color	From the elemental composition, depth of structure and difference the information.	Adjusting	From to read more not with the diagram.	User	
	Proportion	Contributes to an appropriate manipulation.	Handling	Interacts from manual components like pointing, dragging, turning, etc.	User	
			Feedback	Change in the interface that same improvements the navigability and current state of the app.	User/Environment	
			Scrolling	Related to the use of an appropriate tool for the given platform.	User	

\*The executor can be the user or a change in the environment

Table 1 – Actions, Representation and Attributes of the elements.

### 6.2.3. Object/Actions Diagram

The Object/Actions diagram in the model allows you to identify each object participating in the TUI, defining its intrinsic characteristics and the actions it can perform. For each type of object, a stereotype is proposed.

Attributes are defined as a tuple {Name, Value}, previously defined according to section 6.2.2, Table 1 (corresponding to physical objects and digital objects) of this document, which are Weight, Material, Dimensions, Shape, Texture, Color, Size, Position and Proportion. These attributes are the most common ones of an object; they have emerged from the analysis of the definition and materialization of a physical object.

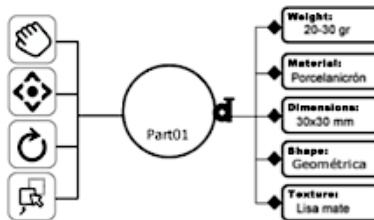


Figure 4 – Object Diagram.

### Example of Object/Actions Diagram

Figure 4 shows a passive object named 0001-C which has five attributes as seen and which can be grabbed, moved, rotated and released. This diagram is a very important tool for designers and electronics, because by defining the attributes and actions one has the basis for thinking, sketching and configuring the objects. In this way, a pre-sketch element is conceived and the one that gives the basis for the requirements and determinants of design. On the other hand, for the electronics it gives elements to think about sensors, actuators, buttons, etc. and to think about the technology that should be included in that definition of the objects.



## 7. Conclusions

A detailed object's characterization of the IA of a TUI leads to the following conclusions:

- The different elements of IA shown here are always present in any TUI, and it corresponds to the particularity of the detail of each interface to deepen in each one.
- The notation of the diagram being similar to UML facilitates learning for professionals who know this language.
- Although its function is clearly oriented towards clarifying the information elements within the TUI, it also contributes to detailing the taxonomy of the TUI before implementation begins.
- It allows clear boundaries to be established between the different disciplines involved in the process of implementing a TUI. It favors the participation of the different roles since it handles a language that is easily adapted to the various areas of knowledge.
- Finally, the Object Diagram allows imagine how is the shape of TUI elements.

## References

- Arhippainen, Leena, and Marika Tähti. 2003. "Empirical Evaluation of User Experience in Two Adaptive Mobile Application Prototypes." *Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* 27–34.
- Baer, Kim, and with contributing writer Jill Vacarra. 2008. *Information Design Workbook: Graphic Approaches, Solutions, and Inspiration + 30 Case Studies*. Rockport.
- Carlsson, Anna Lena. 2010. "The Aesthetic and the Poietic Elements of Information Design." *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation (2004)*:450–54.
- Coates, Kathryn, and Andy Ellison. 2014. "An Introduction to Information Design."
- Conradie, Peter D., Cesar Vandeveld, Jolien De Ville, and Jelle Saldien. 2016. "Prototyping Tangible User Interfaces: Case Study of the Collaboration between Academia and Industry." *International Journal of Engineering Education* 32(2):1–12.
- Cordoba K, Rodriguez, P. Reyes, J. 2017. "Theoretical-Practical Aspects for Development of Tangible User Interfaces -TUI- Aspectos Teórico-Prácticos Para El Desarrollo de Interfaces de Usuario Tangibles -TUI-." in *12 Congreso Colombiano de Computación*.
- Fitzmaurice, G. W., and W. Buxton. 1997. "An Empirical Evaluation of Graspable User Interfaces: Towards Specialized, Space-Multiplexed Input." *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (1):43–50.
- Fitzmaurice, G. W., H. Ishii, and W. a. S. Buxton. 1995. "Bricks: Laying the Foundations for Graspable Systems User Interfaces." *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* 442–449.

- Frascara, J. 2008. *Diseño Para Información, El Diseño de Comunicación*.
- Frazer, J. and Frazer, P. 1980. "Intelligent Physical Three-Dimensional Modelling Systems." *Proceedings of Computer Graphics'80* 359–70.
- García, Roberto, Federico Botella, and Mari-Carmen Marcos. 2010. "Hacia La Arquitectura de La Información 3.0: Pasado, Presente y Futuro." *El Profesional de La Informacion* 19(4):339–47.
- Garrett, Jesse James. 2011. *The Elements of User Experience : User-Centered Design for the Web and Beyond, Second Edition*.
- Harley, Daniel, Jean Ho Chu, Jamie Kwan, and Ali Mazalek. 2016a. "Towards a Framework for Tangible Narratives." *Proceedings of the TEI'16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* 62–69.
- Harley, Daniel, Jean Ho Chu, Jamie Kwan, and Ali Mazalek. 2016b. "Towards a Framework for Tangible Narratives." *Proceedings of the TEI'16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* 62–69.
- Imhanwa, Samuel, Anita Greenhill, and Ali Owrak. 2015. "Relevance of Cloud Computing: A Case for UK Small and Medium Sized Tourism Firms." *GSTF Journal on Computing* 4(3):1–10.
- Ishii, H., and B. Ullmer. 1997. "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms." *In Proc. of CHI'97* 234–41.
- Korhonen, Hannu, Juha Arrasvuori, and Kaisa Väänänen-Vainio-Mattila. 2010. "Let Users Tell the Story: Evaluating User Experience with Experience Reports." *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* 4051–56.
- Lores, Jesus;, and joan Manuel Gimeno. 2002. "Metáforas, Estilos y Paradigmas." *Libro AIPO*.
- Maia, R. F., and A. F. De Castro. 2017. "Tangible User Interface as Input and Output Device." 15(1):154–59.
- Morville, Peter, Louis Rosenfeld, and Jorge Arango. 2015. *Information Architecture*. O'Reilly Media.
- O'Grady, K. 2008. *The Information Design Handbook*.
- Pérez-Montoro, Mario. 2010. "Arquitectura de La Información En Entornos Web." *El Profesional de La Informacion* 19(4):333–37.
- Perlman, Radia. 1976. "Using Computer Technology to Provide a Creative Learning Environment for Preschool Children." *MIT Logo Memo #24*, 1–13.
- Pessoa, Cláudio Roberto Magalhães, Monica Nassif Erichsen, Renata Maria Abranches Baracho, and George Leal Jamil. 2017. *Information Architecture*.
- Resmini, Andrea, and Luca Rosati. 2011. *Designing Cross-Channel User Experiences*. Morgan Kaufmann.

- Roto, Virpi, Effie Law, Arnold Vermeeren, and Jettie Hoonhout. 2010. "User Experience White Paper: Bringing Clarity to the Concept of User Experience." ... *Seminar on Demarcating User Experience* 12.
- Ruzza, Mirko, Barbara Tiozzo, Claudio Mantovani, Fabiano D'Este, and Licia Ravarotto. 2017. "Designing the Information Architecture of a Complex Website: A Strategy Based on News Content and Faceted Classification." *International Journal of Information Management* 37(3):166–76.
- S. Pugh. 1991. *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Prentice Hall.
- Schneider, Bertrand, Jenelle Wallace, Paulo Blikstein, and Roy Pea. 2013. "Preparing for Future Learning with a Tangible User Interface: The Case of Neuroscience." *IEEE Transactions on Learning Technologies* 6(2):117–29.
- Shaer, Orit. 2009a. "Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions." *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction* 3(1–2):1–137.
- Shaer, Orit. 2009b. "Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions." *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction* 3(1–2):1–137.
- Starčić, Andreja Istenić, Mara Čotić, and Matej Zajc. 2013. "Design-Based Research on the Use of a Tangible User Interface for Geometry Teaching in an Inclusive Classroom." *British Journal of Educational Technology* 44(5):729–44.
- Surla, Stacy Merrill. 2008. "An Information Architecture Approach to Building a Much Better Digital Library." *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology* 33(6):41–43.
- Ullmer, B., and H. Ishii. 2001. "Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces." *IBM Systems Journal* 39(3.4):915–31.
- Vermeeren, Arnold P. O. S., Effie Lai-Chong Law, Virpi Roto, Marianna Obrist, Jettie Hoonhout, and Kaisa Väänänen-Vainio-Mattila. 2010. "User Experience Evaluation Methods." *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Extending Boundaries - NordiCHI '10* (January):521.
- Wurman, Richard. 1996. *Information Architects*. edited by P. Bradford.
- Xu, Diana, Janet C. Read, Emanuela Mazzone, and Martin Brown. 2007. "Designing and Testing a Tangible Interface Prototype." *Proceedings of the 6th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '07* 2(1):25.
- Yong, Zhang. 2010. "A Review of the Study on Information Design." 2:1378–80.

# Estudio comparativo de técnicas de minería de datos para develar patrones de desempeño académico en enseñanza media

Diana C. Chamorro-Sangoquiza<sup>1</sup>, Andrés M. Vargas-Muñoz<sup>1</sup>,  
Ana C. Umaquina-Criollo<sup>2</sup>, Miguel A. Becerra<sup>3</sup>, Diego H. Peluffo-Ordóñez<sup>4,5</sup>

**dchamorro@espe.edu.ec, andres.vargas.innovatec@gmail.com, acumaquina@utn.edu.ec,  
miguel.becerra@pascualbravo.edu.co, dpeluffo@yachaytech.edu.ec**

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

<sup>3</sup> Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia.

<sup>4</sup> Universidad Yachay Tech, Ecuador.

<sup>5</sup> Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Pasto, Colombia.

**Pages: 455–468**

**Resumen:** Las técnicas de minería de datos permiten develar conocimiento a partir de grandes volúmenes de información, los cuales han sido poco exploradas en análisis de información de instituciones de educación, pero con una creciente demanda por este sector para apoyar la toma de decisiones. En esta investigación se propone una metodología de comparación de técnicas de minería de datos, aplicado al análisis de patrones académicos en estudiantes de educación media. Múltiples métodos de selección de atributos son aplicados para reducir la dimensionalidad y se comparan tres clasificadores y dos multi-clasificadores. Los experimentos se realizan en una base de datos de 285 instancias y 36 atributos obtenidos de una encuesta educativa aplicada a los alumnos del Tercer Año de Bachillerato de la Unidad Educativa Ibarra 2017-2018. Los mejores resultados de clasificación fueron alcanzados por los multclasificadores Boosted Tree y Bagged Tree con 93.24% de exactitud usando los datos seleccionados con el algoritmo BestFirst.

**Palabras-clave:** patrones de desempeño académico; selección de características; clasificadores; multi-clasificadores; Matlab.

## *Comparative study of data mining techniques to reveal patterns of academic performance in secondary education*

**Abstract:** The data mining techniques allow for unveiling knowledge from large volumes of information, which have recently been explored in information analysis by educational institutions but already with an increasing demand for this sector to support decision-making. In this research, a methodology for comparing data mining techniques is proposed, which is to be applied to the analysis of academic

patrons in students of media education. Multiple methods of selecting attributes are applied to reduce the dimensionality and compare three classifiers and multi-classifiers. The experiments are carried out in a dataset of 285 instances and 36 attributes obtained from an educational survey applied to the students of the School of Education of the University of Barcelona 2017-2018. The best results of classification achieved by the multi-splitter Boosted Tree and Bagged Tree with 93.24% accuracy using the data selected using the BestFirst algorithm.

**Keywords:** academic performance patterns; feature selection; classifiers; multiple classifier; Matlab.

## 1. Introducción

En la actualidad se vive en un mundo digitalizado, lo cual ha generado un explosivo crecimiento en el volumen de datos, que no siempre supone un aumento de conocimiento; como lo sostiene (Fayyad et al., 1996), y en varias áreas de la academia, ciencia y empresa (Alvarado-Pérez et al., 2015) procesar los datos con métodos clásicos resulta ser en muchos casos imposible, sumamente tedioso y con resultados superficiales e insatisfactorios. Esto produce la necesidad de crear metodologías capaces de procesar y transformar los datos en información útil, de manera inteligente, automatizada y con capacidad de tratar datos imperfectos teniendo presente que “es bastante común que las bases de datos tengan del 60% al 90% de problemas de calidad en los datos” (Vesonder & Wright, 2003). Estas técnicas y herramientas son el objeto del campo de Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos – DCBD (Bolaños Ramírez, 2017).

Una de las áreas más sobresalientes en los últimos años es el Aprendizaje Automático (Machine Learning, ML), donde se dispone de diferentes clases de algoritmos de predicción que han servido de soporte al momento de toma de decisiones; desarrollando algoritmos robustos, fiables y no necesariamente con menor coste computacional. Si embargo, no es una tarea fácil encontrar una técnica o algoritmo único capaz de solventar todos los problemas en el ámbito educacional; llevando a tener problemas en la correcta predicción o al incremento en el coste computacional. Por otro lado, existen esfuerzos en la exploración de los datos y minería de datos en el área educativa : “Educational Data Mining llamado por sus siglas (EDM) and Learning Analytics” (R. S. Baker & Inventado, 2014), así como la implementación de soluciones en el área de bigdata a nivel de instituciones de educación superior como proyectos institucionales (Daniel, 2015), mientras que otras investigaciones se enfocan hacia análisis y predicciones de transferencia de aprendizaje (R. S. J. D. Baker et al., 2011; R. S. Baker et al., 2004; Alevén et al., 2006) evidenciándose la importancia y trascendencia de este tipo de investigaciones en beneficio de la enseñanza.

Considerando las áreas de data mining y educación, se evidencia la existencia de 948 artículos de investigación en la base de datos scopus considerando únicamente los años 2019 y 2020, demostrando el interés en éstas áreas, Los estudios abarcan enfoques entre la predicción del rendimiento de estudiantes (Daud et al., 2019), la minería en datos educativos (Aldowah, Al-Samarraie, & Fauzy, 2019), estudios de estrategias de aprendizaje para la extracción de representaciones interpretables (Fincham, Gašević,

Jovanović, & Pardo, 2019), valoración del capital humano (Moreno et al., 2017), uso de Machine learning para predecir las dificultades de los estudiantes (M. Hussain, Zhu, Zhang, Abidi, & Ali, 2019), mapeo sistemático de técnicas y aplicaciones de minería de procesos (García et al., 2019), predicciones de rendimiento académico (Xu, Wang, Peng, & Wu, 2019), clasificación, agrupamiento y asociación en bases de datos educativas (S. Hussain, Atallah, Kamsin, & Hazarika, 2019), uso de aprendizaje supervisado en Facebook y foros en línea para predecir logros en el aprendizaje (Wu, Hsiao, & Nian, 2020), evaluación de desempeño (Varela et al., 2019).

Esta investigación presenta una comparación para develar patrones de desempeño académico en estudiantes de bajo rendimiento. El cual es una base fundamental dentro de las funciones sustantivas de la educación (Londoño et al., 2018). Así, una clasificación bi-clase fue llevada a cabo usando la frontera 7/10 en la nota de los estudiantes. De esta forma se brinda a la institución un respaldo teórico para la acción temprana y preventiva con los estudiantes. La metodología propuesta contiene etapas de pre–procesamiento, métodos de selección de características, reducción de dimensión, algoritmos de clasificación y mezcla de clasificadores, y el uso de medidas de desempeño.

## 2. Metodología

Esta investigación se enmarca en la metodología (ver Figura 1) propuesta por (Hernandez et al., 2004), cuyo proceso es: limpieza y discretización, selección de características, minería de datos, pruebas y validación.

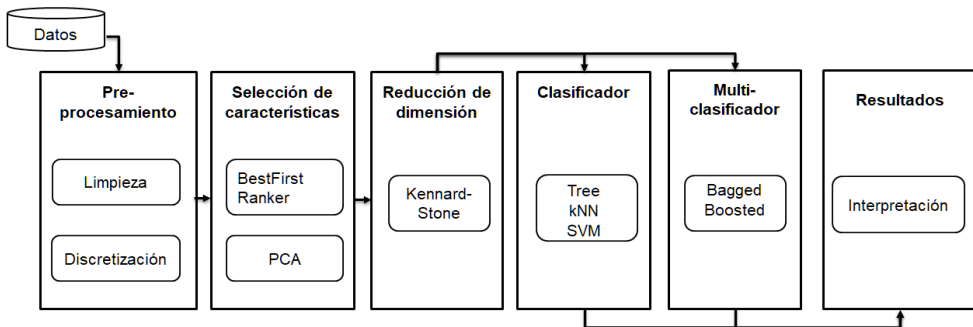


Figura 1 – Metodología propuesta.

### 2.1. Base de datos

En esta investigación se utilizan datos de los alumnos del tercer año de bachillerato de la Unidad Educativa Ibarra (UEI) del periodo 2017 – 2018. La adquisición es realizada mediante una encuesta, la cual se aplica a los alumnos al inicio de cada periodo académico. Esta contiene un total 285 instancias y 36 atributos, los cuales se agruparon en factores: sociodemográficos, económicos, académicos e institucionales detallados en la Tabla 1.

Factores	Sociodemográfica	Económica	Académica	Institucional
<b>Atributos</b>	género edad vive_madre vive_padre vive_otros viven_juntos vive_hermanos relacion_con_padres relacion_entre_padres numero_hermanos	situacion_ economica situacion_ alimenticia condicion_ vivienda servicio_ telefono servicio_internet trabajo_madre trabajo_padre hermanos_ trabajando	aprobo_año_escolar deseo_abandono ritmo_aprendizaje aprendizaje_auditivo aprendizaje_visual aprendizaje_ kinestésico dislexia tipo_de_Bachillerato Nota 1 Materia educacion_madre educacion_padre hermanos_ estudiando horas_dormir revisan_tarea	sentir_colegio relacion_ compañeros peleas_ compañeros

Tabla 1 – Clasificación de atributos en dimensiones.

## 2.2. Preprocesamiento

El preprocesamiento de datos es una etapa esencial del proceso de descubrimiento de información o KDD (Knowledge Discovery in Databases (García et al., 2016). En esta etapa se eliminan datos irrelevantes. También se eliminan los registros repetidos, estudiantes con un mismo patrón de comportamiento académico. Los datos son de naturaleza categórica, por lo cual se realiza un tratamiento numérico ejemplificado en la Tabla 2.

Atributos	Descripción	Valores
genero	Género	Femenino (0), Masculino (1)
edad	Edad del estudiante en el momento de llenar la encuesta	Continuo
vive_madre	Si el estudiante vive con la madre	Si (1), No (0)
viven_juntos	Si sus padres viven juntos	Juntos (1), Separados (2) Con nueva pareja (3), Fallecido (4)
sentir_colegio	Se siente bien estudiando en la UEI	Mucho (0), Poco (1) Quiero cambio de colegio (3)
Nota 1	Nota del primer quimestre	Nota 7 (1), Nota <7 (0)

Tabla 2 – Discretización de atributos.

## 2.3. Selección de características

En primera instancia se describe y comparan los resultados de los diferentes métodos de selección de características aplicados sobre la base de datos. Para obtener las características más significativas, se utilizan tres métodos de Weka (Hall et al., 2009) que generan un subconjunto más pequeño capaz de mantener información relevante.



El procedimiento se lleva a cabo como sigue: *i)* Se usa el evaluador de atributos CfsSubsestEval y el método de búsqueda BestFirst el cual busca en el espacio de subconjuntos de características mediante el algoritmo hill-climbing aumentado una función de retroceso (Selvakuberan et al., 2008). Los resultados se observan en la Tabla 3. *ii)* Se usa el evaluador de atributos *correlacionAttributeEval* y el método de búsqueda Ranker que clasifica las características según sus evaluaciones individuales (Selvakuberan et al., 2008). Los resultados se observan en la Tabla 4. *iii)* Se usa el evaluador de atributos PrincipalComponents (Análisis de Componentes Principales) el cual realiza la transformación de los datos junto con el método de búsqueda Ranker. Los resultados se observan en la Tabla 5, donde se aprecia los conjuntos de atributos seleccionados los cuales están ordenados por relevancia para la clasificación. *iv)* finalmente el algoritmo de Kennard – Stone busca los datos más dispersos dentro de cada clase, aplicando la distancia euclídea para cumplir este objetivo. En esta investigación se usa este método para reducir la dimensión de los datos y para balancear las clases, permitiendo extraer un subconjunto de muestras de mayor representatividad del conjunto de datos original.

No. de atributos	Atributos seleccionados	Mérito
6	Edad, Vive_madre, Viven_juntos, Aprendizaje_auditivo, Dilexia, Materia, Nota	0,602

Tabla 3 – Atributos seleccionados usando el método de búsqueda BestFirst.

Nº	Rank	Descripción	No. Atributo
1	0.59841	materia	36
2	0.14894	perdio_año_escolar	24
3	0.12831	genero	1
4	0.09153	ritmo_aprendizaje	26
5	0.08979	educacion_madre	13
6	0.08719	deseo_abandono	25

Tabla 4 – Atributos seleccionados con el método de búsqueda Ranker y selector de atributos (CorrelationAttributeEval).

Nº	Rank	Descripción
0.8987	1	0.459vive_padre+0.387trabajo_padre-0.369educacion_padre-0.309vive_otros-0.253numero_hermanos
0.8244	2	0.372numero_hermanos-0.342edad+0.332aprobo_año_escolar-0.307hermanos_trabajando+0.251educacion_madre
0.3356	3	-0.474tipo_bachillerato-.372aprendizaje_kinestesico+0.366educacion_madre-0.292situacion_economica+0.29aprendizaje_visual
0.2162	4	0.422genero-0.384aprendizaje_kinestesico+0.375aprendizaje_visual-0.234ritmo_aprendizaje+0.225situacion_economica



Nº	Rank	Descripción
0.1261	5	-0.432situacion_alimenticia-0.395situacion_economica+0.263peleas_compañeros +0.241numero_hermanos-0.222sentir_colegio...
0.076	6	-0.404relacion_con_padres-0.357hermanos_estudiando-0.295numero_hermanos+0.29vive_hermanos-0.265relacion_entre_padres
0.0371	7	-0.373aprendizaje_visual-0.339relacion_companeros+0.317aprendizaje_kinestesico-0.286peleas_compañeros-0.27ritmo_aprendizaje

Tabla 5 – Atributos seleccionados del método de búsqueda Ranker (*Principal Components*).

## 2.4. Técnicas de minería de datos

La minería de datos se encuentra enmarcada dentro del proceso de descubrimiento o extracción de conocimiento (KDD), entendiéndose como tal, *al proceso no trivial de identificación de patrones válidos, novedosos, potencialmente útiles y fundamentalmente entendibles al usuario a partir de los datos* (Fayyad et al., 1996). Con las características seleccionadas por los diferentes métodos detallados en el apartado anterior, se continúa con la fase de clasificación; utilizamos tres clasificadores de aprendizaje automático y dos multi-clasificadores. Se comparan diferentes resultados de los algoritmos usando medidas de desempeño. Para todos los experimentos (ver la sección siguiente), los clasificadores fueron entrenados con 100 iteraciones utilizando el 74% de los datos para entrenamiento y el 26% para pruebas, porcentajes con los cuales se obtuvieron los mejores resultados de clasificación. Todos los experimentos fueron ejecutados en Matlab utilizando la configuración mostrada en la Tabla 6.

Clasificador	Configuración
Método ponderado de vecinos cercanos	10 vecinos más cercanos
Árboles de decisión	Número de ramificaciones 4
Máquinas de vectores de soporte	Polinomio de grado 2
Bagged tree	Número de derivaciones 234
Boosted tree	Número de derivaciones 20

Tabla 6 – Configuración de clasificadores y multi-clasificadores.

**Árboles de decisión.** Su objetivo principal es el aprendizaje inductivo a partir de observaciones y construcciones lógicas. Un árbol de decisión expresa el patrón que existe en un conjunto de datos en una representación similar a un diagrama de flujo que se parece mucho al razonamiento humano (Anón 2017).

**Máquinas de vector soporte.** La teoría de la SVM está basada en la idea de minimización de riesgo estructural (SRM) (Vapnik, 1995). En muchas aplicaciones, las SVM han mostrado tener gran desempeño, más que las máquinas de aprendizaje tradicional como las redes neuronales (Buges, 1998) y han sido introducidas como herramientas poderosas para resolver problemas de clasificación.

**Método ponderado de vecinos cercanos.** El  $k$ -NN se basa en criterios de vecindad (Sancho, 2019). Su principal función es encontrar un grupo  $k$  de objetos de un conjunto de entrenamiento, los cuales son más cercanos a un nuevo objeto de prueba (Wu & Kumar, 2009), permitiendo asignar una etiqueta de la clase más predominante.

**Multi-clasificadores.** Debido a la existencia de señales difíciles de clasificar, se requiere mejorar la exactitud y precisión (Dietterich, 1997), con el fin de mejorar el rendimiento de un clasificador individual se aplica una mezcla de clasificadores. Existen varios estudios que comprueban que la mezcla de clasificadores, denominadas multi-clasificadores, mejoran la precisión en comparación con el rendimiento de cada clasificador de forma individual (Bauer et al., 1999; Breiman, 1996; Dietterich, 2000).

*Multi-clasificador Bagged Tree.* Bagged es un modelo predictivo compuesto por una combinación ponderada de árboles de regresión múltiple, que selecciona un subconjunto aleatorio de predictores para usar en cada división de decisión como en el algoritmo de bosque aleatorio (Segal, 2004).

*Multi-clasificador Boosted Tree.* El multclasificador Boosted, construye iterativamente los clasificadores base, y en cada iteración da mayor importancia a instancias que han sido clasificadas de forma errada. El resultado final de la clasificación se realiza mediante ponderaciones de los clasificadores base, dando mayor pesos a los clasificadores con mayor tasa de acierto. En general, la combinación de árboles de regresión múltiple aumenta el rendimiento predictivo (Segal, 2004).

### 3. Resultados

En la Tabla 7 se observan los resultados del método árboles de decisión, la reducción de características en la base de datos totales, se logra obtener un 100% en porcentaje de *especificidad* con los datos seleccionados con el método Ranker. Sin embargo, la tasa de sensibilidad y porcentaje de clasificación disminuyó al momento de disminuir las características en los tres conjuntos de datos. No obstante, el método *BestFirst* tiene un equilibrio entre especificidad y porcentaje de clasificación.

Algoritmo	Sensibilidad	Especificidad	Clasificación
Árbol_de_decisión_Cjto_todos	<b>99.63</b>	77.03	<b>97.76</b>
Árbol_de_decisión_CfsBestFirst	83.78	97.30	90.54
Árbol_de_decisión_Ranker	73.91	<b>100</b>	86.96
Árbol_de_decisión_PCA	76.36	98.18	87.27

Tabla 7 – Rendimiento del clasificador Árbol de decisión sobre la base de datos, sensibilidad (Se), especificidad (Sp), porcentaje de clasificación (Cp) con 76% de entrenamiento.

En la Figura 2, se observan los diagramas de caja de bigotes luego de interactuar 100 veces, el método árboles de decisión, con los diferentes grupos de datos, todas las características del conjunto de datos original, así como las seleccionadas por los métodos Cfs-BestFirst, Ranker y Componentes Principales (PCA).

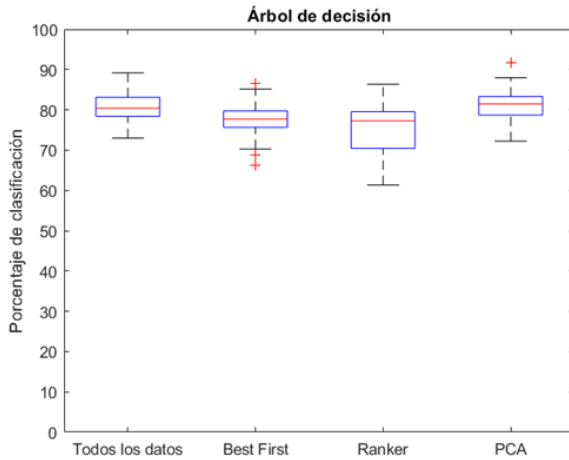


Figura 2 – Árboles de decisión.

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos usando SVM, la reducción del conjunto de características en el conjunto de datos mejora las puntuaciones del porcentaje de sensibilidad llegando a tener 89.19% y en porcentaje de clasificación 93.24 % con las características seleccionadas por el método BestFirst. Sin embargo, la tasa de especificidad disminuyó en los tres conjuntos de datos. En la Figura 3, se observa el resultado con los diferentes grupos, ejecutando el clasificador SVM.

Algoritmo	Se	Sp	Cp
SVM_Cuadrático_Cjto_todos	74.32	<b>98.65</b>	86.49
SVM_Cuadrático_CfsBestFirst	<b>89.19</b>	97.30	<b>93.24</b>
SVM_Cuadrático_Ranker	73.91	95.65	84.78
SVM_Cuadrático_PCA	81.82	98.18	90.00

Tabla 8 – Rendimiento del clasificador SVM cuadrático, sobre la base de datos en términos de sensibilidad (Se), especificidad (Sp) y porcentaje de clasificación (Cp) con un porcentaje de 76% de entrenamiento.

En la Tabla 9 se presentan los resultados del método ponderado de vecinos cercanos donde se puede observar que el mejor porcentaje de especificidad se obtiene con el método de selección de características *PCA* con un porcentaje de 96.36 %. Mientras que el mejor porcentaje de clasificación se tiene con todos los datos, pero hay que tener en cuenta que el porcentaje de especificidad es el más bajo con el 58.11%, esto debido que al trabajar con todos los datos se tiene las clases desbalanceadas. En la Figura 4 se muestran los resultados de desempeño del método ponderado de vecinos cercanos por medio de diagrama de bigotes.

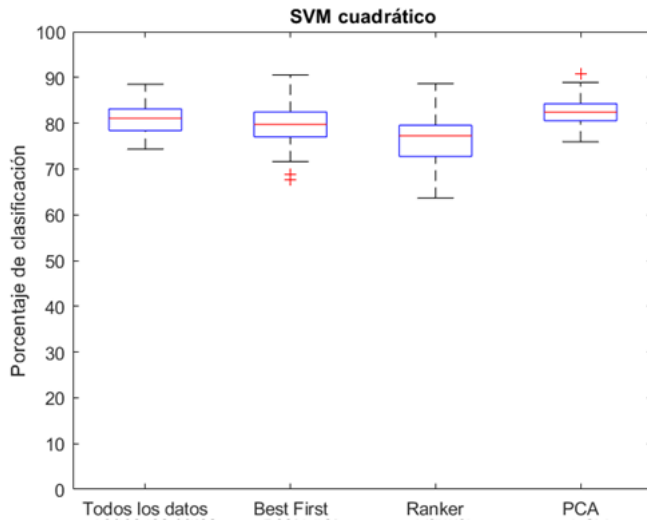


Figura 3 – Máquinas de soporte vectorial.

Algoritmo	Se	Sp	Cp
kNN_Ponderado_todos	<b>100</b>	58.11	<b>96.53</b>
kNN_Ponderado_Cfs-BestFirst	81.08	91.89	86.49
kNN_Ponderado_Ranker	82.61	91.30	86.96
kNN_Ponderado_PCA	60.00	<b>96.36</b>	78.18

Tabla 9 – Rendimiento del clasificador kNN Ponderado sobre la base de datos, en términos de sensibilidad (Se), especificidad (Sp), porcentaje de clasificación (Cp) con un porcentaje de 76% de entrenamiento.

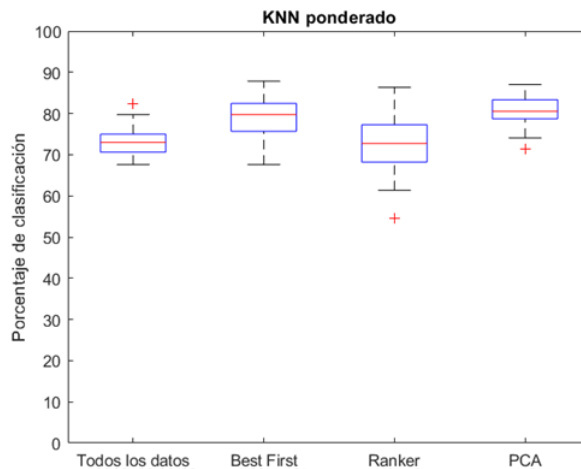


Figura 4 – Método ponderado de vecinos cercanos.

En la Tabla 10 se muestran los resultados del desempeño del algoritmo método Bagged Tree el cual alcanzó un porcentaje de especificidad del 100% con los dos métodos de selección de características *Ranker* y *BestFirst*. Sin embargo, la sensibilidad disminuye en los grupos seleccionados con los diferentes métodos de clasificación, cabe aclarar que el grupo de todos los datos están desbalanceados por lo que al tener el 100% de sensibilidad no sería representativo. En la Figura 5, se puede observar el comportamiento del multi-clasificador bagged tree con los diferentes grupos de características.

Algoritmo	Se	Sp	Cp
Bagged_Tree_todos	<b>100</b>	72.97	<b>97.76</b>
Bagged_Tree_Cfs-BestFirst	86.49	<b>100</b>	93.24
Bagged_Tree_Ranker	78.26	<b>100</b>	89.13
Bagged_Tree_PCA	76.36	98.18	87.27

Tabla 10 – Rendimiento del multi-clasificador Bagged\_Tree en términos de sensibilidad (Se), especificidad (Sp), porcentaje de clasificación (Cp) con un porcentaje de 76% de entrenamiento.

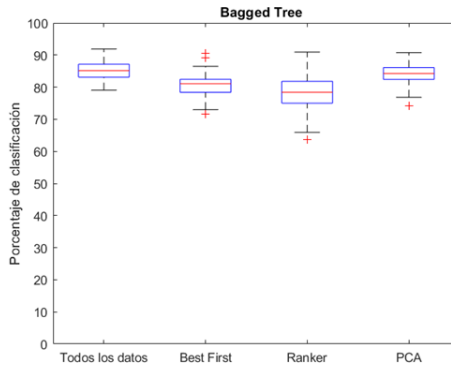


Figura 5 – Método Bagged Tree.

La Tabla 11 muestra el desempeño del método de mezcla de clasificadores *Boosted\_Tree* utilizando los datos seleccionados por el método *BestFirst*, obteniendo una especificidad del 100%, que permite detectar a los alumnos que son propensos a tener un bajo rendimiento. El porcentaje de clasificación con todo el conjunto de datos mejora a un 98.66%, pero reduce la especificidad. La Figura 6, muestra el comportamiento de los datos con el multi-clasificador boosted tree.

Algoritmo	Se	Sp	Cp
Boosted_Tree_todos	<b>99.51</b>	89.19	<b>98.66</b>
Boosted_Tree_Cfs-BestFirst	86.49	<b>100</b>	93.24
Boosted_Tree_Ranker	65.22	86.96	76.09
Boosted_Tree_PCA	76.36	98.18	87.27

Tabla 11 – Rendimiento del multi-clasificador Boosted\_Tree, en términos de sensibilidad (Se), especificidad (Sp), porcentaje de clasificación (Cp) con un porcentaje de 76% de entrenamiento.

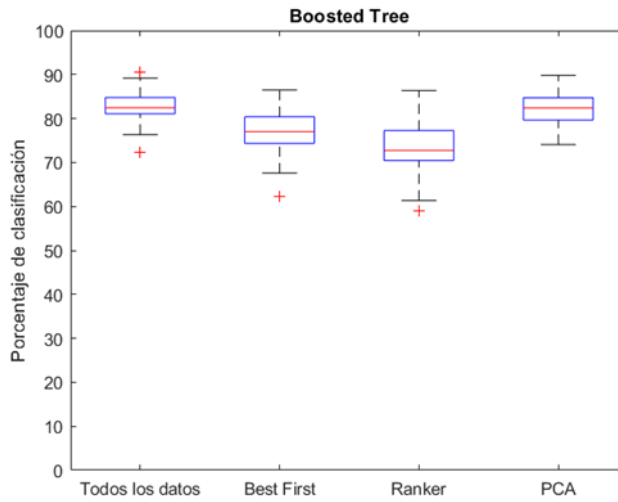


Figura 6 – Método Boosted tree.

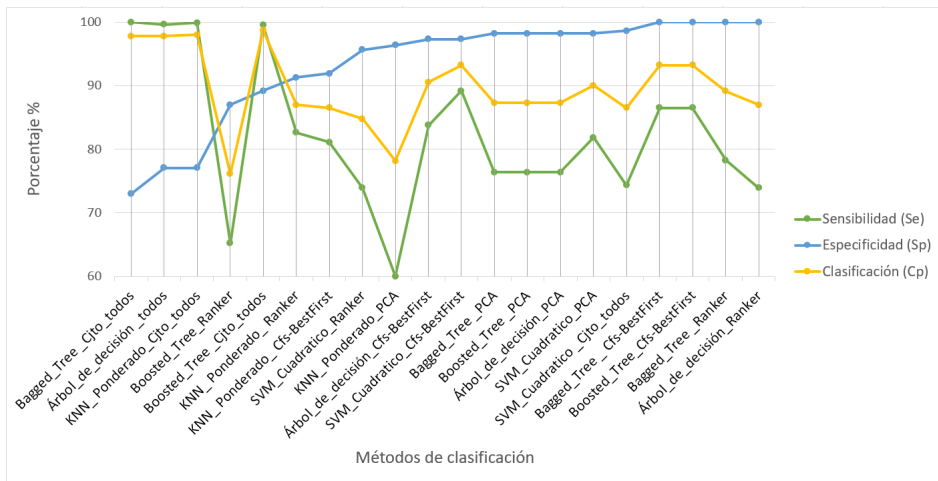


Figura 7 – Medidas de desempeño de los clasificadores y multi-clasificadores sobre la base de datos.

Los mejores resultados se obtuvieron con el uso de los multi-clasificadores Boosted Tree y Bagged Tree, presentando porcentajes de especificidad del 100% y un porcentaje de clasificación del 93.24 % con los datos seleccionados con el metodo de busqueda BestFirst (ver Figura 7).

#### 4. Conclusiones

Luego de culminar la investigación se puede evidenciar que se cumple con el objetivo, el cual es plantear una metodología de comparación de técnicas de minería de datos

capaces de develar patrones académicos, logrando llegar al 100% de especificidad con un 93.24 % de porcentaje de clasificación. Los resultados permiten brindar información respecto a la problemática objetivo.

Dicha información podrá orientar para toma de decisiones y acciones por parte de las autoridades para reducir la cantidad de alumnos con problemas de rendimiento académico. Por otro lado, los resultados obtenidos con los diferentes métodos de clasificación y los multi-clasificadores implementados en esta investigación, indican que son capaces de generar modelos con respaldo teórico, basado en los datos recopilados por el DECE de la UEI.

Como trabajos futuros se plantean dos líneas de investigación, por un lado, lo que se refiere a algoritmos, se planea no solo tener un problema bi-clase, sino poder realizar la predicción con más clases para develar patrones más complejos. Mientras que la segunda línea de trabajo aprendizaje por refuerzo u online permitirá incluir de forma automática actualizaciones permanentes de la información obtenida en cada periodo académico, lo cual permitirá realizar un estudio más detallado (mayor cantidad de atributos y características) y permitirá a las instituciones educativas actuar en función de las necesidades actuales y tomar decisiones más eficientes.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo del grupo de investigación SDAS ([www.sdas-group.com](http://www.sdas-group.com)).

## Referencias

- Aldowah, H., Al-Samarraie, H., & Fauzy, W. M. (2019). Educational data mining and learning analytics for 21st century higher education: A review and synthesis. *Telematics and Informatics*, 37, 13–49. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.01.007>
- Aleven, V., McLaren, B., Roll, I., & Koedinger, K. (2006). Toward Meta-cognitive tutoring: A model of help seeking with a cognitive tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 16(2), 101–128. Scopus.
- Alvarado-Pérez, J. C., Peluffo-Ordóñez, D. H., & Therón-Sánchez, R. (2015). *Bridging the gap between human knowledge and machine learning*. <https://gredos.usal.es/handle/10366/127630>
- Baker, R. S., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Wagner, A. Z. (2004). *Off-task behavior in the cognitive tutor classroom: When students “game the system”*. 383–390. Scopus.
- Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. En *Learning Analytics: From Research to Practice* (pp. 61–75). Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7_4)
- Baker, R. S. J. D., Gowda, S. M., & Corbett, A. T. (2011). Towards predicting future transfer of learning. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6738 LNAI, 23–30. Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9_6)

- Daniel, B. (2015). Big Data and analytics in higher education: Opportunities and challenges. *British Journal of Educational Technology*, 46(5), 904–920. Scopus. <https://doi.org/10.1111/bjet.12230>
- Daud, A., Lytras, M. D., Aljohani, N. R., Abbas, F., Abbasi, R. A., & Alowibdi, J. S. (2019). Predicting student performance using advanced learning analytics. In *26th International World Wide Web Conference 2017, WWW 2017 Companion* (pp. 415–421). International World Wide Web Conferences Steering Committee. <https://doi.org/10.1145/3041021.3054164>
- Dietterich, T. G. (1997). Machine Learning Research: Four Current Directions. *AI Magazine*, 18, 97–136.
- Dietterich, T. G. (2000). An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: Bagging, boosting and ranomization. *Machine Learning*, 40(2), 139–157. <https://doi.org/10.1023/A:1007607513941>
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data. *Communications of the ACM*, 39, 27–34.
- Fincham, E., Gašević, D., Jovanović, J., & Pardo, A. (2019). From Study Tactics to Learning Strategies: An Analytical Method for Extracting Interpretable Representations. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(1), 59–72. <https://doi.org/10.1109/TLT.2018.2823317>
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer Garcia, C. D. S., Meincheim, A., Faria Junior, E. R., Dallagassa, M. R., Sato, D. M. V., Carvalho, D. R., ... Scalabrin, E. E. (2019). Process mining techniques and applications – A systematic mapping study. *Expert Systems with Applications*, 133, 260–295. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.003>
- r, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software: An update. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1), 10–18. <https://doi.org/10.1145/1656274.1656278>
- Hernandez, J., Ferri, C., & Ramírez, M. (2004). “*Introducción a la minería de datos*.”
- Hussain, M., Zhu, W., Zhang, W., Abidi, S. M. R., & Ali, S. (2019). Using machine learning to predict student difficulties from learning session data. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 381–407. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9620-8>
- Hussain, S., Atallah, R., Kamsin, A., & Hazarika, J. (2019). Classification, clustering and association rule mining in educational datasets using data mining tools: A case study. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 765, 196–211. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91192-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91192-2_21)
- Londoño Montoya E. M., Mora González B., Tobón Montoya H., Becerra Botero M. A., Cadavid Juan Sebastian, (2018). Modelo de Capital intelectual para la función de investigación en las universidades colombianas, *Revista Opción*, Vol. 34 (2018), ISSN: 1012-1587



- Moreno-López, G. A., Londoño-Montoya, Erika M, Gómez-Bayona, , Ledy T, Becerra Miguel A. (2017). *Sistema experto difuso para la medición del capital humano en instituciones de educación superior en Colombia, revista espacios*, 38.
- Segal, M. R. (2004). *Machine Learning Benchmarks and Random Forest Regression*. 15.
- Selvakuberan, K., Indradevi, M., & Rajaram, D. R. (2008). *Combined Feature Selection and classification – A novel approach for the categorization of web pages*. 7.
- Vapnik, V. Ñ. (1995). *The nature of statistical learning theory*. Springer-Verlag.
- Varela, N., Montero, E. S., Vásquez, C., Guiliany, J. G., Mercado, C. V, Llinas, N. O., ... Palencia, P. (2019). Student performance assessment using clustering techniques. *Communications in Computer and Information Science*, 1071, 179–188. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9563-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9563-6_19)
- Wu, J.-Y., Hsiao, Y.-C., & Nian, M.-W. (2020). Using supervised machine learning on large-scale online forums to classify course-related Facebook messages in predicting learning achievement within the personal learning environment. *Interactive Learning Environments*, 28(1), 65–80. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1515085>
- Xu, X., Wang, J., Peng, H., & Wu, R. (2019). Prediction of academic performance associated with internet usage behaviors using machine learning algorithms. *Computers in Human Behavior*, 98, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.04.015>

# Open networking programmability for VXLAN Data Centre infrastructures: Ansible and Cumulus Linux feasibility study

Gustavo Salazar-Chacón<sup>1,3</sup>, Edison Naranjo<sup>2</sup>, Luis Marrone<sup>3</sup>

[gsalazar787@puce.edu.ec](mailto:gsalazar787@puce.edu.ec)/[gsalazar@inlea.com](mailto:gsalazar@inlea.com), [efnaranjo@telconet.ec](mailto:efnaranjo@telconet.ec),  
[lmarrone@linti.unlp.edu.ar](mailto:lmarrone@linti.unlp.edu.ar)

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170525, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Telconet, 170143, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Informática, 1900, La Plata, Argentina.

**Pages: 469–482**

**Abstract:** This proof-of-concept paper analyzes the ease of a programmability implementation inside modern VXLAN DC Spine-Leaf infrastructure through Ansible API, acting as controller configuration server, and Cumulus Linux as intermediate device Networking Operating System (NOS), conceiving what is called Open Networking Infrastructure. NetDevOps principles are used to demonstrate the implementation feasibility of this innovative sort of automated and programmatic topologies.

**Keywords:** Ansible; Cumulus-Linux; VXLAN; NetDevOps; open networking.

## 1. Introduction

Topics like VLANs, Spanning-Tree Protocol (STP), routing protocols and WAN Fat-tree Designs are now considered the “The Stone and Bronze Age” of Networking according to (Preston & Sullivan, 2017). Figure 1 shows the Four Ages of Networking in which MPLS is the technology link between the “Bronze Age” towards the “Renaissance Era”. Nowadays, we are trying to evolve from “The Renaissance Age” with SDN to “The Programmable Age” using APIs, and with that, transform the traditional networking to a more scalable, effective, easy to deploy, monitor, secure, standardized, and fully programmable infrastructure (Salazar, Naranjo & Marrone, 2018).

IT Departments have been envisaging a way to move at the pace of business during last decades (Andrade, Salazar & Vintimilla, 2019). The result was the creation of new enterprise culture called DevOps, covering topics like development, execution, automation, security, agility, and proof-of-concepts scenarios before implementing the solution in production infrastructures.

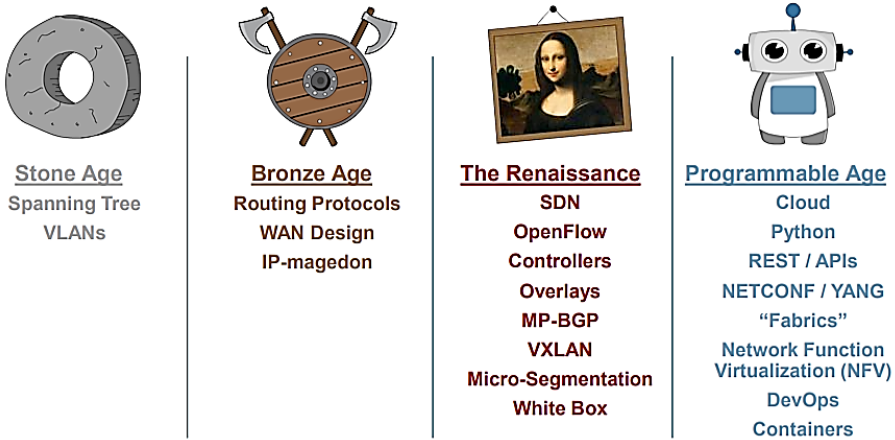


Figure 1 – Four Ages of Networking Evolution (Preston & Sullivan, 2017).

In DevOps model, there are three common practices:

- **Continuous Integration (CI):** Common practice in which developers keep their codes in central and collaborative repository, like Git Repos. Automatic Tests are performed in those environments.
- **Continuous Delivery (CD):** Practice where changes in code are automatically sent to a test environment after the build stage.
- **Infrastructure as Code (IaC):** Practice where the IT infrastructure is provisioned and managed using scripts, as opposed to traditional networking that uses CLI or GUI.

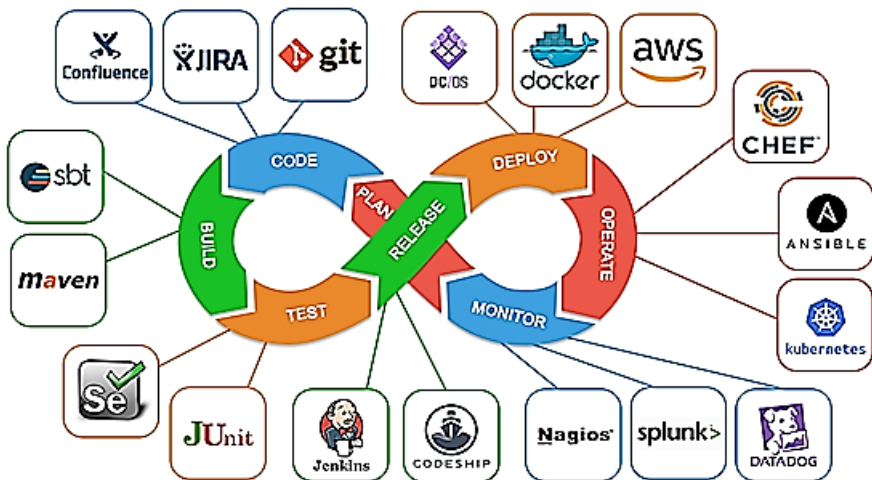


Figure 2 – DevOps Tools (Shah & Dubaria, 2019).

When contemplating data networks, the term NetDevOps appears, which is nothing but the combination of programmability in the infrastructure using appropriate APIs like those shown in Fig. 2. The most used frameworks and NOS for programmability reasons are: Ansible and Cumulus Linux, bringing the Open Networking to the fore.

Modern Data Centers, as mentioned in (Naranjo & Salazar, 2017), employ underlay-overlay paradigms to solve many of their inherent problems. VXLAN is one of the most effective solutions to solve encapsulation and addressing issues, however, it could be overwhelming to deploy.

In this proof-of-concept paper, the authors unite the fundamental concepts of modern networks, like Open Networking using Cumulus Linux, and programmability with Ansible in VXLAN DC spine-leaf topology, implemented in a realistic emulated scenario, with the purpose of verifying their validity and agility.

### 2. Problem statement

Without a doubt, businesses are moving and changing really fast (Salazar, Venegas, Baca, Rodríguez & Marrone, 2018), therefore it is not conceivable to wait days, weeks or even months for branch offices or DC infrastructures to be ready and totally configured. Usually, when there is manual configuration, some discovery, monitor, and error validation steps are needed. Also, the troubleshooting process, in case an error appears, can become long and tedious.

NetDevOps comes into play as the right cultural and technological solution to this sort of large and complex scenarios, closely integrating people, processes, and networking technologies in an automated way.

### 3. Justification and importance

In DC infrastructures, the combination of switching and routing protocols with overlay encapsulation techniques builds the heart of IT topologies, but also could generate multiple points of failure and implementation delays.

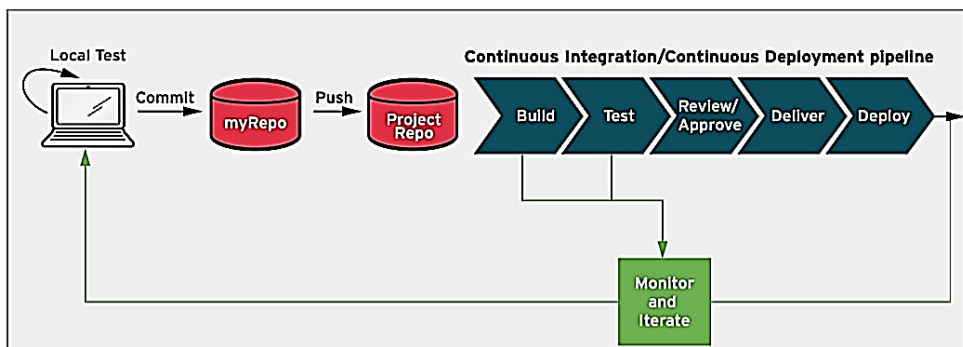


Figure 3 – DevOps NetDevOps Pipeline (Shah & Dubaria, 2019).

NetDevOps brings a new approach to solve and implement networking infrastructures, first, using proof-of-concept scenarios before implementing them; this concept is called the DevOps-NetDevOps CI-CD Pipeline (Fig. 3).

The NetDevOps proposed solution in this investigation involves Ansible. Using its Playbook is possible to define “Build, Test, Approve, Deliver, and Deploy” stages in a local emulated DC infrastructure, and with that, automating all required configuration to implement VXLAN fabric with configuration insights and logs.

#### 4. Theoretical framework

Network automation, part of NetDevOps, is the process of automating the configuration, management, testing, deployment and operations of physical and virtual devices within a network (Benson, Prevost & Rad, 2016).

##### 4.1. Cumulus Linux

Cumulus Linux is a powerful Debian-based open NOS, purpose-built for automation, scalability and flexibility using web-scale principles found in the World’s largest Data Centers and Campus Networks.

According to (Cavanaugh & Lumbis, 2018), Cumulus Linux provides:

- Financial scalability.
- Automation.
- Server tools for switches.

Cumulus Linux Key Networking usage purposes are:

- Ethernet Virtual Private Networks (EVPN).
- Virtual Extensible LAN (VXLAN).
- IP and BGP Unnumbered.
- VMware and OpenStack Integration.

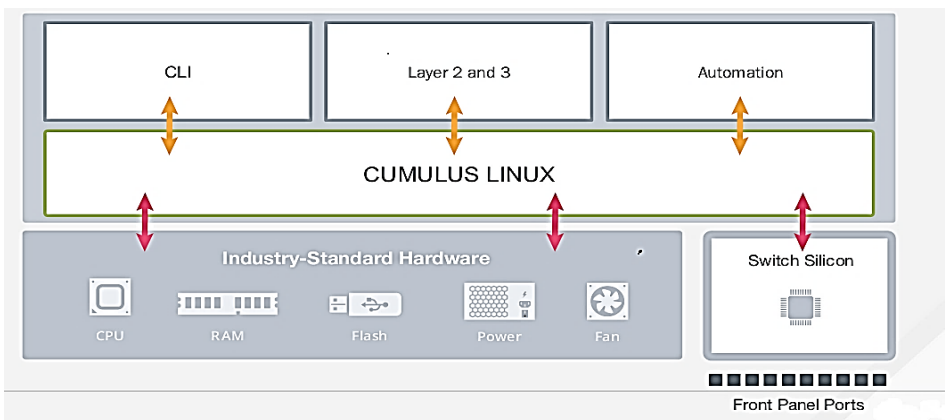


Figure 4 – Cumulus Linux Network OS Architecture (Cumulus, 2019).

## 4.2. Ansible

Ansible is an Open Source platform designed to configure and manage network devices and servers. It combines multi-node installation (deploying server configurations and batch services), ad-hoc task executions and configuration management. Additionally, Ansible is categorized as an orchestration tool in the Server Side (RedHat, 2019).

It manages nodes through SSH connectivity, and does not require any additional remote software to work properly (except for Python 2.4 or later to install it) (Singh, Thakur & Chaurasiya, 2015).

It has modules that work on JSON, and the standard output can be written in any language. It natively uses YAML scripts to describe reusable system configurations.

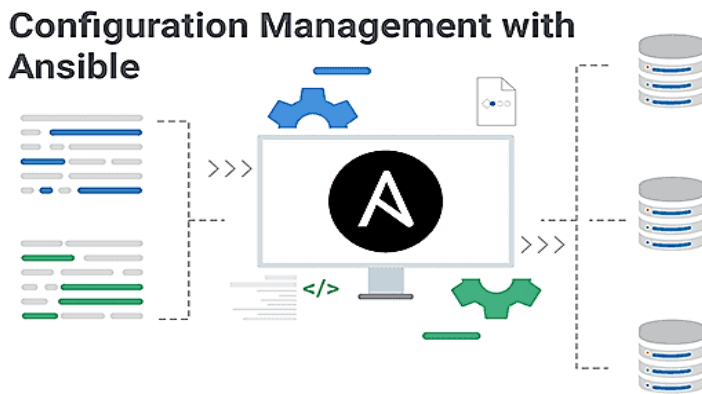


Figure 5 – Centralized Management and Configuration Schema with Ansible.

## 4.3. Cumulus Linux plus ansible environments

To automate a Cumulus-based network using Ansible, it is necessary to build a so-called *Playbook*. The purpose of Ansible Playbook is to translate network configurations inside Ansible programmability operations.

The structure of a Playbook is as follows:

1. Hosts File: Devices on which tasks will be executed.
2. Tasks in Playbook: Cumulus Linux commands to run on network devices.

The Ansible Playbook file extension is `.yaml` and the “`---`” in the beginning of Fig. 6 command box indicates the start of a YAML formatted file.

```

---
- hosts:
- tasks:
    
```

Figure 6 – Ansible Playbook Basic Structure.

## 5. Emulation of network automation with Ansible in modern DC infrastructures

This section indicates the procedure and results obtained when emulating the automation of VXLAN environment as a Data Center infrastructure using Cumulus Linux with Ansible Automation Platform.

### 5.1. Topology

The next topology represents a scheme of VXLAN Lightweight Network Virtualization (LNV) without needing a central controller on a bare metal switch.

This topology includes three Mellanox Spectrum switches (Spine, Leaf-1, and Leaf-2), all running Cumulus Linux. Each Leaf switch has a VLAN configured in the southbound (VLAN10) and L3 interfaces on the Spine.

Creating a logical VXLAN interface on both Leaf switches, enables the switches to operate as VTEPs (Virtual Terminal End Points). The IP address associated with VTEPs is configured with its loopback address; in Fig. 7, the loopback address is 1.1.1.1 for Leaf1, and 3.3.3.3 for Leaf2.

All routing, VXLAN, and interface configurations are executed through Ansible using a Management Server and a Management Network IP address for each device.

For this emulation, the topology shown in Fig. 7 was used.

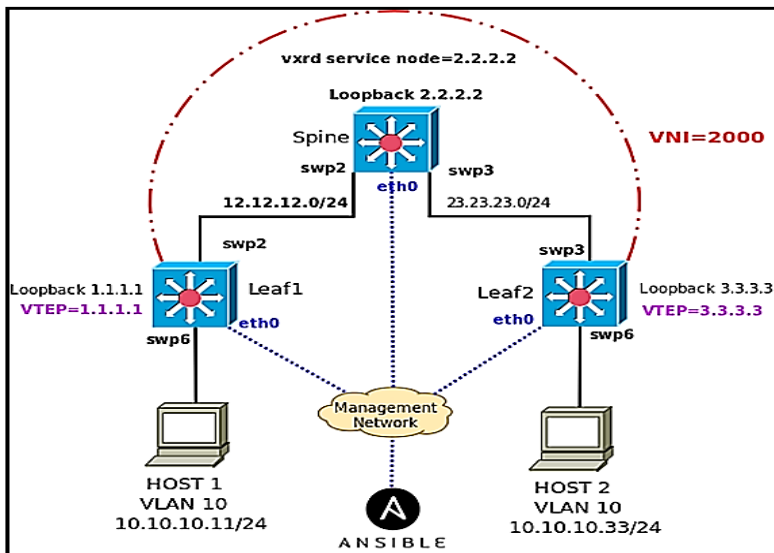


Figure 7 – Proof-of-Concept (PoC) Spine-Leaf Topology.

## 5.2. Addressing table

Role	Name	Management IP	Interface
Spine Switch	Spine	192.168.122.248/24	etho
Leaf Switch	Leaf1	192.168.122.121/24	etho
Leaf Switch	Leaf2	192.168.122.241/24	etho
Management Server	Network Automation Controller	192.168.122.59/24	etho

Table 1 – Management Network. Addressing Table.

## 5.3. Configuring Ansible Hosts and Variables

Ansible uses an Inventory file called “Hosts” to manage and provision devices. In this case, the file includes the three devices with their corresponding Management IP for SSH access. The main group named “*cumulus*” contains the three Multilayer Mellanox Switches with their IP addresses used to the Network Automation Controller and the devices via SSH protocol, as you can see in Fig. 8.

There is also a “*vars*” section which represents the parameters used for the SSH connection, for example the username, password, and private key location.

Inventory file is located in the following Ansible Network Automation Controller path:  
**/etc/ansible**

```
[Spine]
192.168.122.248
[Leaf1]
192.168.122.121
[Leaf2]
192.168.122.241

[cumulus:children]
Spine
Leaf1
Leaf2

[cumulus:vars]
ansible_connection=ssh
ansible_ssh_pass=CumulusLinux!
ansible_user=cumulus
ansible_ssh_key_private_file=/home/cumulus/.ssh/id_rsa
```

Figure 8 – Ansible inventory file.

## 5.4. Creating Ansible playbook with programmatic tasks

The next step is the creation of Ansible Playbook, which is the place to enlist all tasks to be configured automatically on devices:



The tasks to implement a VXLAN infrastructure are:

- Configure Interfaces with their corresponding IP addresses.
- OSPF routing between the nodes (Spine -Leaf) as the Underlay protocol.
- VTEP and service node configuration.
- VLAN assignment.
- VLAN to VXLAN Mapping (L2 Tunnel over L3 Infrastructure).

The Ansible Playbook file is located in the following path: **/etc/ansible/**.

1. Configure Interfaces: Physical and loopback interfaces have IPv4 addresses. For this purpose, the authors used the Cumulus' Network Command Line Utility (NCLU). With NCLU, it is possible to omit the *net* command at the beginning of each line.

```

---
- hosts: Spine
  tasks:
    - name: Configure Interfaces in Spine
      nclu:
        commands:
          - add loopback lo ip address 2.2.2.2/32
          - add interface swp2 ip address 12.12.12.2/24
          - commit
    
```

Figure 9 – Interface Configuration in YAML formatted file using NCLU commands.

As shown in Fig. 9, Cumulus NCLU commands must be followed by commit statement to be applied on the switch.

2. Configure OSPF routing process: Underlay Routing protocol between Spine and Leaves will be OSPF single-area protocol.

```

- hosts: Leaf1
  tasks:
    - name: Configure OSPF in Leaf1
      nclu:
        commands:
          - add ospf router-id 1.1.1.1
          - add loopback lo ospf area 0
          - add interface swp2 ospf area 0
          - add interface swp2 ospf network broadcast
          - commit
    
```

Figure 10 – OSPF Configuration in YAML formatted file using NCLU commands.

3. VTEP Configuration and service node: Service node turns the switch into a VTEP endpoint in VXLAN scenario.

```

- hosts: Spine
  tasks:
    - name: Configure Service Node functionality, along with Anycast IP
      nclu:
        commands:
          - add lnv service-node source 2.2.2.2
          - add lnv service-node anycast-ip 2.2.2.2
          - commit

```

Figure 11 – Service Node Configuration in YAML formatted file.

- Anycast IP: It is an IP address which can be advertised from multiple locations allowing multiple devices to share the same IP address and effectively allocate load balanced traffic.
  - Source node: It is the IP address which represents the Spine loopback interface.
4. Configure VLANs: For this emulation, VLANs are used only in Leaves. In this PoC Scenario it is used VLAN-10 in the VXLAN infrastructure, assigning swp6 ports as an access port in the corresponding VLAN.

```

- hosts: Leaf1
  tasks:
    - name: host VLAN configs
      nclu:
        commands:
          - add vlan 10 ip address 10.10.10.1/24
          - add interface swp6 bridge access 10
          - commit

```

Figure 12 – VLAN Configuration in YAML formatted file using NCLU commands.

```

- hosts: Leaf1
  tasks:
    - name: VLAN to VxLAN Mapping
      nclu:
        commands:
          - add vxlan vni2000 vxlan id 2000
          - add vxlan vni2000 vxlan local-tunnelip 1.1.1.1
          - add vxlan vni2000 vxlan remoteip 3.3.3.3
          - add vxlan vni2000 bridge access 10
          - commit

```

Figure 13 – VLAN to VXLAN mapping in YAML formatted.

5. Configure VLAN to VXLAN Mapping: The following configuration maps VLAN-10 to VXLAN VNID-2000 in Leaves (VTEPS). According to (Naranjo & Salazar, 2017), 2000 corresponds to Virtual Network Identifier (VNID). This allows to connect separated VLAN instances, allowing flexibility and better DC design environments.

## 5.5. Emulation results

Ansible Playbook deployment: To deploy an Ansible Playbook, it is a must to execute the following command in Management Server's terminal:

```
ansible-playbook <file.yml>
```

```

root@NetworkAutomation:~# ansible-playbook /etc/ansible/vxlan.yml

PLAY [Spine]
*****

TASK [Gathering Facts]
*****
ok: [192.168.122.248]

TASK [Configure Interfaces in Spine]
*****
ok: [192.168.122.248]

.
PLAY RECAP
*****
192.168.122.248: ok=6  changed=0  unreachable=0  failed=0

```

Figure 14 – Ansible Playbook deployment and Configuration Insights and Logs.

The last line indicates “**changed=0**” because the automated configuration is identical to the one manually configured in Ansible files. Hence, there is nothing changed, which is a good indication that Ansible Playbook (vxlan.yml) worked as expected and therefore, it is possible to safely add more devices to the automation process.

End-to-End Ping: Connectivity between end hosts as they are in the same L2 VLAN instance.

```

cumulus@Host-2:~$ ping -c4 10.10.10.11
PING 10.10.10.11 (10.10.10.11) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.10.10.33: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.97 ms
64 bytes from 10.10.10.33: icmp_seq=2 ttl=64 time=5.65 ms
64 bytes from 10.10.10.33: icmp_seq=3 ttl=64 time=5.54 ms
64 bytes from 10.10.10.33: icmp_seq=4 ttl=64 time=5.74 ms

--- 10.10.10.11 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 4.976/5.480/5.744/0.304 ms

```

Figure 15 – Connectivity between hosts.

Learned MAC-Address Process: With LNV, the process of MAC-address learning is the same as in traditional L2 switch. When a host sends a packet out its interface, the MAC-address is learned at ingress and the MAC-address table is built simultaneously. If the host has not sent any packet before, and the device's MAC address does not exist in the table, the service node will replicate the packet to all VTEPs (similar to the flooding behavior when destination MAC-address is unknown).

```
cumulus@Leaf2:~$ net show bridge macs
```

VLAN	Master	Interface	MAC	TunnelDest	State	Flags	LastSeen
10	bridge	bridge	0c:21:9b:62:91:06		permanent		00:10:59
10	bridge	swp6	0c:21:9b:80:1a:01				00:00:24
10	bridge	vni2000	0c:21:9b:d1:90:01				00:00:49
untagged		vni2000	00:00:00:00:00:00	1.1.1.1	permanent	self	00:09:24
untagged		vni2000	0c:21:9b:d1:90:01	1.1.1.1		self	00:09:49
untagged	bridge	swp6	0c:21:9b:62:91:06		permanent		00:10:59
untagged	bridge	vni2000	0a:fd:c0:c9:bf:03		permanent		00:10:59

Figure 16 – On Leaf 2: Host-1 MAC learned in VNI 2000 as 1.1.1.1 IP address.

WireShark Captures: Finally, it is possible to verify that the static VXLAN tunnel was built correctly (Leaf2 loopback IP Address: 3.3.3.3).

```
Frame 20: 92 bytes on wire (736 bits), 92 bytes captured (736 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: 0c:21:9b:94:fc:03 (0c:21:9b:94:fc:03), Dst: 0c:21:9b:62:91:03 (0c:21:9b:62:91:03)
Internet Protocol Version 4, Src: 1.1.1.1, Dst: 3.3.3.3
User Datagram Protocol, Src Port: 52192, Dst Port: 4789
Virtual eXtensible Local Area Network
  Flags: 0x0000, VXLAN Network ID (VNI)
  Group Policy ID: 0
  VXLAN Network Identifier (VNI): 2000
  Reserved: 0
Ethernet II, Src: 0c:21:9b:d1:90:01 (0c:21:9b:d1:90:01), Dst: 0c:21:9b:80:1a:01 (0c:21:9b:80:1a:01)
Address Resolution Protocol (request)
```

Figure 17 – Wireshark (PCAP file). Inner and Outer VXLAN encapsulation Capture.

Elapsed Time in Ansible Executions: One of the parameters to determine if Ansible Automation Tool is a good option as Network Programmability controller is the time it takes to carry out the verification, implementation, and delivery of all configuration lines to network devices.

For testing reasons, 10 executions were made, whose response times can be seen in the following image. The time was taken from a zero setting.

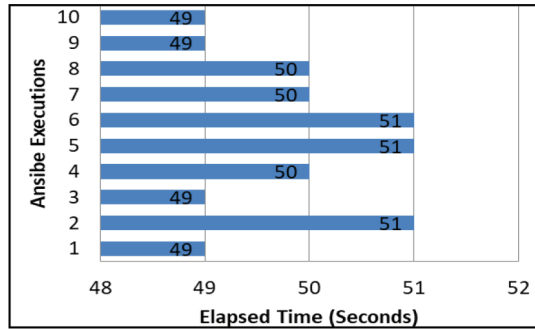


Figure 18 – Ansible Executions – Elapsed time.

According to Fig. 18, the Ansible average execution time for the case proposed in this proof-of-concept paper is 49,9 seconds.

## 6. Related work

As mentioned in Section I and II, technologies continue to evolve fast, and one field that witnessed those changes is networking, especially in DC areas.

Among the most relevant research works are (Yiran, Tongyang & Yidong, 2018), (Benson, Prevost & Rad, 2016) and (Masek, Stusek, Krejci, Zeman, Pokomy & Kudlacek, 2018). All of them describing automation in networking infrastructures as a necessity, as well as analyzed DevOps environments using theoretical definitions and use cases.

Another interesting work is (Salazar, Naranjo & Marrone, 2018). The authors of that investigation established new approaches to increase programmability and automation in ISP infrastructures with Segment Routing, showing that innovation not only happens in Data Centers.

The present investigation not only defines the foundation in DevOps and NetDevOps, but the authors demonstrated the feasibility of its implementation in modern DC Spine-Leaf scenarios.

## 7. Conclusions

This Proof-of-Concept paper addressed the CI-CD pipeline in NetDevOps environments, focusing on programmability features to accelerate the deployment of VXLAN Data Centers infrastructures through Ansible Automation tool as a Network Automation Controller.

The investigation started with the State-of-Art in networking, followed by a conceptual analysis of DevOps and its relationship with NetDevOps; and as final phase, a Proof-of-Concept emulation allowed the researchers to conclude that automation and programmability in every stage of any kind of data communication infrastructures is a must to adequately accompany business evolution.

Modern DCs are experiencing multiple problems at infrastructure levels due to the high demand of users and large amount of traffic that flows through their networks. VXLAN solves many of them, but, on the other hand, VXLAN could be very difficult and cumbersome to implement because of the various protocols involved as its underlay technologies (OSPF, VLAN-VXLAN mapping, among others).

To improve VXLAN implementations at early stages, NetDevOps CI-CD pipeline would increase its feasibility, and effectiveness, limiting the points of failure in configuration phases, which could increase greatly as the size of the network grows. Also troubleshooting in networking will be much easier to conduct.

It is worth to mention that programmability is not only limited to large infrastructures; it can be used regardless of the type of network to be configured, moreover when the execution times are very short compared to the time that a configuration from scratch could take in each device.

## 8. Acknowledgment

This research was partially supported by The Ecuadorian Institution of Higher Education, Science, Technology, and Innovation (SENESCYT in Spanish), as the Institution which collaborate in the Doctoral studies of one of the authors. We thank Cumulus Linux staff, which provided insight and expertise that assisted the proof-of-concept emulations.

## References

- Preston, H., and Sullivan, K. (2017). "Intent Networks: How to be a Network Engineer in a Programmable Age". Cisco DevNet Webinar Series, 2017.
- Salazar Ch., G. D., Naranjo, E. F., & Marrone, L. (2018). SDN-Ready WAN networks: Segment Routing in MPLS-Based Environments. In 2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON) (pp. 173-178). IEEE.
- Andrade-Salinas, G., Salazar-Chacon, G., & Vintimilla, L. M. (2019). Integration of IoT Equipment as Transactional Endorsing Peers over a Hyperledger-Fabric Blockchain Network: Feasibility Study. In International Conference on Applied Technologies (pp. 95-109). Springer, Cham.
- Shah, J., and Dubaria, D. (2019) "DevOps for Networking". The Linux Foundation. ONS Open Networking, San Jose, CA, 2019.
- Naranjo, E. F. and Salazar Ch., G. D. (2017). Underlay and overlay networks: The approach to solve addressing and segmentation problems in the new networking era: VXLAN encapsulation with Cisco and open source networks. In 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM) (pp. 1-6).
- Salazar Ch., G. D., Venegas, C., Baca, M., Rodríguez, I., & Marrone, L. (2018). Open Middleware proposal for IoT focused on Industry 4.0. In 2018 IEEE 2nd Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA) (pp. 1-6). IEEE.

- Benson, J., Prevost, J. and Rad, P. (2016). "Survey of automated software deployment for computational and engineering research". In proc 2016. Annual IEEE Systems Conference (SysCon). Orlando, FL. USA.
- Cavanaugh, S., and Lumbis, P. (2018) "Ansible 101 on Cumulus Linux", Oct. 25, 2018. [Webinar] Available: [https://www.ansible.com/hubfs/2018\\_Content/Ansible%20101%20on%20Cumulus%20Linux%20Webinar%20Slides.pdf](https://www.ansible.com/hubfs/2018_Content/Ansible%20101%20on%20Cumulus%20Linux%20Webinar%20Slides.pdf).
- Cumulus Docs. "LNV Full Example". Accessed July 2019. [Online]. Available: <https://docs.cumulusnetworks.com/cumulus-linux/Network-Virtualization/Lightweight-Network-Virtualization-Overview/LNV-Full-Example/>
- RedHat Ansible Whitepaper. "Continuous Integration and Delivery with Ansible".
- Singh, N., Thakur, S., Chaurasiya, H, and Nagdev, H. (2015). "Automated provisioning of application in IaaS cloud using Ansible configuration management". In proc 2015. 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT). Dehradun, India.
- Salazar Ch., G. D., Venegas, C., & Marrone, L. (2019). MQTT-Based Prototype Rover with Vision-As-A-Service (VAAS) in an IoT Dual-Stack Scenario. In 2019 Sixth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG) (pp. 344-349). IEEE.
- Yiran, W., Tongyang, Z., and Yidong, G. (2018). "Design and Implementation of continuous integration scheme based on Jenkins and Ansible" In proc 2018. International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD).
- Masek, P., Stusek, M., Krejci, J., Zeman, K., Pokorny, J., and Kudlacek, M. (2018). "Unleashing full potencial of Ansible Framework: University Labs Administration". In proc 2018. 20th Conference of Open Innovation Association (FRUCT). Jyvaskyla, Finland.
- Jansen, D. and Krattiger, L. (2017) "Building Data Centers with VXLAN BGP EVPN: A Cisco NX-OS Perspective", 1st ed. San Jose, California: Ed. Cisco Press, April 2017.

# Aprendizaje automático aplicado al análisis del consumo de alcohol y su relación con el estrés percibido

Pablo Torres-Carrión<sup>1</sup>, Jorge González-Escarabay<sup>1</sup>, Víctor López-Guerra<sup>2</sup>, Silvia Vaca<sup>2</sup>

[pvtorres@utpl.edu.ec](mailto:pvtorres@utpl.edu.ec), [jgonzalez2@utpl.edu.ec](mailto:jgonzalez2@utpl.edu.ec), [vmlopez5@utpl.edu.ec](mailto:vmlopez5@utpl.edu.ec), [slvaca@utpl.edu.ec](mailto:slvaca@utpl.edu.ec)

<sup>1</sup> Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, 1101607, Loja, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Psicología, 1101607, Loja, Ecuador.

Pages: 483–495

**Resumen:** El consumo de alcohol es uno de los problemas que afectan a la población universitaria, en particular en su proceso de aprendizaje y su salud mental. Estudios previos realizados por la OMS y varios científicos a nivel global relacionan el consumo de alcohol con el estrés percibido. Las técnicas de aprendizaje automático se están aplicando a diversos ámbitos de las ciencias para establecer análisis desde una óptica complementaria a la estadística convencional, presentando resultados relevantes para el desarrollo de dichas ciencias. En el marco del Proyecto “CEPRA XII-2018-05 Predicción Consumo de Drogas” se obtuvieron 7134 registros limpios, del test Alcohol Use Disorders Identification Test- Self-Report Version (AUDIT-C) y Perceived Stress scale (PSS-10), junto a datos sociodemográficos de estudiantes universitarios ecuatorianos. Usando la metodología de Lanz (2013), se aplicaron los algoritmos k-means y jerárquico, obteniendo tres agrupaciones relacionadas al consumo de alcohol y el estrés, que corroboran la teoría.

**Palabras-clave:** aprendizaje automático; consumo de alcohol; estrés percibido; estudiantes universitarios.

## *Machine Learning applied to the analysis of alcohol consumption and its relationship with perceived stress*

**Abstract:** Alcohol consumption is one of the problems that affect the university population, particularly in their learning process and mental health. Previous studies carried out by the WHO and several scientists worldwide, link alcohol consumption with perceived stress. Machine learning techniques are being applied to various areas of science to establish analyzes from a complementary perspective to conventional statistics, presenting relevant results for the development of these sciences. In the Project “CEPRA XII-2018-05 Prediction of Drug Use”, 7134 clean records were obtained from the Alcohol Use Disorders Identification Test-Self-Report Version (AUDIT-C) and Perceived stress scale (PSS-10), together to sociodemographic data of Ecuadorian university students. Using the Lanz (2013)



methodology, the k-means and hierarchical algorithms were applied, obtaining three groupings related to alcohol consumption and stress, which corroborate the theory.

**Keywords:** alcohol consumption; perceived stress; machine learning; university students.

## 1. Introducción

El consumo de alcohol y drogas es un fenómeno que se ha convertido en un problema sensible dentro de las sociedades; no discrimina en edad, género, clase social ni creencias religiosas. Se estima que el consumo de sustancias en promedio empieza desde los 14 a los 64 años, disminuyendo conforme se crece en edad (United Nations Office on Drugs and Crime, 2019). Este comportamiento acarrea problemas sociales como la violencia, accidentes de tránsito, mendicidad, deserción académica y cometimiento de delitos en general entre los problemas comunes; y problemas sanitarios como la mortalidad (Caudevilla, 2011). El problema del consumo de drogas es tratado con regularidad por los entes gubernamentales y fundaciones sociales, orientados principalmente a jóvenes y adolescentes, a través de campañas informativas y preventivas del uso de drogas. Los insumos de prevención han demostrado no ser eficaces, teniendo en cuenta el incremento del número de personas consumidoras de sustancias. Para las campañas de difusión de publicidad sobre el problema del consumo de drogas, se usan herramientas de marketing, como factor de prevención hacia la sociedad en general (Robertson, Rao, & David, 2004). La difusión es homogénea a toda la población, sin tomar en cuenta características singulares de los diferentes grupos, tales como los factores psicológicos, personales y sociales. Para identificar esta singularidad por grupos, se aplica técnicas de aprendizaje automático, que permiten establecer estrategias específicas acorde a las características de cada grupo, optimizando recursos y haciendo eficiente la difusión.

Este documento es producto del trabajo realizado en el marco del Proyecto CEPRA-XII-2018-05 Predicción de Consumo de Drogas, financiado por CEDIA con el objetivo de obtener información relevante en los ámbitos de socio-demográficos, de salud mental, salud física y aspectos sociales de la población universitaria, y descubrir desde modelos sostenidos en Inteligencia Artificial, características y patrones, que permitan plantear mejores estrategias de prevención y ayuda primaria a estudiantes universitarios (López, Torres-Carrión, Vaca-Gallegos, Reátegui, & Valdiviezo-Díaz, 2019). Las **variables sociodemográficas** se dividen en tres partes, la primera destinada a recoger datos de identificación personal: sexo, edad, nacionalidad, identificación étnica, estado civil, ocupación y horas laborables a la semana. En la segunda parte, reconocer a grupos vulnerables, identificando algún tipo de discapacidad, estudiantes foráneos y nivel socioeconómico; y en tercer lugar variables de salud, como son las horas dedicadas al ocio, calidad de dieta, consumo de psicofármacos y diagnóstico de enfermedades físicas y mentales.

En cuanto a **variables de salud mental asociadas al consumo de sustancias** se mide el estrés psicológico a través del Perceived Stress Scale (PSS-10) desarrollada por Cohen, Kamarck & Mermelstein (1983). Para identificar las **variables psicosociales asociadas al consumo de alcohol** se utiliza la versión autoadministrada del Test

para la Identificación de Trastornos de Consumo de Alcohol (AUDIT-C), originalmente desarrollada por Saunders, Asland, Babor, Fuente, & Grant (1993) y su adaptación Babor, Higgins - Biddle, Saunders & Monteiro (2001). Se propone, desde estas variables, utilizando un análisis basado en agrupaciones, establecer características relevantes que permitan la detección de grupos de riesgo en el consumo problemático y controlado de alcohol.

En el contexto del proyecto, en un primer momento se desarrolla un mapeo sistemático de literatura (Torres-Carrión, Reátegui, Valdiviezo-Díaz, Bustamante-Granda, & Vaca-Gallegos, 2020), en donde se analizaron 227 documentos publicados en las bases de Datos Scopus y WoS. El tema tiene trascendencia científica de alto nivel, debido a que el 70% de los artículos estaban publicados en revistas Q1, y el 23% en Q2. En cuanto a técnicas y métodos de Inteligencia Artificial aplicados, la mayoría correspondía a Aprendizaje Automático (17%), Minería de Datos (6%), Algoritmos de Clasificación (4%), Algoritmos de Predicción (3%) y Procesamiento de Lenguaje Natural (3%). En cuanto al consumo, la mayoría corresponde al Alcohol (14%), Tabaco (7%) y otras sustancias (3%). También se ha corroborado una extensiva cooperación internacional para la investigación en estas áreas del conocimiento, que involucra principalmente a US (59%), China (6,3%) e India (5,2%), pero con relaciones hacia países de todo el mundo.

Aplicando técnicas de agrupamiento, en el marco de este proyecto (CEPRA-XII-2018-05), se ha experimentado con dos grandes grupos, que se complementan: consumidores de tabaco y alcohol (Reátegui et al., 2020) y abstemios (Torres-Carrión et al., 2020). En ambos casos se aplicó el algoritmo *Sparce k-means*, teniendo con datos base todos los once test del estudio. En el caso de los consumidores se obtuvieron tres grupos: el primero representa a estudiantes de bajo consumo de tabaco y alcohol, que no muestran depresión y se siente cómodos con sus vidas; el segundo a estudiantes con bajo consumo, y que muestran señales de depresión, y con problemas pequeños, pero significativos en su vida; el tercero presenta un alto consumo, y problemas de depresión con un tratamiento sujeto a prescripción médica. En el estudio de los abstemios (Torres-Carrión et al., 2020) se obtuvieron dos grupos, en los cuales la satisfacción con la vida, la soledad y la evitación de acción son las variables más representativas que contribuyen a la distribución de los grupos. Hay aún varios experimentos en proceso que junto al que se presenta en este artículo, se irán compartiendo a la comunidad científica.

La aplicación del ML en investigaciones relacionadas al consumo de alcohol y adicciones a otras sustancias, en los últimos dos años se ha direccionado a evidenciar la utilidad de los modelos precisos para detectar períodos de consumo de alcohol de alto riesgo y de ese modo potenciar la efectividad de las intervenciones en salud mental (Afshar, Phillips, Karnik, Mueller, To, Gonzalez, & Dligach, 2019; Bae, Chung, Ferreira, Dey & Suffoletto, 2018; Chen, 2020). Los beneficios potenciales de una identificación más rápida y basada en la evidencia, tiene el potencial de acelerar el reconocimiento de las personas que están en riesgo de un mayor consumo de alcohol o que necesitan tratamiento, y marcar el comienzo de una nueva generación de salud móvil altamente personalizada, contextualizada y dinámica. (Mohr, Zhang, & Schueller, 2017).

Varias investigaciones en el campo de la psicológica han descrito como el inicio, mantenimiento y recaída al consumo de alcohol, se ve influenciado por múltiples factores psicosociales. Uno de ellos es el estrés percibido, que constituye una respuesta

emocional y psicológica que utilizan las personas para hacer frente a las demandas externas e internas en su vida cotidiana (Amarís, Madariaga, Valle y Zambrano, 2013). Esto implica una afectación o tensión en la persona, ocasionada por las circunstancias vitales estresantes, el cual generan cambios a nivel biológico, emocionales y cognitivos que, dependiendo de su grado, obligando a la persona a realizar ajustes a sus actividades como mecanismo para afrontar dichas demandas. El estrés se ha considerado como uno de los principales factores responsables del deterioro de múltiples indicadores de salud y bienestar de las personas (Allen, Balfour, Bell, Marmot, 2014). Desde un enfoque psicosocial, el consumo de alcohol se ha considerado como una estrategia de afrontamiento poco saludable en situaciones estresantes (Keyes, Hatzenbuehler, Grant, & Hasin, 2012), lo que puede provocar agotamiento o depresión, que a su vez agravaría el consumo de alcohol (Ruisoto, Vaca, López-Goñi, Cacho & Fernández-Suárez, 2017; Akerlind & Hörnquist, 1992).

## 2. Metodología

La investigación se realiza en el marco del Proyecto “CEPRA XII-2018-05 Predicción consumo de Drogas”, en el cual participaron investigadores de Universidad Técnica Particular de Loja, Universidad Técnica del Norte y Universidad Politécnica Salesiana, con el financiamiento de la red CEDIA<sup>1</sup>. Para la obtención de los datos se cuenta con la autorización del Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad Técnica Particular de Loja (CEISH UTPL), mediante comunicado UTPL-CEISH-2019-09 del 6 de marzo de 2019. Cada uno de los participantes aceptó un consentimiento informado digital, y recibió retroalimentación de los resultados de cada test, acorde a lo propuesto ante el CEISH UTPL.

### 2.1. Hipótesis

Se cree que el consumo de alcohol está directamente relacionado al estrés percibido por una persona, por lo cual en este artículo se analizará esta premisa de investigación en pos de conocer la posible relación existente entre estas dos variables que están determinadas por los test de AUDIT-C (consumo de alcohol) y PSS-10 (estrés percibido) inmersos dentro de los registros validados en la investigación.

### 2.2. Datos

Test/Questionnaires	Description	Variables
The Alcohol Use Disorders Identification Test- Self-Report Version (AUDIT-C) (Reinert & Allen, 2002)	La escala de 10 ítems fue diseñada para evaluar tres dominios conceptuales: consumo de alcohol (1–3), dependencia (4–6) y consecuencias adversas (7–10).	1 variable que resume este cuestionario.
Perceived stress scale (PSS-10) (Cohen et al., 1983)	Esta prueba mide la percepción del estrés.	1 variable que resume este cuestionario.

<sup>1</sup> CEDIA (Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia) financia anualmente proyectos a través de la convocatoria CEPRA (Concurso Ecuatoriano de Proyectos I+D+i)

Test/Questionnaires	Description	Variables
Variabes socio-demográficas	Variabes del contexto social de la población e estudio.	9 variables
Total de variables	11	

Tabla 1 – Lista de cuestionarios y variables (Reátegui et al., 2020).

Se obtuvieron 7134 registros, que luego de su validación por parte de expertos en Psicología Clínica y de la Salud, se redujeron a 5966 registros. La validación se realizó en cuanto a los tiempos de respuesta obtenidos en la fase de pilotaje, en la cual el tiempo promedio de realización de la misma fue de 22 minutos (SD =  $\pm$  5min). Los usuarios que completaron en tiempo fuera del rango expuesto, se concluye que no hicieron el test a conciencia, y han sido eliminados. Los datos seleccionados para el estudio (ver Tabla1) contienen los test: The Alcohol Use Disorders Identification Test- Self-Report Version (AUDIT-C) (Reinert & Allen, 2002), y Perceived stress scale (PSS-10) (Cohen et al., 1983), además los datos sociodemográficos y académicos. La información fue validada por expertos en Psicología Clínica y de la Salud, haciendo un filtrado pormenorizado desde los más de 11 mil registros obtenidos inicialmente.

### 2.3. Método de ML

La metodología utilizada para la aplicación de Machine Learning es la definida por (Lantz, 2013) donde se establecen pasos necesarios en la aplicación de aprendizaje automático en diferentes ámbitos, en los pasos de la metodología se despliegan en:

1. **Recolección de datos:** Se realiza mediante encuestas físicas realizadas a estudiantes universitarios, dentro de tres universidades ecuatorianas. La información provista hace referencia a 11 diferentes tipos de test los cuales miden diferentes variables, de las cuáles se han seleccionado las dos relacionadas al estudio.
2. **Exploración y preparación de datos:** los datos fueron analizados para determinar los registros válidos, posteriormente se depuraron obteniendo un total de 5996 registros, base para la experimentación. Estos datos fueron modelados en el lenguaje R, donde se obtuvieron los factores resultantes de cada variable sumatoria.
3. **Entrenamiento de un modelo sobre los datos:** En la plataforma R Studio se aplica los algoritmos de agrupamiento *k-means* (Macqueen, 2008) y *clusterización jerárquica*, relacionando de forma específica las variables de consumo de alcohol y estrés percibido. Los datos fueron sometidos a 4 tipos de enlaces en la agrupación, los cuales corresponden a los métodos de (Lesmeister, 2017): *Average*, *Enlace completo*, *Single*, *Ward*.
4. **Evaluación de rendimiento del modelo:** el rendimiento de los modelos detallados en el punto anterior, se evalúan según la cantidad de grupos óptimo por método y el número de observaciones existentes en cada grupo creado.
5. **Mejorar el rendimiento del modelo:** Se realiza mediante el Coeficiente de Correlación de Cophenetic (Farris, 1969; Saraçlı, Doğan, & Doğan, 2013) y Gower (1971) en el agrupamiento jerárquico; y, el Calinski-Harabasz (CH) index (Caliński & Harabasz, 1974) y Simple Structure Index (SSI) (Dimitriadou,

Dolničar, & Weingessel, 2002; Dolnicar et al., 1999) en el agrupamiento K-means. Las cuales definen la calidad en las agrupaciones dentro de las lógicas de agrupamiento para determinar el mejor modelo en base a los datos de consumo y estrés.

## 2.4. Métricas de evaluación de modelos

Se aplica algoritmos de agrupamiento para la generación de modelos (Hartigan, 1975). Las métricas de evaluación para determinar la calidad de las agrupaciones se aplican según el modelo de clúster utilizado. En el método de clusterización jerárquica se utiliza la métrica de similitud entre entidades de un dendrograma, que muestra la relación entre diferentes grupos, mediante la correlación de los puntajes de las entidades en las dimensiones (*correlación cophenetic*), como una medida del grado de ajuste de una clasificación; esta métrica evalúa la variación de las distancias por pares entre los puntos de datos originales no modelados en el dendrograma (Carmichael & Julius, 1968). Y, la distancia Gower, calcula las distancias entre registros cuando se han observado variables de diferente tipo, aplicando una métrica de distancia particular que funciona bien para cada variable y se escala en el rango entre 0 y 1; luego, se calcula una combinación lineal que usa pesos especificados por el usuario para crear la matriz de distancia final (Gower, 1971). Estas dos métricas se complementan para evaluar un clúster jerárquico.

En el método de clusterización por *k-means* se aplica como métrica el índice de Calinski-Harabasz (CH) (Caliński & Harabasz, 1974) que define un método para identificar grupos de puntos en un espacio euclidiano multidimensional, uniendo dos enfoques a las relaciones espaciales entre puntos: métodos aglomerativos y divisivos, asegurando una reducción efectiva del número de posibles divisiones; el método puede aplicarse a una división dicotómica, pero también es perfectamente adecuado para una división global en cualquier número de grupos (Caliński & Harabasz, 1974). También, en la clusterización por K-means se validan las agrupaciones por medio del Índice de Estructura simple (SSI) (Dolnicar et al., 1999), que combina tres elementos que influyen en la interpretabilidad de una solución: a) la diferencia máxima de cada variable entre los grupos, b) los tamaños de grupos más contrastantes, y c) la desviación de una variable en los centros de grupos en comparación con su media general; estos tres elementos se combinan y normalizan multiplicativamente para dar un valor entre 0 y 1 (Dimitriadou et al., 2002). Estas métricas se han seleccionado de forma estratégica, considerando los tipos de datos (categóricos) de las variables principales que se conjugan en la hipótesis en estudio.

## 2.5. Experimentos

Los experimentos están definidos por los métodos de agrupamiento, correspondientes a jerárquicos (M[1..4]) y k-means (M[5..8]). Sobre el modelo óptimo se implementan los datos de consumo de alcohol y estrés percibido, para denotar las características que los grupos presentan según su segmentación.

## 3. Resultados

Los escenarios para la ejecución de los experimentos por cada lógica de agrupación son homogéneos según cada lógica de agrupamiento, teniendo como únicos valores cambiantes los enlaces que trabajan según su percepción.

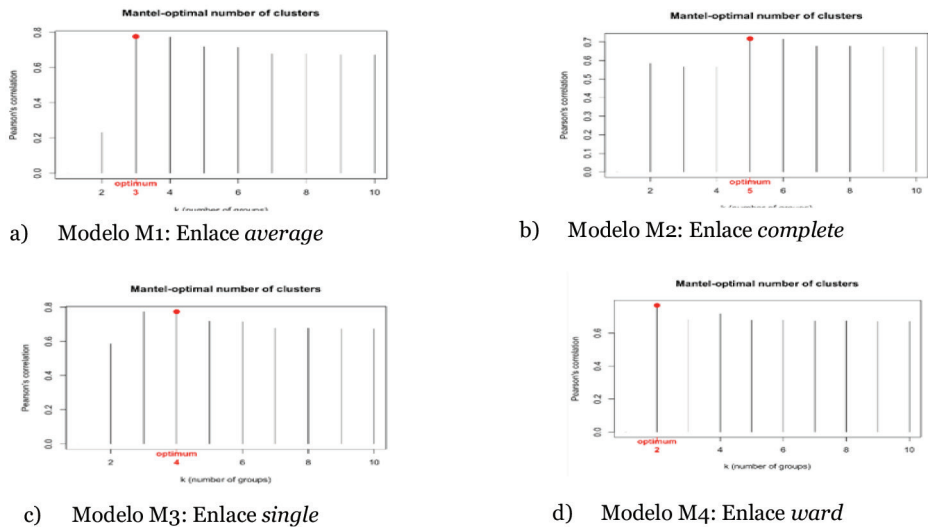


Figura 1 – Número óptimo de agrupaciones en clusterización jerárquica.

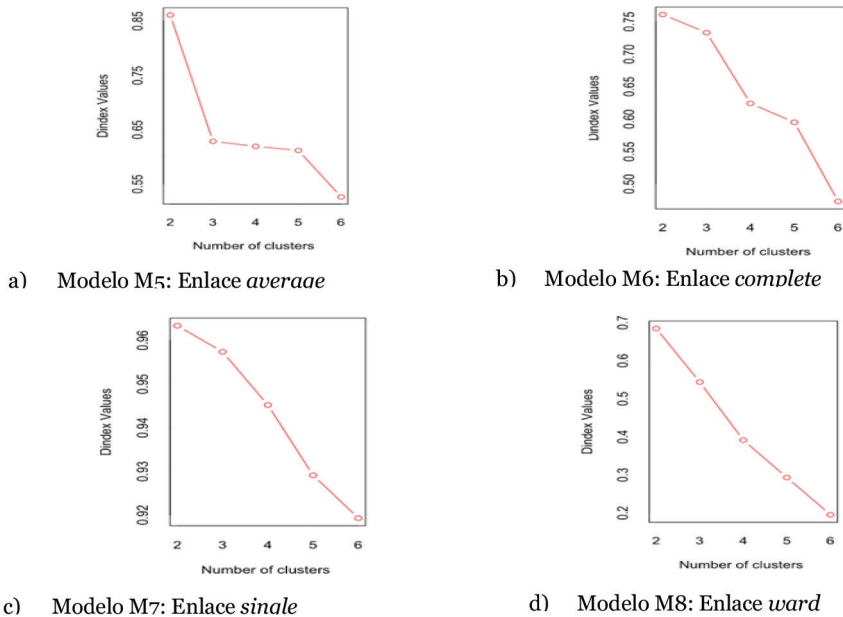


Figura 2 – Número óptimo de agrupaciones en clusterización k-means.

El número óptimo de agrupaciones en la clusterización jerárquica está definido por el valor más alto (M1, M2, M3, M4). Mientras, en el agrupamiento por K-means en número óptimo de conglomerados está definido por el codo que se forma en la imagen que denota

el número de segmentaciones óptimas por experimento (M5, M6, M7, M8), según se indica en la figura 2:

Una vez establecidas las agrupaciones óptimas, se aplica las métricas de calidad seleccionadas por las lógicas de agrupación correspondientes a la correlación Cophenetic y distancia Gower en el caso de clusterización jerárquica, y las métricas de índice de Calinski & Harabasz (CH) e índice de estructura simple (SSI) en la agrupación por K-means:

Método	Modelo	Enlace	Agrupamiento óptimo	Métricas			
				CH	Cophenetic	Gower	SSI
<b>Hierarchical clustering</b>	M1	Average	<b>3</b>	-	<b>0.853</b>	<b>202040</b>	-
	M2	Complete	5	-	0.771	1614853	-
	M3	Single	4	-	0.696	874087	-
	M4	Ward	2	-	0.813	<b>6.9</b>	-
<b>K-means</b>	M5	Average	<b>3</b>	<b>3861.3</b>	-	-	<b>1.19</b>
	M6	Complete	2	4388.9	-	-	0.9
	M7	Single	5	117.3	-	-	<b>1.63</b>
	M8	Ward	6	<b>8268.6</b>	-	-	1.16

Tabla 2 – Resultados con métricas de agrupación.

El escenario con mejores características de tipo jerárquico corresponde al experimento **M1** que establece un enlace de tipo *average* y clasifica tres grupos de análisis. En cuanto a *k-means*, en análisis conjuntos del *índice CH* y *SSI*, el modelo resultante del experimento **M5** es el más óptimo, con 3 agrupaciones y *average* como valor de enlace. La distribución de la muestra en los grupos de consumo se distribuye según se expone en tabla 3.

Método	Modelo	Distribución	Histograma																				
<b>Hierarchical clustering</b>	M1	<table border="1"> <tr> <td>comp3</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3507</td> <td>1665</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>378</td> <td>361</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>85</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>	comp3	1	2	3	4	1	3507	1665	0	0	2	0	0	378	361	3	85	0	0	0	
		comp3	1	2	3	4																	
1	3507	1665	0	0																			
2	0	0	378	361																			
3	85	0	0	0																			
<b>K-means</b>	M5	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>378</td> <td>361</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1015</td> <td>620</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2577</td> <td>1045</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>		1	2	3	4	1	0	0	378	361	2	1015	620	0	0	3	2577	1045	0	0	
			1	2	3	4																	
1	0	0	378	361																			
2	1015	620	0	0																			
3	2577	1045	0	0																			

Tabla 3 – Distribución de las muestras por experimento (M1 y M5).



En la columna de distribución de la tabla 3, se muestran dos tablas, que están definidas por el número de agrupaciones creadas (filas) y la cantidad de la muestra definida por cada cuartil de consumo establecido (columnas). Analizando este parámetro, el experimento que **presenta mejores características para la agrupación es el modelo M5**, que usaremos como insumo para el análisis, explotación y producción de resultados. En la figura 3 se detalla las características de estas agrupaciones.

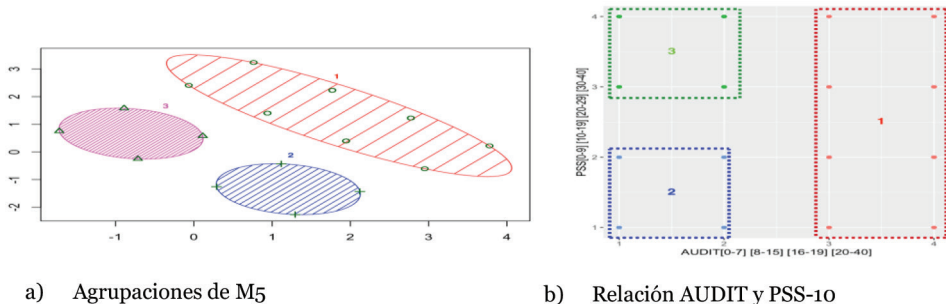


Figura 3 – Características de clúster obtenidos con M5.

Los tres clústeres tienen en contexto general las siguientes características:

- Clúster 1 (**consumo alto de alcohol - estrés**): alto grado de consumo de alcohol, determinados como consumo de riesgo y dependencia (percentil 3 y 4 AUDIT) y un variado nivel de estrés (percentiles 1, 2, 3 y 4 PSS).
- Clúster 2 (**consumo leve y moderado de alcohol- estrés moderado**): bajo y medio consumo de alcohol (percentil 1 y 2 AUDIT) y un bajo y medio nivel de estrés (percentil 1 y 2 PSS).
- Clúster 3 (**consumo leve y moderado de alcohol-estrés alto**): bajo y medio consumo de alcohol (percentil 1 y 2 AUDIT) y un alto y medio estrés percibido (percentiles 3 y 4 PSS).

En un análisis general de los grupos, no se ha encontrado diferencia significativa en cuanto a edad ( $e = 21,5$  años), estado civil (soltero = 94,25%, unión de hecho=4,82, divorciado=0,82%, viudo=0,12%), etnia (mestizo=88,94%, indígena = 5,48%, afrodescendiente=1,93%, blanco=1,41), con quien vive (solo=14,8%, con alguien 85,2%), foráneos (si=31,11%, no=68,89%), duelo reciente (si=12,49%, no= 87,51%), nivel socioeconómico (bajo=4,86%, medio bajo=31,75%, medio=52,62%, medio alto=9,36%, alto=1,40%). En estas variables la desviación estándar entre los indicadores de variable, y los promedios por clúster no han sido significativas para este estudio, teniendo en cuenta que la edad promedio corresponde a estudiantes universitarios en edad joven, que su entorno socio - cultural es bastante similar en las diversas regiones del Ecuador y que las Universidades que participan de este estudio disponen del servicio de atención para el bienestar universitario. Variables que resultan relevantes en cuanto a la conformación de los clústeres:



Sexo	Víctima de violencia	Ansiedad / Depresión	Modalidad de Estudio
<b>Media</b>			
Hombre	58,92%	Si 6,53%	Si 16,06%
Mujer	41,08%	No 93,47%	No 83,94%
			No definido 5,23%
<b>Clúster 1 (consumo alto de alcohol – estrés)</b>			
Hombre	99,8%	<b>Si 12,72%</b>	<b>Si 19,11%</b>
<b>Mujer</b>	<b>0,20%</b>	No 87,28%	No 80,89%
			<b>Distancia 5,12%</b>
			No definido 4,58%
<b>Clúster 2 (consumo leve y moderado de alcohol- estrés moderado)</b>			
Hombre	30,91%	Si 9,30%	<b>Si 59,81%</b>
<b>Mujer</b>	<b>69,09%</b>	No 90,70%	No 40,19%
			<b>Distancia 3,85%</b>
			No definido 5,25%
<b>Clúster 3 (consumo leve y moderado de alcohol-estrés alto)</b>			
Hombre	66,56%	Si 4,01%	<b>Si 7,82%</b>
<b>Mujer</b>	<b>33,44%</b>	No 95,99%	No 92,18%
			<b>Distancia 0,93%</b>
			No definido 5,61%

Tabla 4 – Variables relevantes en la configuración de los clústeres.

Una de las variables más relevantes para explicar la relación entre consumidores de alcohol y el estrés percibido y se somete a análisis es la referente a haber sido víctima de violencia, que en el clúster de consumidores (C1), el 12,72% contesta afirmativamente. Este resultado se contrasta con los datos históricos sobre el maltrato y víctimas de violencia, que en nuestro ámbito cultural son en su mayoría mujeres.

Es interesante la presencia de la variable de ansiedad/depresión, visiblemente alta en el grupo de consumo leve y moderado de alcohol con un estrés moderado, podría convertirse por sí sola en un indicador de alerta.

#### 4. Conclusiones

El consumo problemático de alcohol es un desafío global en la salud pública, por lo tanto, se deben implementar nuevas intervenciones basadas en la evidencia científica. Este es el primer estudio en Ecuador que explora el nivel de consumo de alcohol en estudiantes universitarios y utiliza la inteligencia artificial para la generación de modelos predictivos, aportando información útil sobre variables asociadas a los diferentes niveles de consumo y estrés.

Los estudiantes universitarios masculinos informaron tasas significativamente más altas de consumo problemático de alcohol que las mujeres. Para los estudiantes varones, el consumo problemático de alcohol (percentil 3 y 4 Audit) estaba relacionado con la presencia de estrés en sus diferentes niveles. Otros estudios realizados en Ecuador en

el ámbito Universitario, encontraron resultados similares, así Ruisoto, Vaca, López-Goñi, Cacho, & Fernández-Suárez, (2017) encontraron un consumo problemático de alcohol significativamente mayor ( $\chi^2 = 15.6$ ; d.f. = 2,  $p < .001$ ) en hombres (19.1%) que en mujeres (6.8%) y que el estrés está asociado con el consumo problemático de alcohol.

El segundo clúster muestra la presencia leve y moderado de alcohol en grupos de mujeres con niveles de estrés alto, estos hallazgos apoyan empíricamente que el consumo de alcohol se asocia con la percepción del estrés o las dificultades para lidiar con situaciones aversivas.

Este es un estudio transversal basado en autoinformes en tres universidades del Ecuador. Por lo tanto, los resultados pueden ser diferentes en otros países o universidades. Sin embargo, tiene la fuerza de que es un estudio empírico de campo. Recomendamos encarecidamente que los estudios futuros completen estos datos con más universidades en el Ecuador y Latinoamérica principalmente. También se recomienda estudiar el efecto moderador o mediador del estrés percibidos sobre la relación entre el alcohol y otros factores psicosociales como la inflexibilidad psicológica, depresión, sentimientos de soledad.

## Referencias

- Akerlind I & Hörnquist JO. (1992). Loneliness and alcohol abuse: a review of evidences of an interplay. *Social Science & Medicine*, 34(4), 405-415. Doi: 10.1016/0277-9536(92)90300-F
- Allen, J., Balfour, R., Bell, R., & Marmot, M. (2014). *Social determinants of mental health*. International review of psychiatry, 26(4), 392-407.
- Amarís, M., Madariaga, C., Valle, M., & Zambrano, J. (2013). Estrategias de afrontamiento individual y familiar frente a situaciones de estrés psicológico. *Psicología desde el Caribe*, 30 (1), 123-145.
- Bae, S., Chung, T., Ferreira, D., Dey, A. K., & Suffoletto, B. (2018). *Mobile phone sensors and supervised machine learning to identify alcohol use events in young adults: Implications for just-in-time adaptive interventions*. Addictive behaviors, 83, 42-47.
- Babor, T. F., Higgins-Biddle, J. C., Saunders, J. B., & Monteiro, M. G. (2001). *AUDIT: The alcohol use disorders identification test: Guidelines for use in primary health care*. Geneva: World Health Organization.
- Calíński, T., & Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics*, 3(1), 1-27. <https://doi.org/10.1080/03610927408827101>
- Carmichael, J. W., & Julius, R. S. (1968). Finding natural clusters. *Systematic Biology*, 17(2), 144-150.
- Caudevilla, F. (2011). *Drogas : conceptos generales , epidemiología y valoración del consumo*. Recuperado de <http://www.comsegovia.com/pdf/cursos/tallerdrogas/Curso%20Drogodependencias/Drogas,%20conceptos%20generales,%20epidemiologia%20y%20valoracion%20del%20consumo.pdf>

- Chen, C. (2020). Ensemble Machine Learning Model for Liver Disorder Prediction. *Investigación Clínica*, 61(1).
- Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 385–396.
- De Medina RB, Echeburua E, Aizpiri J. (2008) Gender differences in alcohol dependence: Personality, variables, psychopathological profile and personality disorders. *Psicothema*, 20 (2), 218-223.
- Dimitriadou, E., Dolničar, S., & Weingessel, A. (2002). An examination of indexes for determining the number of clusters in binary data sets. *Psychometrika*, 67(1), 137–160. <https://doi.org/10.1007/BF02294713>
- Dolnicar, S., Grabler, K., Mazanec, J. A., Woodside, A. G., Crouch, G. I., & Oppermann, M. (1999). *A tale of three cities: Perceptual charting for analyzing destination images*. Vienna University of Economics and Business Administration.
- Farris, J. S. (1969). On the cophenetic correlation coefficient. *Systematic Zoology*, 18(3), 279–285.
- Fernández-Montalvo J, Echeburúa E. (2001) *El consumo excesivo de alcohol: un reto para la salud laboral*. *Salud y Drogas*, 1 (1), 17-39.
- Gower, J. . (1971). A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. *Biometrics* 27(4), 857–871.
- Hartigan, J. A. (1975). *Clustering algorithms*. John Wiley & Sons, Inc.
- Keyes, K. M., Hatzenbuehler, M. L., Grant, B. F., & Hasin, D. S. (2012). Stress and alcohol: epidemiologic evidence. *Alcohol Research: Current Reviews* , 34 (4), 391-400)
- Lai, N.-H., Shen, W.-C., Lee, C.-N., Chang, J.-C., Hsu, M.-C., Kuo, L.-N., ... Chen, H.-Y. (2020). Comparison of the predictive outcomes for anti-tuberculosis drug-induced hepatotoxicity by different machine learning techniques. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 188. Doi: 10.1016/j.cmpb.2019.105307
- Lantz, B. (2013). *Machine Learning with R*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Lesmeister, C. (2017). *Machine Learning with R* (Second Edi). Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- López, V., Torres-Carrión, P., Vaca-Gallegos, S., Reátegui, R., & Valdiviezo-Díaz, P. (2019). *Informe de resultados del proyecto “Técnicas de procesamiento automático aplicadas al análisis y predicción del consumo de drogas.”* (EdiLoja Cia Ltda., Ed.). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Macqueen, J. (2008). *Some methods for classification and analysis of multivariate observations*. Recuperado de <https://www.cs.cmu.edu/~bhiksha/courses/mlsp.fall2010/class14/macqueen.pdf>
- Mansour, A. M. (2018). Decision tree-based expert system for adverse drug reaction detection using fuzzy logic and genetic algorithm. *International Journal of Advanced Computer Research*, 8(36), 110–128. <https://doi.org/10.19101/IJACR.2018.836007>

- Marmot, M. (2012). Health equity: the challenge. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 36(6), 513-514. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1753-6405.2012.00948.x>
- Reátegui, R., Torres-Carrión, P. V., López, V., Galárraga, A., Grondona, G., & López Nuñez, C. (2020). Cluster analysis base on psychosocial information for alcohol, tobacco and other drugs consumers. *Communications in Computer and Information Science*, 1195.
- Reinert, D. F., & Allen, J. P. (2002). The alcohol use disorders identification test (AUDIT): a review of recent research. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 26(2), 272-279.
- Robertson, E., Rao, S., & David, S. (2004). *Cómo Prevenir el Uso de Drogas* (2nd ed.). Bethesda, Maryland.
- Ruisoto, P., Vaca, S. L., López-Goñi, J. J., Cacho, R., & Fernández-Suárez, I. (2017). Gender differences in problematic alcohol consumption in university professors. *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 1069.
- Saraçlı, S., Doğan, N., & Doğan, İ. (2013). Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation. *Journal of Inequalities and Applications*, 2013(1), 203.
- Saunders, J. B., Aasland, O. G., Babor, T. F., De la Fuente, J. R., & Grant, M. (1993). Development of the alcohol use disorders identification test (AUDIT): WHO collaborative project on early detection of persons with harmful alcohol consumption-II. *Addiction*, 88(6), 791-804.
- Torres-Carrión, P. V., Reátegui, R., Bustamante-Granda, B., Gordón, J., Boada, M. J., & Ruisoto, P. (2020). Cluster analysis for abstemious characterization base on psychosocial information. *Communications in Computer and Information Science*, 1194, 184-193.
- Torres-Carrión, P. V., Reátegui, R., Valdiviezo-Díaz, P., Bustamante-Granda, B., & Vaca-Gallegos, S. (2020). Application of techniques based on Artificial Intelligence for predicting the consumption of drugs and substances. A Systematic Mapping Review. *Communications in Computer and Information Science*.1194,39-52
- United Nations Office on Drugs and Crime. (2019). *World Drug Report*. Vienna, Austria. Retrieved from [https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR19\\_Booklet\\_1\\_EXECUTIVE\\_SUMMARY.pdf](https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR19_Booklet_1_EXECUTIVE_SUMMARY.pdf)
- Vassileva, J. (2018). Machine-learning identifies substance-specific behavioral markers for opiate and stimulant dependence. *Cognitive Neuropsychology of HIV and Drug Abuse*, (February 2016). <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2016.02.008>

# Propuesta de una Arquitectura de IoT para la gestión administrativa de un campus universitario

William Villegas-Ch<sup>1</sup>, Xavier Palacios-Pacheco<sup>2</sup>

[william.villegas@udla.edu.ec](mailto:william.villegas@udla.edu.ec), [xpalacio@uide.edu.ec](mailto:xpalacio@uide.edu.ec)

<sup>1</sup> Universidad de Las Américas, 170523, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Internacional del Ecuador, 170411, Quito, Ecuador.

**Pages:** 496–508

**Resumen:** En la actualidad, la tecnología se ha convertido en parte de nosotros, esto se debe en gran medida a la integración de nuevas tecnologías como el Internet de las cosas, la computación en la nube y el big data. Esta integración permite mejorar la vida y la comodidad de las personas, a través, de dispositivos inteligentes que interactúan con las personas o con el entorno. Al acoplar estas tecnologías a las necesidades de las organizaciones se resuelven problemas comunes, como la falta de efectividad en los procesos administrativos o tecnológicos. Las universidades, al igual que las organizaciones dependen de la gestión de varios procesos administrativos que se encargan del manejo de sus recursos. Este trabajo busca establecer una arquitectura que integre al Internet de las cosas con la infraestructura tecnológica de un campus universitario para mejorar la gestión administrativa por medio de dispositivos como sensores y actuadores.

**Palabras-clave:** internet de las cosas; campus universitario; tecnologías emergentes.

## *Proposal for an IoT Architecture for the Administrative Management of a University Campus*

**Abstract:** Today, technology has become part of us, this is largely due to the integration of new technologies such as the Internet of Things, cloud computing and big data. This integration allows to improve the life and comfort of people, through smart devices that interact with people or the environment. By coupling these technologies to the needs of organizations, common problems are solved, such as the lack of effectiveness in administrative or technological processes. Universities, like organizations, depend on the management of various administrative processes that are responsible for managing their resources. This work seeks to establish an architecture that integrates the Internet of Things with the technological infrastructure of a university campus to improve administrative management through devices such as sensors and actuators.

**Keywords:** internet of things; university campus; emerging technologies.

## 1. Introducción

El internet de las cosas (IoT) es una tecnología emergente que ha tomado fuerza al mejorar la calidad de vida de las personas. El IoT hace uso de dispositivos como sensores y actuadores que se encargan de medir variables y controlar los entornos. En la actualidad, los dispositivos de IoT son parte del desarrollo de la sociedad, pues, las personas interactúan con estos dispositivos para ejecutar diferentes acciones (Gubbi et al. 2013). La inclusión del IoT en un entorno, permite controlar los dispositivos y atender cualquier evento de forma autónoma o supervisada. Diferentes empresas tecnológicas, han visto el potencial del IoT y crean productos que se destinan a satisfacer cualquier tipo de necesidad. Por ejemplo, en el mercado existen dispositivos que permiten controlar los ambientes de un hogar como el entretenimiento, la seguridad, el confort, etc. Sin embargo, el potencial del IoT va más allá y las organizaciones apuestan al uso de esta tecnología para mejorar sus procesos y facilitar el trabajo de las personas (Tan and Wang 2010).

La tecnología, a lo largo de la historia ha contribuido al desarrollo de la sociedad y las universidades ha sido un fiel acompañante de este desarrollo. Las universidades en la sociedad, actúan como cunas de innovación e incluso como bancos de pruebas que permiten trasladar todas las ideas y avances tecnológicos a entornos más grandes como las ciudades (Khan et al. 2012). Con este precedente, es necesario que las universidades acoplen las nuevas tecnologías en todas sus áreas y procesos. Este enfoque permite mejorar la experiencia del usuario y la evolución de los dispositivos en temas como, la seguridad, la movilidad, etc., (Vazquez-Briseno et al. 2012).

Las universidades, están compuestas de áreas que se encargan de la gestión administrativa, académica o financiera. Para ello, integran varios sistemas informáticos que ejecutan tareas específicas que van desde el registro de asistencia de un estudiante hasta la compra de suministros para las distintas facultades. Para realizar estas acciones, en los procesos se utilizan varios dispositivos, que ejecutan una acción y los sistemas generan un evento. En un modelo de educación tradicional el manejo y ejecución de procesos, como el mencionado hace lo justo para el funcionamiento de la universidad. Sin embargo, la misma tecnología ha ocasionado la evolución de las universidades una prueba de ello son los nuevos modelos educativos que han migrado de manera parcial o total a una educación en línea (T. Zhang 2012). Estos modelos requieren de un mayor uso de las TI para poder satisfacer las necesidades académicas y administrativas de sus usuarios.

Por ejemplo, en un modelo de universidad tradicional se conoce claramente su estructura, el área administrativa se encarga del manejo y gestión de todos los recursos para el buen funcionamiento de la parte educativa. Para ello las TI proporcionan sistemas para el manejo del personal a través de áreas como recursos humanos (Talari et al. 2017). El área financiera, maneja sistemas que se encargan de los recursos económicos del campus universitario incluidos los activos que esta dispone. Gestionar estos recursos en un ambiente con un gran número de usuarios y activos representa un problema para los encargados de esta administración.

Cada una de estas áreas, abren un campo de acción para las nuevas tecnologías, específicamente al uso del IoT. El IoT, permite mejorar los procesos de una universidad

en la gestión de activos, la seguridad, la movilidad, etc. Además, las universidades generalmente posean laboratorios y equipos para el desarrollo de prácticas o para el desarrollo de sus actividades cotidianas. Realizar un control de estos activos en ocasiones es complicado lo que causa la pérdida de equipos, causando un perjuicio para la universidad (Gubbi et al. 2013). El IoT, puede mejorar este control de diversas maneras, por ejemplo, con el uso de sistemas embebidos que permitan el ingreso o la modificación de los datos de los activos. Con la implementación de sensores y el uso de sistemas embebidos es posible identificar exactamente donde se encuentra cada equipo e identificar cual es el responsable.

En este trabajo, se plantea una arquitectura que cubre las necesidades de todos los actores que son parte un campus universitario. La arquitectura, ayuda a la gestión de procesos considerados claves en un campus, como el manejo adecuado de los activos de la universidad. El potencial del IoT es tan amplio que se pueden desplegar servicios que sean accedidos por los teléfonos móviles de los estudiantes o por asistentes virtuales (Han et al. 2013). El uso de los servicios se convierte en una forma de obtener información sobre las tendencias de cada uno de los individuos y al generar conocimiento sobre estas tendencias se puedan ofrecer servicios personalizados.

Este trabajo se encuentra distribuido de la siguiente manera, en la Sección 2 se desarrolla el método, donde se plantea la arquitectura de IoT, en la Sección 3 se encuentran los resultados de las aplicaciones de IoT que aportan a la gestión administrativa del campus universitario, en la Sección 4 se desarrollan las conclusiones como respuesta a la pregunta de investigación que ha planteado este trabajo.

## **2. Método**

Un campus universitario posee características que pueden ser aprovechadas o reutilizadas por una arquitectura de IoT. Es importante considerar que la gran cantidad de dispositivos de IoT que existen en el mercado tienen una particularidad esencial. Esta particularidad es el uso del internet por lo tanto para garantizar su funcionamiento es necesario garantizar la conectividad (C. K. M. Lee, Na, and Kit 2015). Dentro del campus, permitir el uso del Internet a los dispositivos se convierte en un problema, pues, compromete la seguridad de los servicios que se encuentran en la Intranet. La arquitectura necesariamente debe integrar técnicas y políticas de seguridad que se aplican en una capa que filtre y monitoree el acceso a la red, tanto de entrada como salida. Este proceso provoca que la navegación sea restringida y que existan bloqueos de puertos con la finalidad de mantener una seguridad adecuada de los datos (Strohbach et al. 2015). Las restricciones y bloqueos del tráfico de una red pueden afectar a los dispositivos de IoT integrados al campus restándoles funcionalidades o incluso inutilizándolos. Para evitar cualquier problema en el diseño de la arquitectura el método empieza con un análisis general de la red que disponen los campus universitarios (Villegas-Ch, Palacios-Pacheco, and Luján-Mora 2019).

### **2.1. Arquitectura de un campus universitario**

Los campus universitarios disponen de una arquitectura de red en capas que le permite ser escalable y modular. En la Figura 1 se establece las capas de la arquitectura de un



campus universitario donde la primera capa es la de acceso que se encarga de brindar los servicios a los usuarios finales (Gaglio et al. 2019). La capa de distribución, proporciona una conectividad basada en políticas y controla el límite entre las capas de acceso y de núcleo. La capa de núcleo, proporciona un transporte rápido entre los switch de distribución dentro del campus. El beneficio de dividir una red en bloques más pequeños y fáciles de administrar es mantener el control de las redes locales y controlar el tráfico interno. Sólo el tráfico destinado a otras redes se traslada a una capa superior.

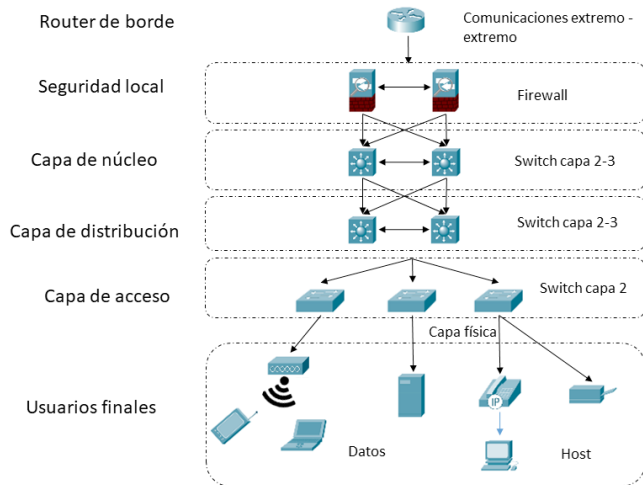


Figura 1 – Arquitectura de red distribuida en capas de un campus universitario. (Onyalo, Kandie, and Njuki 2015).

La propuesta de una arquitectura de IoT aplicada al campus universitario debe partir de la arquitectura de red que se presenta en la figura. Hay que considerar que el incremento en los dispositivos de IoT de alguna manera afectará el desempeño de la red. Al incluir dispositivos que mayormente utilizan el medio inalámbrico como principal canal de comunicación los problemas van en aumento (Bellagente et al. 2015). Sin embargo, este problema puede superarse con la actualización de la red o incluso con la integración de una red interna que se encargue específicamente de la conexión de los dispositivos de IoT.

La implementación de IoT en un campus universitario para la gestión de recursos, debe contar con varias características alineadas a las necesidades de la universidad (Gubbi et al. 2013). En este trabajo se divide la gestión administrativa de la gestión académica, con esta primicia es posible plantear una arquitectura donde la tecnología sea distribuida, y los objetos puedan interactuar entre ellos de forma escalable, flexible, robusta, eficiente y segura (C. Zhang and Green 2015). Para ello, la arquitectura de IoT aplicada a un entorno universitario cumple varios requerimientos claves en su despliegue, estos requerimientos abarcan la conectividad y comunicación, la gestión y control de dispositivos, la recolección y análisis de los datos (Villegas-Ch et al. 2019).



La arquitectura se ha diseñado para gestionar un gran número de dispositivos. Los dispositivos envían constantemente datos que generan un volumen significativo de información. Para esto, se requiere de sistemas de almacenaje con una gran capacidad de soporte y escalabilidad que soporte diversos tipos y volúmenes de datos. Las acciones están consideradas para que sean en tiempo real. En la figura 2, se presentan las etapas generales que maneja una arquitectura de IoT, desplegada en siete capas. La arquitectura describe una solución de IoT, lo que incluye los aspectos físicos como los dispositivos, los servicios y los protocolos de comunicación (Shwe, Jet, and Chong 2016). Adoptar una arquitectura con múltiples niveles permite comprender cómo los componentes de la arquitectura funcionan antes de la integración dentro de su aplicación. El enfoque modular ayuda a gestionar la complejidad de las soluciones IoT.

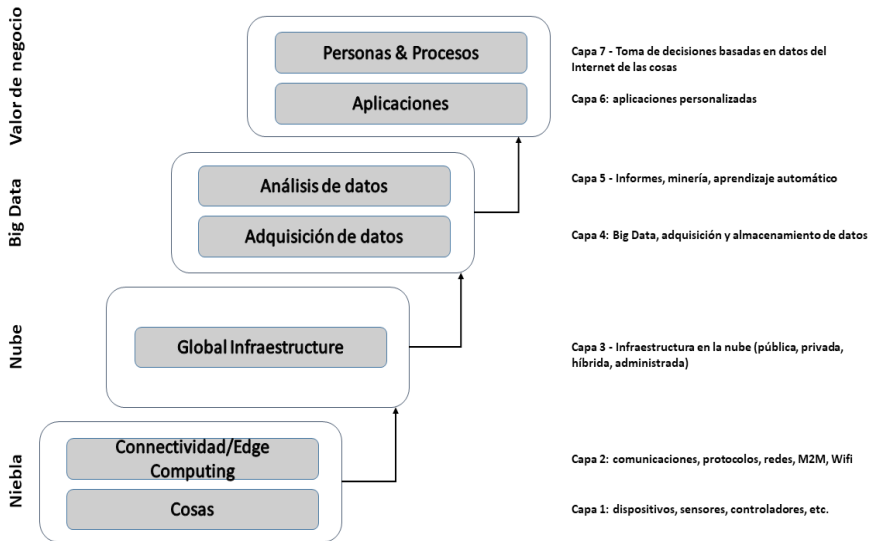


Figura 2 – Capas de una arquitectura de internet de las cosas.

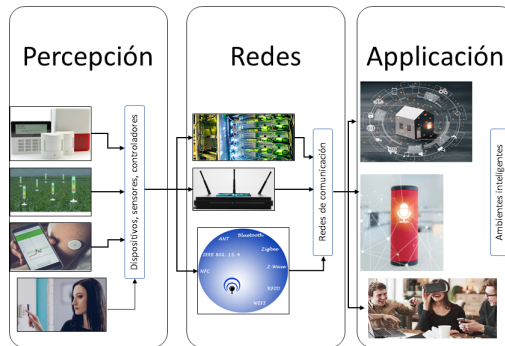


Figura 3 – Arquitectura de IoT compuesta por un modelo sencillo de tres capas.

Este modelo de capaz que representa la arquitectura general de IoT en este trabajo se lo adapta a un modelo más sencillo donde se presenta una arquitectura de tres capas (Wu et al. 2010). Esta arquitectura responde a las necesidades de la universidad, además, los requerimientos de cada capa son solventados fácilmente por la infraestructura que posee la universidad que participa en este estudio. La figura 3, se presenta la arquitectura de IoT basada en un modelo de tres capas.

### **2.1.1. Percepción**

La percepción como capa de la arquitectura contiene los diferentes dispositivos que monitorean o actúan sobre un entorno específico. La capa integra una diversidad de sensores que permiten dotar de sentidos a máquinas o entornos para la medición de parámetros como temperatura, posición, cantidad de luz, etc. Los actuadores transforman los eventos generados por los sensores en acciones, con la finalidad de automatizar los procesos (I. Lee and Lee 2015). Los dispositivos de IoT son reconocidos como sensores inteligentes ya que además de obtener el valor del parámetro físico que miden, pueden hacer otras muchas funciones como el análisis de datos o interactuar de manera directa con el usuario. Los dispositivos integran tarjetas de red para la comunicación inalámbrica, garantizando la interacción autónoma entre dispositivos, incluso si se encuentran en movimiento.

Otros dispositivos utilizados en esta capa son las etiquetas inteligentes que permiten conocer la trazabilidad de todo el proceso administrativo y de aprendizaje dentro de la universidad. Existen varios tipos de etiquetas inteligentes, su característica, es que identifican de manera única a un activo en una categoría previamente definida. Las más conocidas son las etiquetas de códigos de barras y las de códigos QR (Vazquez-Briseno et al. 2012).

En los puntos de interés como laboratorios o departamentos de gestión se instalan lectores ópticos que leen el valor de la etiqueta y la envían a un ordenador que almacena en una base de datos la información del equipo. Esta información depende de las políticas establecidas por cada universidad que generalmente incluyen los valores de sensores, contadores, valores de energía, la identificación del dispositivo (Barthel et al. 2013). Otro método utilizado son los tags RFID que son etiquetas de identificación por radiofrecuencia. Estas etiquetas disponen de un chip y una antena que permiten escribir información mediante el empleo de un lector / receptor RFID, sin necesidad de existir línea de vista entre dispositivos. El chip RFID almacena el número de identificación de cada equipo e incluso almacena datos del historial de mantenimientos. De esta manera, los encargados de activos y laboratorios, conocen la trazabilidad completa de cualquier dispositivo, equipo o activo utilizando un lector (Gubbi et al. 2013). En la gestión administrativa además del manejo de activos, el IoT facilita el inventario de máquinas, equipos informáticos de seguridad física y se los utiliza en el control de acceso para la identificación y localización del personal. En el aprendizaje facilita el uso de recursos como el manejo bibliotecario o reserva de espacios como aulas, auditorios, laboratorios, etc.

Otros dispositivos de IoT, utilizados en la arquitectura son los sistemas de control embebidos, estos dispositivos realizan funciones específicas. Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores comunes que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades. Los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas

y por tanto forman parte de multitud de productos en los que se requiere una cierta potencia de proceso como electrodomésticos, vehículos, máquinas, etc. Los sistemas embebidos, son utilizados dentro de la universidad para generar ambientes seguros, por ejemplo, el acceso a áreas restringidas por medio de reconocimiento facial. En los laboratorios se utilizan estos dispositivos como apoyo al aprendizaje al crear prácticas con estos equipos donde los estudiantes pueden monitorear y controlar diferentes variables lo que mejora su comprensión y conocimiento de estas tecnologías.

### **2.1.2. Comunicación por medio de Zigbee**

Los datos almacenados en pequeños ordenadores como los sistemas embebidos no son lo suficientemente potentes como para poder procesarlos de forma rápida. Por lo tanto, es necesario mover esa información a otro ordenador a través de algún canal de comunicación. La capa de red se encarga de conectar los dispositivos a otras cosas inteligentes, o bien a dispositivos de red o servidores (Li et al. 2015). Dispone de las herramientas necesarias para transmitir datos entre dispositivos o servidores y también para realizar cierto grado de procesamiento de los mismos. Varios de los protocolos de comunicación tradicionales continúan vigentes en IoT, por ejemplo, las conexiones de red local vía Ethernet o de transmisión inalámbrica a través de conectividad móvil, según sean los requisitos en cada ubicación (Zhu et al. 2010).

En el campus universitario, además, de los protocolos tradicionales se utilizan protocolos que han sido ideados pensando en el IoT y la comunicación de objetos entre ellos y a corta distancia. Un ejemplo, es NFC o también Bluetooth 4.0, que son parte de Low Energy precisamente porque está pensado para ser implementado en sistemas con baterías reducidas (Gómez et al. 2013).

- Reglas de comunicación, la conexión física entre los dispositivos finales no es suficiente para habilitar una comunicación efectiva. Para que se produzca este tipo de comunicación, los dispositivos deben saber cómo comunicarse. La comunicación comienza con un mensaje o información que se envía desde un origen hasta un destino. El envío se rige por protocolos que deben respetarse para que el mensaje se envíe y se comprenda correctamente. Los protocolos que permiten que la comunicación se ejecute van desde abarcan tareas como la codificación que se encarga de convertir la información a una forma aceptable para la transmisión. A esta tarea se incluye la decodificación que es el proceso para que la información sea interpretada. El modo en que actúa esta tarea con los dispositivos empieza cuando el dispositivo emisor convierte en bits los mensajes enviados a través de la red. Cada bit se codifica en un patrón de sonidos, ondas de luz o impulsos electrónicos, según el medio de red utilizado. El host o dispositivo de destino recibe y decodifica las señales para interpretar el mensaje. Además de este proceso la tarea de comunicación en un ambiente de IoT se rige a un modelo de comunicación habitual en un medio de datos. Los protocolos que lo rigen son el formato y encapsulación del mensaje, el tamaño de la trama, la segmentación, la temporización del mensaje, el control de flujo, el tiempo de espera de respuesta y las opciones de entrega del mensaje.
- Zigbee como medio de comunicación, dada la cantidad de dispositivos inalámbricos desplegados en todas las áreas del campus es indispensable el uso

de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica tal como Zigbee (Li et al. 2015). El uso de Zigbee satisface dentro del campus la necesidad de crear redes de baja potencia que cubran grandes áreas dentro del campus. Su especificación se encuentra en las redes tipo IEEE 802.15.4. Zigbee tiene la ventaja que permite la construcción de nodos mallados que mejora la comunicación entre dispositivos (Chen and Jin 2012). La red Zigbee establecida está compuesta por cientos de nodos y es totalmente escalable dando la posibilidad a seguir agregando varios dispositivos en las diferentes áreas del campus o dependiendo de las variables que se desee controlar. Dentro de esta red los mensajes pasan de un nodo a otro y no existe necesidad de que ningún nodo individual este dentro del alcance de transmisión de los miembros de red.

- Aplicación, en la capa de aplicación del campus el IoT aprovecha la tecnología inalámbrica ya implementada para conectar y mejorar la infraestructura, la eficiencia, la conveniencia y la calidad de vida de los residentes y visitantes por igual. Esto ha permitido aplicar esta tecnología en la gestión de suministros lo que implica controlar la gestión de suministros como agua, electricidad o gas dentro de la universidad. Otra aplicación llevada a cabo es en el monitoreo de la calidad del aire a través de sistemas embebidos (Ahmed et al. 2017). Existe una variedad de aplicaciones que pueden ser tomadas de otros entornos y aplicarlos a la realidad de un entorno universitario. IoT aporta a este paso con la inclusión de dispositivos que monitorean y evalúan cada variable que es generado en una universidad. Integrar esta tecnología con la computación en la nube y big data potencia esta arquitectura y mejora los entornos de aprendizaje.

### 3. Resultados

El IoT en un campus universitario toma varios enfoques que aportan a la gestión administrativa. El manejo de sensores, actuadores y diversos sistemas aportan a la recolección de datos que ayuda a los gestores administrativos a monitorear y controlar diferentes entornos dentro de una universidad. Un campus generalmente es un ambiente dinámico y en constante crecimiento cuya administración requiere un alto consumo de recursos técnicos como económicos. Sin embargo, contar con sistemas que se encargan de la recolección de datos permite a los gestores administrativos centrar sus esfuerzos en el análisis y toma de decisiones.

Los ambientes confortables es una característica del IoT, se basa en la interacción de los dispositivos con el medio incluso sin la necesidad de que exista una persona o una computadora controlando ciertas condiciones del entorno. Estas condiciones responden a variables como la seguridad, el consumo energético, gestión de actuadores, etc.

#### 3.1. Manejo y gestión de activos

La seguridad dentro una universidad abarca tanto a los activos y bienes de la institución como a las personas que forman parte de ella. Sin embargo, garantizar los niveles que exige un campus universitario genera un alto costo por la cantidad de personal especializado que se requiere para cubrir todas las áreas del campus. Una alternativa novedosa y que aporta a este campo es el IoT donde la capacidad de los dispositivos y la comunicación en línea permite disminuir costos y mejorar la seguridad universal del campus.

En el manejo de activos se han desplegado diversos medios de control para mejorar su seguridad dentro del campus. Por ejemplo, en los laboratorios de ingenierías de comunicación se dispone de una diversidad de equipos de red como *router*, *switch*, *access point*, *firewall*, etc. Estos equipos son de uso académico donde los estudiantes realizan prácticas y simulan ambientes reales. El problema radica en que no existe un control adecuado en el uso de los equipos por la cantidad existente y por el número de laboratorios. Como una medida de control la universidad ha integrado personal para él control, sin embargo, los porcentajes de pérdida no se han reducido y su gestión se ha visto superado por el volumen de solicitudes de uso de los equipos.

La solución se apoya en el uso de IoT con la implementación de tags a todos los activos del campus. Estos dispositivos, emiten una señal que lee la antena para verificar su posición y estado. Este sistema tiene una ventaja sobre otros tipos de control y es que no requiere línea de vista entre el emisor y el receptor de la señal. Por lo tanto, RFID garantiza la identificación inequívoca con el fin proporcionar seguimiento, monitoreo y localización inmediata, además se cuenta con la “visibilidad” del activo en tiempo real.

Esta identificación permite, además del rastreo, conocer toda la información relacionada con ese activo en particular. En las instalaciones físicas donde se desea realizar el control se encuentran ubicadas las antenas que permiten monitorear la ubicación exacta del activo. Los datos generados de estos sistemas son almacenados en un modelo de computación en la nube lo que permite manejar históricos e identificar los equipos más utilizados en los diferentes periodos de clases. La conectividad total del campus universitario permite subir los datos a una nube publica brindando mayor accesibilidad a los encargados de la administración de los equipos.

### **3.2. Acceso a áreas restringidas**

La seguridad física de los entornos es otro factor trabajado para lo cual en zonas consideradas críticas en el campus se implementan sistemas de acceso por reconocimiento facial. Por ejemplo, la implementación de acceso al centro de datos del campus universitario, para ello se utiliza las API de Azure desde la aplicación web y UWP bajo el esquema de la figura 4. Los componentes utilizados son una cámara web instalada en el ingreso de la zona a controlar, la cámara se encuentra conectada a un Raspberry Pi 3 modelo b que tiene la programación necesaria para el funcionamiento adecuado del equipo. Además, al sistema se integra una pantalla donde se presenta tanto la imagen como los datos de acceso, esto facilita la creación de nuevos usuarios, generación de roles y perfiles desde el sistema embebido. El Raspberry se conecta vía inalámbrica a la red de la universidad que utiliza como gateway y se conecta a los servicios Face-API y a SQL database de Azure.

En la base de datos se crean los objetos que gestionan el acceso al centro de datos, entre estos se encuentran los usuarios con sus roles y perfiles. Esta base de datos maneja una conexión a una página web desarrollada en ASP.NET con lenguaje C# que se encarga de la administración de usuarios y un aplicativo universal Windows platform (UWP) instalado físicamente en el centro de datos. El aplicativo se encuentra dividido en tres componentes que son Modelo, Vista y Controlador (MVC). MVC es un patrón de arquitectura de software, que separa los datos y la lógica de negocio de una aplicación de

su representación y el módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones. Por un lado, define componentes para la representación de la información, y por otro lado para la interacción con el usuario.

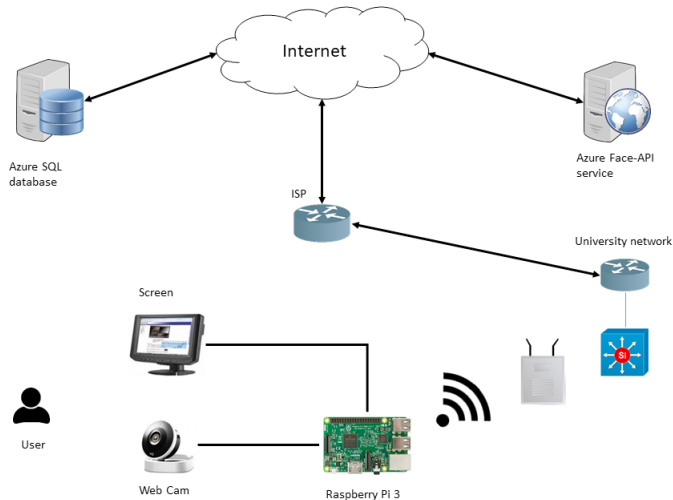


Figura 4 – Diagrama de acceso a través de reconocimiento facial.

En la base de datos se crean los objetos que gestionan el acceso al centro de datos, entre estos se encuentran los usuarios con sus roles y perfiles. Esta base de datos maneja una conexión a una página web desarrollada en ASP.NET con lenguaje C# que se encarga de la administración de usuarios y un aplicativo universal Windows platform (UWP) instalado físicamente en el centro de datos. El aplicativo se encuentra dividido en tres componentes que son Modelo, Vista y Controlador (MVC). MVC es un patrón de arquitectura de software, que separa los datos y la lógica de negocio de una aplicación de su representación y el módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones. Por un lado, define componentes para la representación de la información, y por otro lado para la interacción con el usuario.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se han dado respuesta a ciertos problemas de un campus universitario en la gestión administrativa. El despliegue de IoT tiene la capacidad de manejar estos ambientes sin ningún tipo de restricción lo que abre varias posibilidades ante el manejo de diferentes eventos. Como se ha presentado en las aplicaciones desplegadas, IoT ayuda a cambiar los modelos tradicionales donde se desarrolla el aprendizaje y como este se desarrolla. Los campus que integran estas tecnologías en toda su gestión son las que se adaptan mejor y ganan la partida a las demás.

La implementación de la arquitectura de IoT, ha dado varias ventajas en relación a como se venían realizando los procesos en el manejo de activos y la seguridad del campus. Los dispositivos que se encarga de realizar el monitoreo responden de manera adecuada a las necesidades de cada área. Lo más importantes es que esta arquitectura permite utilizar toda la red sin que exista algún conflicto o problema en su integración. Además, al utilizar la infraestructura disponible se garantiza la seguridad de la información, así como de los dispositivos. Sobre este tema, se viene trabajando en una integración de blockchain que permitirá aumentar considerablemente los temas de manejo y seguridad de los datos.

La gestión administrativa con el uso de IoT, disminuye tiempos en el cuidado de activos, así como, proporciona rapidez y efectividad en el descubrir anomalías o generar eventos. Esto significa un ahorro progresivo de recursos, tanto humano como económicos. Tras los resultados obtenidos se plantea integrar nuevas áreas al manejo de IoT con la finalidad de crear un campus inteligente sostenible que tenga la capacidad de convivir con la naturaleza en total armonía.

## Referencias

- Ahmed, Ejaz et al. 2017. "The Role of Big Data Analytics in Internet of Things." *Computer Networks* 129: 459–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2017.06.013>.
- Barthel, Ralph et al. 2013. "An Internet of Old Things as an Augmented Memory System." *Personal and Ubiquitous Computing* 17(2): 321–33.
- Bellagente, Paolo, Paolo Ferrari, Alessandra Flammini, and Stefano Rinaldi. 2015. "Adopting IoT Framework for Energy Management of Smart Building: A Real Test-Case." In *IEEE 1st International Forum on Research and Technologies for Society and Industry*, , 138–43.
- Chen, Xian-Yi, and Zhi-Gang Jin. 2012. "Research on Key Technology and Applications for Internet of Things." *Physics Procedia* 33: 561–66.
- Gaglio, Salvatore, Giuseppe Lo Re, Marco Morana, and Claudio Ruocco. 2019. "Smart Assistance for Students and People Living in a Campus." In *Proceedings International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2019*, , 132–37.
- Gómez, Jorge et al. 2013. "Interaction System Based on Internet of Things as Support for Education." *Procedia Computer Science* 21: 132–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.019>.
- Gubbi, Jayavardhana, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. 2013. "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions." *Future Generation Computer Systems* 29(7): 1645–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- Han, Chong, Josep Miquel Jornet, Etimad Fadel, and Ian F. Akyildiz. 2013. "A Cross-Layer Communication Module for the Internet of Things." *Computer Networks* 57(3): 622–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2012.10.003>.



- Khan, Rafiullah, Sarmad Ullah Khan, Rifaqat Zaheer, and Shahid Khan. 2012. "Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges." In *Proceedings - 10th International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2012*, , 257–60.
- Lee, Carman Ka Man, Cheng Mei Na, and Ng Chun Kit. 2015. "IoT-Based Asset Management System for Healthcare-Related Industries." *International Journal of Engineering Business Management* 7: 7–19.
- Lee, In, and Kyoochun Lee. 2015. "The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises." *Business Horizons* 58(4): 431–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>.
- Li, Jian Qiang, Sui Qiang He, Zhong Ming, and Shubin Cai. 2015. "An Intelligent Wireless Sensor Networks System with Multiple Servers Communication." *International Journal of Distributed Sensor Networks* 2015(8): 960173–81.
- Onyalo, Nashon, Hosea Kandie, and Josiah Njuki. 2015. "The Internet of Things, Progress Report for Africa: A Survey." *International Journal of Computer Science and Software Engineering* 4(9): 2409–4285. [www.IJCSSE.org](http://www.IJCSSE.org).
- Shwe, Hnin Yu, Tseng King Jet, and Peter Han Joo Chong. 2016. "An IoT-Oriented Data Storage Framework in Smart City Applications." In *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC 2016*, 106–8.
- Strohbach, Martin, Holger Ziekow, Vangelis Gazis, and Navot Akiva. 2015. "Towards a Big Data Analytics Framework for IoT and Smart City Applications." In *Modeling and Optimization in Science and Technologies*, , 257–82.
- Talari, Saber et al. 2017. "A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept." *Energies* 10(4): 1–23.
- Tan, Lu, and Neng Wang. 2010. "Future Internet: The Internet of Things." In *ICACTE 2010 - 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Proceedings*, , 376–80.
- Vazquez-Briseno, M. et al. 2012. "A Proposal for Using the Internet of Things Concept to Increase Children's Health Awareness." In *International Conference on Electronics Communications and Computing*, , 168–72.
- Villegas-Ch, William et al. 2019. "Application of a Big Data Framework for Data Monitoring on a Smart Campus." *Sustainability* 11(20): 5552.
- Villegas-Ch, William, Xavier Palacios-Pacheco, and Sergio Luján-Mora. 2019. "Application of a Smart City Model to a Traditional University Campus with a Big Data Architecture: A Sustainable Smart Campus" *Sustainability* 11(10): 2857.
- Wu, Miao et al. 2010. "Research on the Architecture of Internet of Things." *ICACTE 2010 - 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Proceedings* 5: 484–87.



- Zhang, Congyingzi, and Robert Green. 2015. "Communication Security in Internet of Thing: Preventive Measure and Avoid DDoS Attack over IoT Network." *Simulation Series* 47(3): 8–15.
- Zhang, Tianbo. 2012. "The Internet of Things Promoting Higher Education Revolution". In *International Conference on Multimedia & Security*, 790-93.
- Zhu, Qian et al. 2010. "IOT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things." In *Proceedings - IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, , 347–52.

# Incidence of a web application implementation for high school students learning evaluation: A case study

Cathy P. Guevara-Vega<sup>1,2</sup>, Willan P. Chamorro-Ortega<sup>3,4</sup>, Erick P. Herrera-Granda<sup>1</sup>, Iván D. García-Santillán<sup>1</sup>, José A. Quiña-Mera<sup>1,2</sup>

[cguevara@utn.edu.ec](mailto:cguevara@utn.edu.ec), [wpchamorro@utn.edu.ec](mailto:wpchamorro@utn.edu.ec), [epherrera@utn.edu.ec](mailto:epherrera@utn.edu.ec),  
[idgarcia@utn.edu.ec](mailto:idgarcia@utn.edu.ec), [aquina@utn.edu.ec](mailto:aquina@utn.edu.ec)

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

<sup>2</sup> Grupo de investigación Ciencias en Red e-CIER, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

<sup>3</sup> Instituto de Posgrado, Maestría en Software, Universidad Técnica del Norte, 100150, Ibarra, Ecuador.

<sup>4</sup> Coordinación Zona 1 – Ministerio de Educación, 100106, Ibarra, Ecuador.

**Pages: 509–523**

**Abstract:** This research presents, the results of the study carried out to the learning evaluation process through the implementation of a web software for exam and evaluation elaboration based on structured tests and their incidence in high school students. A field investigation with a qualitative, descriptive and documental approach, was applied in a case study. The agile Scrum methodology and the architectural view model “4+1” were used, for the development of web software based on 3 layers: model, view and controller (MVC). Results allowed to obtain statistical reports, where 85% of teachers accepted this form of evaluation to detect in time the not learned lessons in the evaluated subjects, influencing the process of the preparation and presentation of academic reinforcement plans, in a 90% rate. In addition, the proposed evaluation software obtained 94% acceptance by the students.

**Keywords:** student evaluation; structured tests; academic reinforcement plan; software engineering; Scrum; MVC.

## 1. Introduction

Student learning evaluation of has become, for some time now, the cornerstone of the education system (Restrepo Ochoa, Barbosa Pérez, & Arenas Berrio, 2016). Teaching cannot be understood without considering evaluation, because it determines the whole teaching-learning process, in an environment of success or failure (Szabó & Pšenáková, 2017). A poor evaluation process results in a poor teaching process; an immoral evaluation corrupts the entrails of the teaching activity (Moreno Olivos, 2016).

Evaluation is a process that involves a larger process, which is teaching-learning process (Wortman, Duncan, & Melin, 2017). This is a control mechanism that serves to determine

the achievement of goals, objectives and purposes, of the educational fact. In the same way, when expressing a judgment on the same conditions, but referred to the students, it involves a series of expectations. Some range from academics such as maintaining a “good average”, to economic ones such as conserving a scholarship, through those of Pride and positive reinforcement, like appearing in the honor roll (Centeno Brambila & Obando Lira, 2015).

In Ecuador, the National Institute for Educational Evaluation (INEVAL, 2018), based on the Constitution of the Republic of Ecuador, the National Development Plan “A Lifetime” 2017-2021 (Senplades, 2017), the Ten-Year Education Plan 2006-2015 and the proposal of the Ten-Year Education Plan 2016-2025 (Ministry of Education, 2016), develops instruments that contribute to the strengthening of the quality culture in the country, promoting an education of excellence through the integral evaluation of the national evaluation system and its components. This study is based on these statutes, at the secondary education level, to achieve institutional objectives and meet academic needs.

In order to measure the quality in the basic and high school education levels of Ecuador, the Ministry of Education applied the tests APRENDO during the period 1996-2007 (INEVAL, 2018), which were carried out four times. The obtained results showed a low learning level. In most cases, it was observed that, students mastered the skills that required explicit answers. Starting from 2008, the Ministry of Education conducted the SER ESTUDIANTE national tests (INEVAL, 2018), in public and private establishments, which apply to students of fourth, seventh and tenth level of Basic General Education, and third year of high school, in a census way in the areas of the curriculum of Mathematics, Language and Communication, and in a sample way in the areas of Social Studies and Natural Sciences in the seventh and tenth year of basic general education. In 2009, the mandatory internal and external evaluation process was applied for the first time, for teachers and managers of educational institutions SER MAESTRO (INEVAL, 2018), this evaluation was applied in specific knowledge, pedagogy and didactics. In addition, the SER BACHILLER tests (INEVAL, 2018), were carried out to determine the quality of education offered by the National Education System (NES) with an improvement purpose.

The application of structured tests (López Padilla, Sánchez Restrepo, Espinoza Rodríguez, & Carmona Soto, 2013), are defined by the Ministry of Education based on Art. 211 of the regulation of the Organic Law of Intercultural Education (LOEI, 2011). They offer alternate answers such as true and false, identification and location of knowledge, hierarchy, relationship or correspondence, analysis of relationship, completion, short answer, analogies, multiple choice and multi-item of common base (LOEI Regulation, 2012).

The art. 186 of the general regulation LOEI establishes the following types of evaluation. Diagnostic: it is applied at the beginning of an academic period (grade, course, quimester or work unit), in order to determine the preconditions with which the student enters the learning process; Formative: it is carried out during the learning process to allow the teacher to make adjustments in the teaching methodology, and keep the actors in the educational process informed about the partial results achieved and the progress in the integral development of the student; and, Summative: it is carried out to assign a totalizing evaluation that reflects the proportion of learning achievements made in a grade, course, quimester or work unit (LOEI Regulation, 2012).

On the other hand, according to the instructions for the application of the student evaluation (Subsecretaria de Fundamentos Educativos, 2016), issued by the Ministry of Education in the 2016-2017 school year, the academic reinforcement plan is defined in a set of planned strategies that complement, consolidate or enrich the ordinary educational action that are specified in the adoption of a series of measures of attention to diversity, designed by the teacher and aimed at those students who present, at some time or throughout their school year, low learning indicators or certain educational needs that require more individualized attention, in order to favor the achievement of skills with performance criteria, for each year.

This research is a case study conducted at the Ibarra Educational Unit (UEI), of Ecuador; taking the 2016-2017 statistics of the institution as a starting point, which shown worrying scores that ended in student failure. There were an initial population of 1361 students enrolled in the baccalaureate, of which 715 had problems, representing 52.53% of the total population, as seen in table 1. These students are classified as follows: 9% withdrawn, 68% they stayed at the supplementary, 11% arrived at the remedial exam, 6% took the grace exam and finally 6% lost the year, as can be seen in table 2 (UEI, 2017).

There are 175 teachers in the UEI, all of whom use the traditional method (paper and pencil) in evaluation process. Each teacher evaluates an average of 300 students each academic period. The evaluation process is continuous, divided into quimesters and each quimester into 3 partials. 40% of teachers acknowledges having made mistakes when rating the evaluations, 10% said have cases of academic fraud (copy in the evaluations) and 54% of the teachers said they cannot detect student knowledge problems on time. In addition, due to the large number of tests that teachers have to qualify, 63% of teachers take more than 5 days to complete academic reinforcement plans.

In this context, the objective of this study was, implement a software for the UEI that generates structured tests to measure the incidence in the process of evaluation and development of academic reinforcement plans.

The impact of the automation of student evaluation process will ease teacher's diary activities and improve their competence in the use of Information and Communication Technologies (ICT). The implementation of a web system generating randomized structured tests allows teachers to be the main actors in the creation and implementation of tests in an easy and simple way. This technological tool is an aid for the teacher and provides facility in the application of the evaluation process, allowing the evaluation process, to be more efficient and managing to obtain results and statistics of learning levels in the shortest time. This information will serve in the elaboration of academic reinforcement plans, in those skills that the student has not been able to master. This tool allows saving of resources, such as didactic material, in addition to the saving of qualification time. Form the social point of view, it integrates the different teaching-learning actors (teacher-student) through the use of ICT. In the academic part, it gives a change to the traditional evaluation model (pencil-paper), to the integration of technology in the application of this process.

This manuscript is divided as follows: section 1 explains the background and problems of the investigation, section 2 details materials and methods applied for software development, section 3 shows the results obtained in the investigation, section 4 presents

the discussion, interpretation and comparison of results; and section 5 summarizes the most relevant conclusions.

## 2. Materials and methods

For this study a field investigation with a qualitative approach, was applied. The researchers considered applying observation, visual registration and behavior analysis, in the execution of student learning evaluation process of UEI Baccalaureate, before and after the implementation of the proposed software.

In 2019 the UEI until wad 4233 people, including 4058 students and 175 teachers. An initial online survey was applied (shorturl.at/kp279) composed of 12 open questions based on the 7-point Likert scale, applied to 55 high school teachers, in order to know details about the process of student learning evaluation.

For the development of the web application, the agile Scrum methodology and the architectural view model “4 + 1” (Philippe Kruchten, 1995) were applied. This methodology and model were chosen, because this project is interactive and incremental project, which is composed of different interactions, that allowed to promote teamwork and its easy handling. A team of 5 computing teachers was formed, with whom the main requirements were established: functional requirements (Guevara-Vega et al., 2019), use cases and user stories. The MVC software architecture (Model, Vista, controller) was used, applying the following server level tools: apache2 php 5.6, CodeIgniter framework; and the presentation level tools: bootstrap, jquery, json, jquery datables, jquery validator, bootstrap datetimepicker, summernote (Navarro, 2017).

The software consists of three modules, see Figure 1.

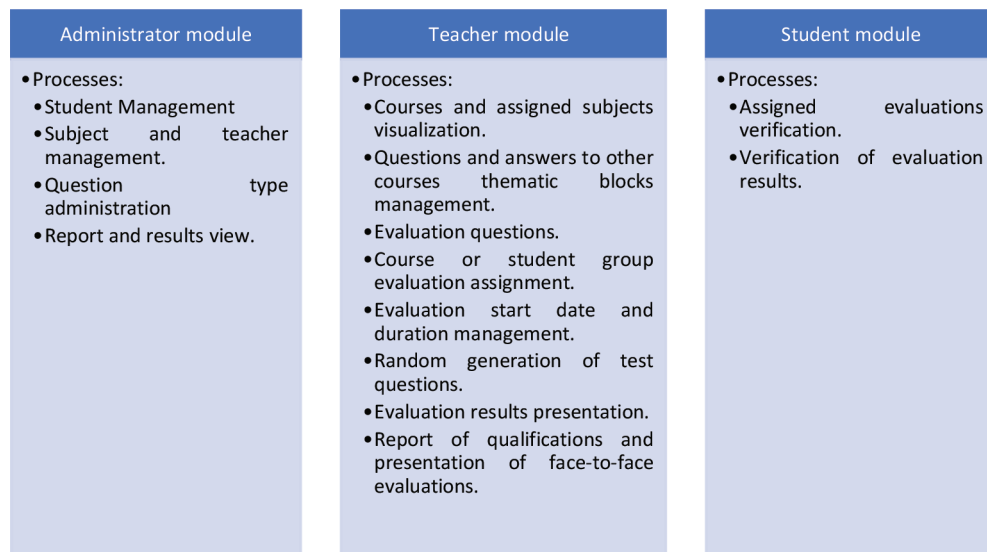


Figure 1 – Processes of the three modules of the web system.

For software validation, a ten-question online survey ([shorturl.at/bloxB](http://shorturl.at/bloxB)) of usability and satisfaction was applied to the same 55 teachers and a seven-question survey was applied to 292 students ([shorturl.at/wGJ56](http://shorturl.at/wGJ56)) after using the software.

In order to verify the validity and reliability of the applied questionnaires: Confirmatory Factor Analysis (AFC), Exploratory Factor Analysis (AFE) (Jacome A., 2020) and Alpha Cronbach (Cronbach L., 1951), implemented in the R language (Field A., 2012), were applied.

### 3. Results

#### 3.1. Institutional statistics

The UEI statistics and the problems the for the 2016-2017 school years, are shown in Table 1.

Criteria	Frecuency	Percentage %
<i>Enrolled students</i>	1361	100
<i>Problem cases</i>	715	52,53

Table 1 – Institutional statistics for 2016-2017 school years (UEI, 2017).

Table 2 describes student problem cases.

Criteria	Frecuency	Percentage %
<i>Retired</i>	62	9
<i>Supplements</i>	487	68
<i>Remedial</i>	76	11
<i>Grace test</i>	45	6
<i>School year lost</i>	45	6
<i>Total</i>	715	100

Table 2 – Description of the problem cases (UEI, 2017).

#### 3.2. Results of UEI students in Ser Bachiller test for 2016-17 school year

According to the results report of the UEI students in Ser Bachiller test for 2016-2017 school year, 473 students were evaluated, of which 72 are men and 401 are women. Their average score is 802 points considered as Satisfactory, according to the score metric and achievement levels established by the INEVAL (INEVAL, 2017).

Table 3 shows the UEI results obtained in the different evaluated domains of the Ser Bachiller 2016-2017 evaluation:

Domain	Insufficient %	Elemental %	Satisfactory %	Excellent %
<i>Mathematics</i>	15,2	34,7	42,5	7,6
<i>Linguistics</i>	6,8	33	53,7	6,6
<i>Scientific</i>	11,2	45,7	37	6,1
<i>Social</i>	8,2	42,9	41	7,8

Table 3 – UEI results obtained in each domain of the Ser Bachiller 2016-2017.

### 3.3. Results of the learning evaluation process surveys applied on teachers and students before and after the software implementation

The results of the traditional evaluation process (paper and pencil) survey applied to the teachers, are presented below.

1. 47% of teachers employ more than 10 minutes in grading a single test, while 37% spend between 5 and 10 minutes and 16% spend less than 5 minutes.
2. 49% of teachers often make mistakes when grading an evaluation, specifically assigning a score to the questions, while 51% of teachers make mistakes when making the total sum.
3. 84% of teachers had less than 10% of academic fraud cases.
4. 54% of teachers do not detect learning problems in their students on time, 40% sometimes, and 6% always.
5. 63% of teachers took between 2 and 5 days to submit the academic reinforcement plan, 21% more than 5 days, and 16% one day.
6. 11% of teachers use ICT in the learning evaluation process.

Table 4 shows the results of the usability and satisfaction survey applied to teachers after the use of the software.

Question	Criterion	Percentage
1. Do you consider that the test generator system interface is friendly?	Highly friendly	95%
2. Does the system allow you to perform all the activities needed in order to generate an evaluation?	All the activities	90%
3. Does the system give you evaluation ease and speed?	A lot of ease and fastness	100%
4. Do you have to navigate between many screens in order to perform a specific task?	No	100%
5.- Do you think that system management is easy?	Very easy	75%
6. How satisfied are you with the software appearance?	Extremely satisfied	90%
7. Does the system frequently present errors in use?	No errors	100%
8. Are the system generated reports correct?	Always	100%

Question	Criterion	Percentage
9. Does the system present reports that help you detect learning problems in your students and make your academic reinforcement plan on time?	A lot	95%
10. Do you consider that the system facilitates student evaluation thus avoiding plagiarism problems?	A lot	95%
11. Do you consider that the use of the system in the evaluation process can save your grading time?	A lot	100%
12. How satisfied are you with the software reliability?	Extremely satisfied	90%
13. How satisfied are you with the security of this software?	Extremely satisfied	90%
14. What is your satisfaction level about the system as a computational evaluation support tool?	Very satisfied	85%
15. How good do you consider is system availability?	Highly available	100%
16. How likely are you to recommend this software to a colleague?	Very probable	90%

Table 4 – Results of the survey applied to teachers after the use of the software.

### 3.4. Analysis and statistical interpretation of the survey applied to students that used the software

The survey consisted of 7 closed questions designed to let users rate the use satisfaction of the software. The survey was initially conducted on 292 students. The results obtained were treated and executed by statistical tests using the programming language R through the RStudio IDE. Through the mice library, it was verified that there are no missing values. In addition, Mahalanobis distances were obtained for each multivariate observation with the quantiles of the chi-square distribution guaranteeing that 99.9% of the information is covered and only 0.1% of data, that are further away from the centroid, is discarded of the data set. In this way a cut-off score of 24.3218 was established by means of which, 16 atypical observations were detected and eliminated, so the final database made up of 276 student surveys.

Since the EFA (Exploratory Factor Analysis of the Items) and CFA (Combinatory Factor Analysis) are parametric statistical techniques, the following assumptions were verified. Initially, for the assumption of additivity, the bivariate correlation matrix was obtained for all possible combinations of questions. Where it was observed that questions 1, 2 and 5 present high correlation problems in the order of 0.95 to 1, so they were removed and it is verified that the survey, made up of questions 3, 4, 6 and 7, complies with the assumption of additivity. The results obtained for the correlation matrix before and after excluding the questions are presented in Figure 2.

Subsequently, in order to verify the assumptions of linearity, normality, homogeneity and homocedasticity, a false regression analysis was performed based on the standardized residues obtained for the quantiles. The results obtained are summarized in Figure 3.



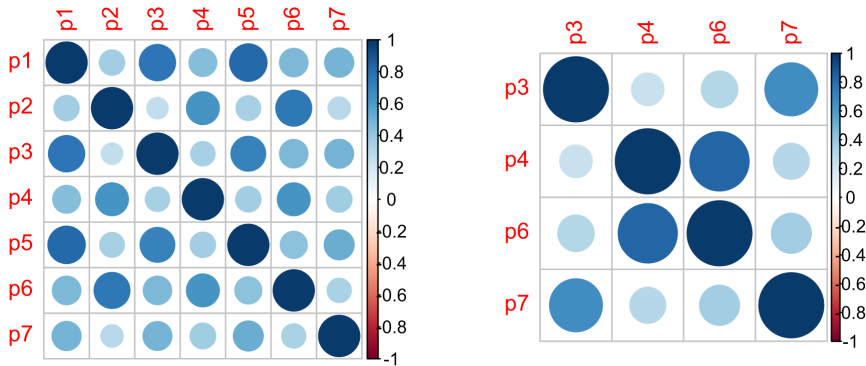


Figure 2 – Correlation histogram and dispersion matrix of the 276 surveys.

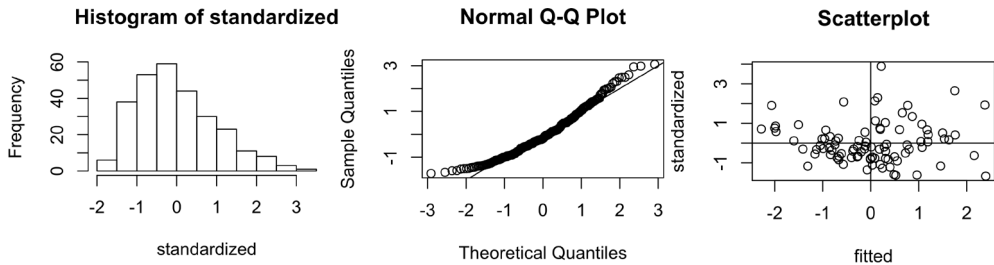


Figure 3 – Histogram, QQ Plot and Scatter Plot of the standardized values obtained for the quantiles.

The normality assumption is verified by displaying the histogram for the quantile regression, where the frequencies were distributed with a normal trend centered between -2 to 2. In the same way the linearity assumption is verified since the quantiles meet an increasing linear trend in the range of -2 to 2. Finally, the assumptions of homogeneity and homocedasticity were verified by the sphericity criterion through a Scatter Plot, where it can be seen homogeneity of the distribution in the four quadrants with slight problems in the negative semiplane. However, in the range of -2 to 2 homogeneity and homocedasticity can be accepted.

Additionally, for the EFA design, it is necessary to verify the assumptions of correlation sufficiency and sampling sufficiency (Pettersson & Turkheimer, 2010). Using the psych package, the Bartlett correlation sufficiency test was executed, obtaining a p-value of so correlation sufficiency is accepted, with a high level of significanc. The Kaise-Meyer-Olkin (KMO) test was carried in order to demonstrate the sampling sufficiency, in which a KMO factor sufficiency index of 0.79 was obtained, so this assumption is accepted since it presented a level close to 1 and above 0.7. In order to determine the number of factors to be used, a parallel analysis was carried out and the inflection point was visualized through a Scree Plot, see Figure 4. In this study 2 factors were used since it coincides with the original factors of the construct.

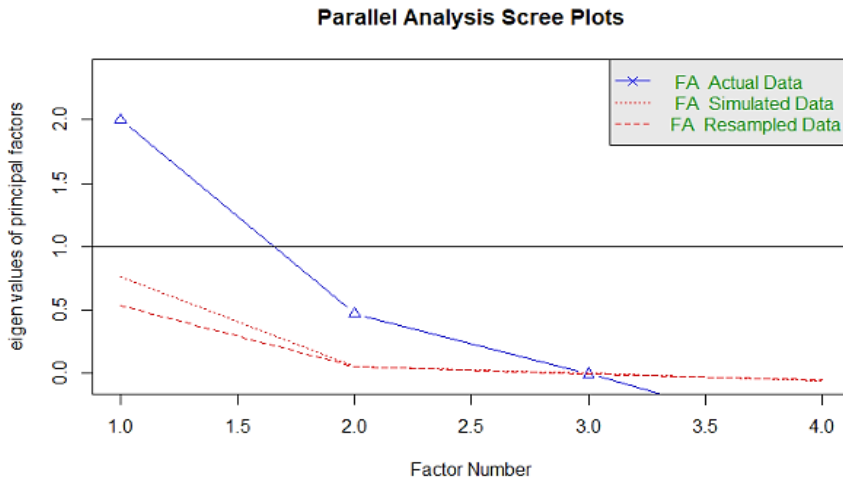


Figure 4 – Scree Plot of the parallel analysis.

The AFE for 2 factors was executed using an oblique factor rotation method by means of *oblimin* R method, which allows the factors to be correlated when they are rotated and the used mathematical adjustment by estimation was the maximum likelihood criterion (*ml*) which is most appropriate in AFE.

After running several experimental tests and comparing with the AFC, it was determined that the two designed factors coincide with the desired items for the factorial structure where it was shown that questions 3 and 7 (Do you consider that this way of applying evaluations is better than traditional way?, How useful do you think it is to use the System in the Evaluation process?) saturate only the “Satisfaction” factor and questions 4 and 6 (Would you like to use the system to perform your evaluations? Do you think that obtaining real-time data contributes to academic reinforcement, by the teacher?) Saturates only the “Acceptance” factor.

Initially, the AFE is executed for 2 factors where it was determined that questions 3 and 7 may belong to a first factor, while the 4 and 6 to a second factor because their saturations per factor exceed 0.3 and saturate a single factor. In all the carried-out tests, very close to 1.0 CFI (Comparative Fit Index) and TLI (Tucker and Lewis Index) were obtained, so the factoring reliability of the AFE is accepted. Additionally, a Cronbach alpha test was carried out, in order to verify the validity of the first two factors, obtaining values of 0.9 and 0.79 respectively, so they fall into the category of acceptable.

By means of confirmatory factor analysis, the factor structure was validated (Rosseel, 2012), where saturations above 0.5 were obtained for each question. In this way the final structure and its CFA path diagram are shown in Figure 5.

Finally, saturations exceeded 0.5 in all cases and none of the factors were correlated. In addition, the Tucker and Lewis index and the NNFI (Non-Normed Fit Index) obtained are 1.0 which falls into the category of excellent . In addition, the CFI was 1.0, being in the category of excellent and the RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) and SRMR (Standardized Root Mean Residual) indices reached values of 0.000 and 0.001 which demonstrates the validity of the construct because their values were below 0.05. Table 5 indicates the results of the survey applied to students who used the software for learning evaluation.

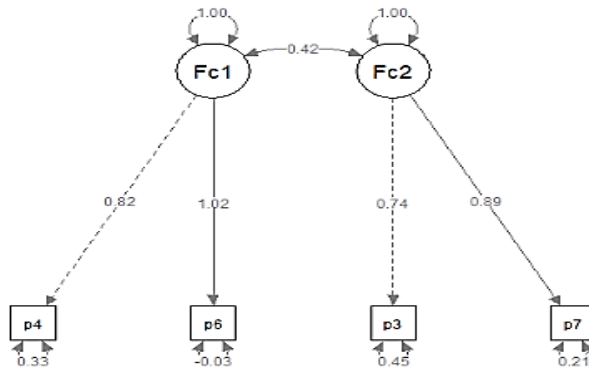


Figure 5 – Diagram of the resulting factor structure for the CFA.

Finally, saturations exceeded 0.5 in all cases and none of the factors were correlated. In addition, the Tucker and Lewis index and the NNFI (Non-Normed Fit Index) obtained are 1.0 which falls into the category of excellent > 0.95. In addition, the CFI was 1.0, being in the category of excellent and the RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) and SRMR (Standardized Root Mean Residual) indices reached values of 0.000 and 0.001 which demonstrates the validity of the construct because their values were below 0.05. Table 5 indicates the results of the survey applied to students who used the software for learning evaluation.

Question	Criterion	Percentage
3. Do you consider that this evaluation method is better than the traditional?	Much better	93,1%
4. Would you like to use the system to perform your evaluations?	Always	90,1%
6. Do you think that obtaining real time data can ease academic reinforcement process?	Totally agree	90,4%
7. How useful do you think it the system for the Evaluation process?	Extremely useful	93,8%

Table 5 – Results of the survey applied to students who used the software.

### 3.5. In Incidence of the software use in the learning evaluation process

The main visualized incidence is the time (in minutes) that a teacher uses in the qualification of an evaluation test. With the use of the software, a decrease of 97% of teacher spent time was achieved, see Figure 6.

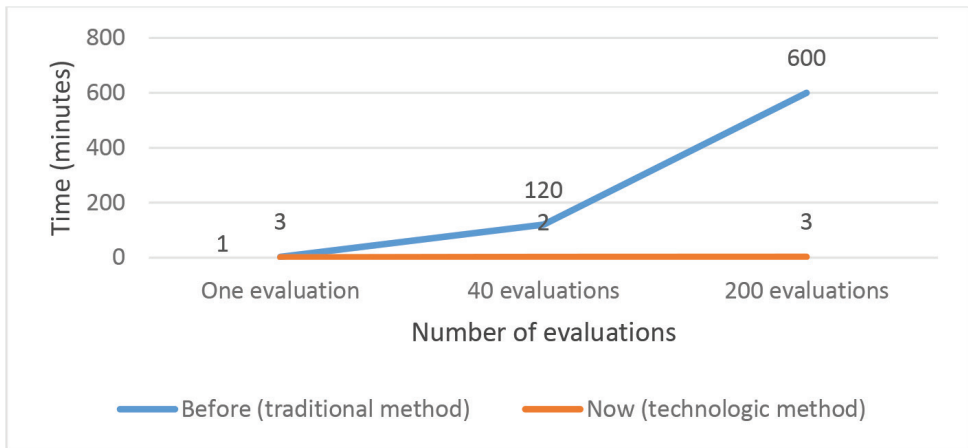


Figure 6 – Comparative of grading spent time.

Another incident is the reduction of academic fraud from 10% to 3%. According to the obtained data from the initial online survey applied to teachers, and the online survey applied after using the software. In Figure 7, the incidence in the reduction of evaluation grading errors is observed. In the traditional way the error was 25.6%, but with the use of the software a rate close to 0%, was obtained. When making the total sum, it had reduced from 35% to 0%.

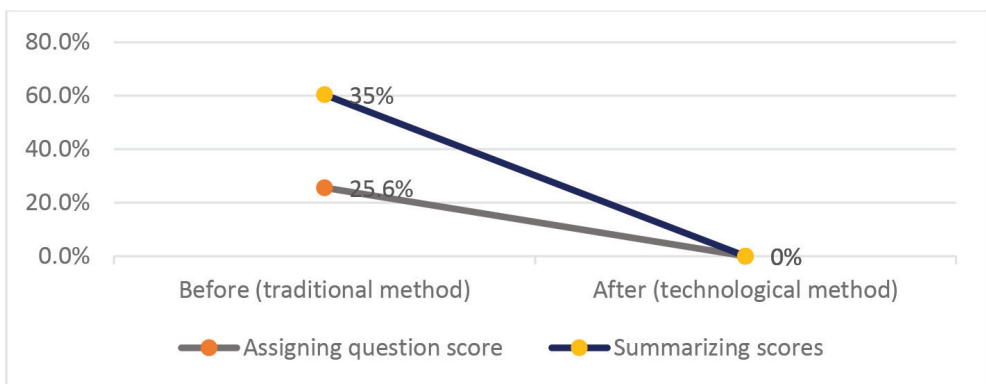


Figure 7 – Grading error percentage indicator.

Another aspect that helped to determine the software implementation incidence, was to obtain real time data. This allowed a 95% impact on in time detecting those students who did not reach the basic knowledge of the subject that had being evaluated, see Figure 8.

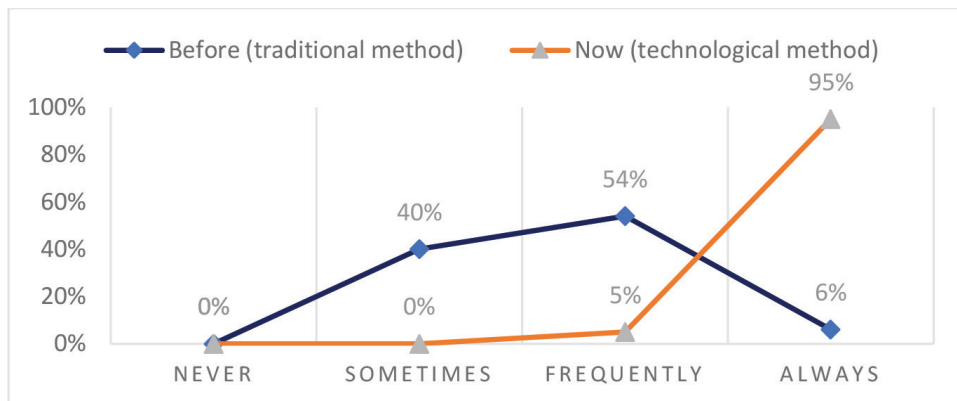


Figure 8 – Learning problems detection percentage indicator.

With the timely detection of learning deficiencies in the evaluated topics of the test, the teacher can improve the presentation of academic reinforcement plans, reducing presentation time from 5 days to 1 day, which is a result of the comparison of data obtained from the initial online teacher survey, and the online survey applied after using the software. Finally, it was possible to demonstrate the incidence of the use of software as a pedagogical support tool for teachers in the UEI within the learning evaluation process, going from 11.60% in the traditional way to 80% with the use of the software.

#### 4. Discussion

The results presented by Centeno Brambila, D. A., & Lira Obando, A. (2015), are consistent with those obtained in this investigation. The implementation of a web software allows an easy elaboration of standardized evaluation tests, with closed multiple-choice and single-answer questions, giving rise to an objective, impartial evaluation, due to all the evaluated students are in the same conditions. The grading is carried out systematically and in real time, minimizing calculation errors.

The success of software application in learning evaluation process is valuable as indicated by Gómez Gayosso, J. (2016). It can be seen directly that, students accepted widely its use for an evaluation. Gomez explains that a large group of teachers has empathy with the technological tool, regardless of its design, because it allows them to improve their practice and performance in meeting the demands of the new paradigms and educational systems.

Within the obtained results, the impact of the proposed software implementation in the evaluation process of the students UEI high school, could be noticed in a descriptive

manner through Table 4, 5 and Figures 6, 7 and 8. But also, a deeper statistical analysis was carried out testing the validity of the obtained information. In this way, the obtained results correspond to similar approaches found on the state of the art, where all the items are accepted when their standardized path loadings are above 0,55 and the raw Cronbach's Alpha (CA) obtained for User Satisfaction and Acceptance was 0.90 and 0.79 respectively which guarantees reliability and corresponds to an excellent construct, similar to the study of (Yassien & Masa'de, 2017) where CA values were in the range of 0,85 to 0,95 approximately.

## 5. Conclusions

This paper presents the development of a web software based on MVC for learning evaluation in high school students of the UEI (Ecuador).

The use of the software affects the evaluation process regarding to qualification time in 97%. Timely detection of learning problems in the evaluated subjects increased 95%, avoiding grading errors, which was reduced to 0% and minimizing academic fraud cases in 7%.

The acquisition of real time results that the software presents allows the teacher to timely detect students who didn't reach the required learning efficiency in the development of academic reinforcement plans. As future work it can be considered, applying Artificial Intelligence to generate test questions, based on the level of knowledge that the student demonstrates.

The use of the Scrum methodology and the integration of software architecture helped the team in the software development process, successfully completing the objectives proposed in the research.

## References

- Centeno Brambila, D. A., & Obando Lira, A. (2015). *Sistema de evaluaciones en línea como herramienta para los niveles de educación media superior*. RIDE, 67-91.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Field Andy. (2012). *Discovering Statistics Using R*. ISBN: 9781446200469.
- Gómez Gayosso, J. C. (2016). *Impacto de la Evaluación en Línea en Bachillerato Presencial*. Logos Boletín Científico de la gaEscuela Preparatoria No. 2, 1(2).
- Guevara-Vega, C.P., Guzmán-Chamorro, E.D., Guevara-Vega, V.A., Andrade, A.V.B., Quiña-Mera, J.A. (2019). Functional Requirement Management Automation and the Impact on Software Projects: Case Study in Ecuador. Springer professional, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Volume 918, pp 317-324. doi: [https://10.1007/978-3-030-11890-7\\_31](https://10.1007/978-3-030-11890-7_31)
- INEVAL. (2018). *Plan estratégico institucional 2018*. Quito - Ecuador: Instituto Nacional de Evaluación Educativa.

- INEVAL. (2017). *Informe de resultados Ser Bachiller Ciclo 2016-2017*. Quito-Ecuador: Nacional de Evaluación Educativa, Ineval. URL
- Jácome Ortega, A. E., Caraguay Procel, J. A., Herrera-Granda, E. P., & Herrera Granda, I. D. (2020). Confirmatory Factorial Analysis Applied on Teacher Evaluation Processes in Higher Education Institutions of Ecuador (pp. 157–170). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37221-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37221-7_14)
- Ley Orgánica de Educación Intercultural (2011), *publicada en el Segundo Suplemento del Registro Oficial No. 417 del 31 de marzo del 2011 y su reforma subsiguiente, la Ley Orgánica Reformativa a la Ley Orgánica de Educación Intercultural, publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 572 de 25 de agosto de 2015*.
- López Padilla, A., Sánchez Restrepo, H. S., Espinoza Rodríguez, J. D., & Carmona Soto, M. B. (2013). *Elaboración de ítems de opción múltiple*. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Nacional de Evaluación Educativa (INEVAL).
- Ministerio de Educación (2016). *Instructivo para la aplicación de la evaluación estudiantil*, Ecuador: Subsecretaría de Apoyo, Seguimiento y Regulación de la educación; Subsecretaría de Fundamentos Educativos. Disponible: <https://educacion.gob.ec/documentos-legales-y-normativos/> [Consulta: 25/09/2017].
- Moreno Olivos, T. (2016). *Evaluación del aprendizaje y para el aprendizaje: reinventar la evaluación en el aula*. Mexico: UAM, Unidad Cuajimalpa.
- Navarro, M. E., Moreno, M. P., Aranda, J., Parra, L., Rueda, J. R., & Pantano, J. C. (2017). *Selección de metodologías ágiles e integración de arquitecturas de software en el desarrollo de sistemas de información*. In XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 566-569.
- Pettersson, E., & Turkheimer, E. (2010). *Item selection, evaluation, and simple structure in personality data*. *Journal of research in personality*, 407-420.
- Philippe Kruchten. (1995). *Planos Arquitectónicos: El Modelo de "4+1" Vistas de la Arquitectura del Software*.
- Reglamento General a la Ley Orgánica de Educación Intercultural (2012). *Decreto Ejecutivo 1241, publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 754 de 26 de julio de 2012 y sus reformas subsiguientes publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 955, de 03 de marzo del 2017*.
- Restrepo Ochoa , J. L., Barbosa Pérez, J. L., & Arenas Berrio, J. (2016). *Student acceptance and performance of a virtual platform for training and evaluation of Statics course*. 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (págs. 1-6). Erie, PA, USA, USA: IEEE.
- Rosseel, Y. (2012). *Lavaan: An R package for structural equation modeling and more*. Version 0.5–12 (BETA). *Journal of statistical software*, 48(2), 1-36., 1-36.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo- Senplades (2017): *Plan Nacional de Desarrollo 2017-20121 Toda una Vida. Quito- Ecuador*.

- Subsecretaría de Fundamentos Educativos (2016). *Instructivo para la aplicación de la evaluación estudiantil*. Ecuador: Subsecretaría de Apoyo, Seguimiento y Regulación de la educación; Subsecretaría de Fundamentos Educativos.
- Szabó , T., & Pšenáková, I. (2017). *Computer-aided education and evaluation of student exam tasks from MS Excel*. 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), (págs. 1-6). Stary Smokovec, Slovakia: IEEE.
- UEI. (2017). *Información de la Secretaria de la Unidad Educativa Ibarra de Ecuador*.  
*URL*
- Wortman , K., Duncan, B., & Melin , E. (2017). *Agile methodology for spacecraft ground software development: A cultural shift*. 2017 IEEE Aerospace Conference (págs. 1-8). Big Sky, MT, USA : IEEE.
- Yassien, E., & Masa'de, R. (2017). The Impact of ERP System's Usability on Enterprise Resource Planning Project Implementation Success via the Mediating Role of User Satisfaction. *Journal of Management Research*, 9(3), 49 - 71. doi:10.5296/jmr.v9i3.1118



# La educación online en Brasil: avances y desafíos

Juan Stuardo Yazlle Rocha<sup>1</sup>, Samára dos Santos Sampaio<sup>1</sup>

[juan.yazlle@gmail.com](mailto:juan.yazlle@gmail.com), [sami\\_sampaio@hotmail.com](mailto:sami_sampaio@hotmail.com)

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, Brasil.

**Pages: 524–531**

**Resumen:** Educar en la era digital es enseñar a pensar y promover la educación reflexiva, colaborativa, basada en modelos pedagógicos y con incorporación de recursos digitales para la formación de futuros docentes competentes digitalmente. Universidades públicas y privadas han invertido apreciable cantidad de recursos en la construcción de redes de información y franqueado el acceso a servidores y alumnos. Entretanto es más raro encontrar proyectos educacionales fundamentados en modelos pedagógicos que aprovechen de ventajas como la educación en red, colaborativa, creativa, inductora de la autonomía. El presente trabajo pretende discutir algunos de los factores asociados a esa situación

**Palabras-clave:** educación; era digital; educación creativa.

## *Online education in Brazil: progress and challenges*

**Abstract:** Educating in the digital age is teaching to think and promote reflective, collaborative education, based on pedagogical models and incorporating digital resources for the training of future digitally competent teachers. Public and private universities have invested an appreciable amount of resources in the construction of information networks and open access to servers and students. Meanwhile, it is rarer to find educational projects based on pedagogical models that take advantage of advantages such as collaborative, creative, and inductive autonomy education. The present work tries to discuss some of the factors associated with this situation

**Keywords:** education; digital age; creative education.

## 1. Introducción

Hace veinte años las universidades públicas del Estado de São Paulo, Brasil iniciaron una política de incorporación de recursos digitales en los campus universitarios de la capital y del interior por entender que este recurso es indispensable para la modernización de esta área, aunque las instituciones no hubiesen solicitado tales medidas; dominaba la creencia de que disponer las herramientas para su uso traería espontáneamente el interés por conocer y capacitarse en el uso adecuado de los recursos. Este trabajo trae una visión personal crítica de la evolución de la enseñanza con recursos digitales

en Brasil y de los problemas que aún existen. Tratamos como sinónimos educación a distancia, online y digital.

La verdad es que la cultura del mundo digital se fue desarrollando en las áreas administrativas, de pesquisas y, en menor grado en la esfera de la educación superior. En apoyo a esta área se hizo disponible una plataforma canadiense – WEBCT, WebCourse Tools – que atrajo y respondió a las necesidades específicas de algunas disciplinas y prácticas docentes (Rocha et al., 2006). Debido al costo elevado del permiso de uso de tal aplicativo, después de 3 años fue suspenso y los usuarios migramos para la plataforma libre TELEDUC desarrollada por el Núcleo de Informática Aplicada a la Educación (NIED) y por el Instituto de Informática (IC) ambos de la Universidad Estadual de Campinas, UNICAMP. En 2008 fue disponible la plataforma Moodle – ambiente dinámico de aprendizaje modular orientado a objetivos – sigla en inglés de modular *objective organized dynamic learning environment* – inspirada en concepciones constructivistas y que algunos años después sería adaptada (customizada) a los usos locales. En 2004 estaban catastradas menos de 100 disciplinas usando estos recursos; el número de disciplinas fue creciendo hasta que en 2008 había más de 500 disciplinas usando la herramienta solamente en el Campus de Ribeirão Preto da USP (Rocha, 2015). La institución pasó a ofrecer a los docentes de las escuelas cursos especiales para conocer las facilidades y aplicaciones de la plataforma digital tanto en el pre-grado como en el posgrado.

## **2. La educación digital en la educación superior en Brasil**

El hecho de disponer de las tecnologías digitales en las universidades trajo nuevos desafíos en la enseñanza tanto presencial como online, entre ellos: construir un nuevo abordaje pedagógico enfocando la tarea de evaluar y suministrar la necesidad de la presencia del educador en los ambientes virtuales, como ofrecer y estimular oportunidades de aprendizaje personalizadas, posibilitando la construcción del conocimiento de modo colaborativo.

Aproximadamente una década después de la introducción masiva de la educación online aparecen en la literatura científica nacional los primeros relatos de experiencias y evaluaciones de los resultados. Estas evaluaciones tenían como objetivo legitimar la opción de educar con auxilio digital y, en grande parte, “probar” ser a educación online “igual” a la educación presencial, cuando en EUA y el Reino Unido esa ya era una cuestión superada con evaluaciones que apuntaban la igualdad con algunas ventajas para el *e-learning*: los contenidos son fácil y rápidamente disponibles para los alumnos, el material expuesto no se “consume, ni gasta” sino que permanece íntegro para los próximos usuarios; es posible trabajar con grupos pero igualmente con estudiantes individualmente; trabajos discentes son publicados en el portal de la disciplina y pueden ser apreciados por todos; grupos de estudiantes pueden escoger objetos específicos de estudio dentro de la materia en cuestión (por ejemplo el sistema municipal de salud de la ciudad de mi interés, Rocha, 2006). Alumnos pueden enriquecer el estudio y discusión con nuevos textos o datos colocados al alcance de todos. La evaluación de los estudiantes se desprende de la tradicional respuesta a preguntas o solución de problemas específicos

para promover la interacción con la realidad recortada por los temas de la disciplina, incorporando también cuestiones interdisciplinarias.

Una hipótesis para el poco uso de los recursos online podría ser el desconocimiento y la falta de preparación de los docentes de la universidad para aprovechar las oportunidades ofrecidas por la educación online. Otra hipótesis es la ausencia de incentivos salariales al profesional que consigue utilizar la tecnología guiado por una pedagogía transformadora y que torne el proceso de educar más efectivo. Según Bates (2017), en general, los profesores de la Enseñanza Superior tienen poca o ninguna formación en enseñanza, pedagogía e investigación sobre aprendizaje. La persistencia de modelos de enseñanza basados o con gran predominio de clases formales, expositivas elude la necesidad de inversiones en la infraestructura digital – y los bajos salarios a profesores en universidades privadas garantizan eso.

De otro lado, la cultura digital diseminada en las capas sociales más abastadas presiona y valoran instituciones educacionales más modernas y mejor equipadas. La informatización de las universidades públicas mejoró la administración, la comunicación entre docentes y grupos colaborativos y se extendió a la enseñanza de pre-grado y de posgrado. Incluir disciplinas en plataformas digitales – ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) o LMS (learning management systems), – puede ser un poco trabajoso al estructurar la primera edición, pero resultan más fáciles y amigables para actualizar y preparar las sucesivas versiones - lo que hace la enseñanza digital (elearning) ventajosa para cursos regulares. Del punto de vista de los alumnos, la inserción de respuestas a ejercicios, tareas, etc. es muy fácil y valorado por alumnos de posgrado y menos por los alumnos de pregrado.

Ter Haar & Romero (2015), constataron que el uso de plataforma digital en la enseñanza creció de 30 a 50% en el primer semestre de aquel año y que aproximadamente 20% de las disciplinas ofrecidas en la universidad y 20 mil usuarios activos contaban con el apoyo de la e-Disciplinas – la plataforma moodle adaptada para el uso en la USP.

### **3. Algunos estudios de evaluación de la educación online en Brasil**

Rocha et al. (2006), describen la experiencia de los autores con la utilización del eLearning dentro de los recursos ofrecidos por la universidad de São Paulo en una disciplina de graduación del curso médico; la reducción de la carga horaria disponible para la disciplina y la necesidad de estudiar objetivamente los sistemas municipales de salud reorganizados en el desarrollo del sistema nacional de salud de Brasil, trajo la migración de la disciplina de la modalidad presencial para la modalidad online. Fue importante elevar la motivación de los alumnos arriba del nivel conseguido en las clases presenciales, la inducción a una postura proactiva del cuerpo discente que aceptó bien la oportunidad de investigar sistemas municipales de su interés bien como la aceptación de la inclusión digital que se iniciaba en esa época. La experiencia motivó otras disciplinas a migrar para la utilización de los recursos digitales.

Maseto (2013), señala que los recursos digitales traen ventajas delante las nuevas demandas para el aula universitaria (AU) como espacio de investigación, de construcción del conocimiento interdisciplinar, como espacio de aprendizaje y como espacio y tiempo

de uso de tecnologías de información y comunicación. Buscar las innovaciones posibles a fin de dinamizar a través de nuevos procedimientos.

Peres (2014), en su tesis de doctorado refiere que 30% de los docentes que vivenciaron la utilización de recursos digitales, incorporan el uso de esas plataformas en sus cursos de extensión; reconoce la importancia de la formación pedagógica de los docentes y cree que el cambio debe partir de las necesidades de los alumnos y no de los profesores. Cita Demo (2011) que critica la oferta de cursos rígidos, autoritarios, impositivos, centrados en la instrucción y sin la flexibilidad que sería esperada.

Rocha (2015), cita Benkler (2006), que afirma que la economía de la información en red impacta significativamente la producción y distribución del conocimiento tornando su disponibilidad la mayor de la historia. Añade que las nuevas demandas en la formación y calificación de jóvenes para la era digital presionan las interacciones entre educandos, educadores y los contenidos disponibles. La implementación de nuevas estrategias educacionales con sus herramientas respectivas carece de profesionales preparados y capacitados para su uso. Plataformas digitales facilitan la integración de actividades y procesos cognitivos, metacognitivos y motivacionales (Rocha, 2015). Esta dimensión disponible para cursos online raramente es cultivada en cursos y disciplinas presenciales y constituye una notable ventaja de los cursos con tecnologías. Al final de un curso virtual, paradójicamente, el curso “virtual” se transforma en una pieza objetiva, real – con los registros de contenidos, discusiones, tareas y elaboraciones individuales o colectivas grabados digitalmente - en contraste con los cursos tradicionales “reales” donde al final del curso los contenidos, actividades, resultados, etc. guardan apenas algunos registros y, en general, se transforman en recuerdos virtuales guardados en la memoria de los participantes.

Oliveira, Cortiniglia & Longhi (2015) estudiaron las condiciones ambientales para la adopción y difusión de Ambientes Virtuales de Aprendizaje en la enseñanza presencial superior en la perspectiva del docente. Aplicaron la Teoría Unificada de aceptación y uso de la tecnología (UTAUT – Unified Theory of Acceptance and Use of Technology) basada en cuatro constructos que serían los que influyen la intención de uso y el uso de la tecnología: expectativa de desempeño, expectativa de esfuerzo, influencia social y condiciones facilitadoras. Refieren que algunos recursos son facilitadores para las actividades de enseñanza presencial, por generar mayor economía de tiempo en el gerenciamiento de los materiales de la disciplina, organización de las tareas y comunicaciones con los alumnos, siendo que el uso del ambiente podría traer beneficios a la carrera docente, con más preparación para actividades inter institucionales. Sin embargo, los docentes relataron dificultades con las herramientas de interacción (foro y chat), por el uso necesitar “una reestructuración en el método pedagógico y reserva de tiempo extra a la sala de aula para acompañar y dar respuestas a los comentarios y dudas de los alumnos”. Una cuestión importante levantada por los autores es: ¿por que no se utilizan las ventajas propiciadas por las TIC en la ampliación y transformación de la educación superior? Algunos autores señalan que la respuesta a la pregunta está en el proceso de formación de los profesores y por eso es necesario proponer procesos de formación adecuados como, por ejemplo, en el área de salud, no apenas el conocimiento técnico, más, sobretodo, el conocimiento pedagógico sobre lo que estos métodos representan y la importancia de la centralidad en el estudiante.

Peres, Suzuki & Azevedo-Marques (2015), estudiaron una facultad en la región sudeste de Brasil, bien equipada y con buenos espacios para la utilización de los diversos recursos digitales que propiciaron el desarrollo de redes de telesalud, UMA-SUS e RUTE – red nacional de telesalud dirigidas al perfeccionamiento continuo de profesionales en actualización y capacitación de la atención a la salud. Refieren que el uso de las TIC en la enseñanza es limitado en gran parte por el desconocimiento de los profesores de los recursos ofrecidos y de las estrategias pedagógicas y sugieren la estructuración de núcleos multiprofesionales de apoyo a la implementación y desarrollo de la educación online.

Según Pereira et al. (2016), el docente con competencia en las TIC (deberá ser) capaz de pesquisar, administrar, analizar y transformar la información en conocimiento; trabajar en equipo; compartir el conocimiento con responsabilidad y ética; incorporar las tecnologías en su desarrollo personal y profesional como parte integrante de su realidad. En este escenario, el profesor universitario necesita desarrollar la capacidad de aprender a lo largo de la vida, llevando en cuenta los rápidos cambios característicos de nuestra sociedad. La pesquisa nos hace reflexionar, aunque la universidad precisa se adaptar a la evolución tecnológica actual, que exige la alteración de políticas, currículos y prácticas educativas. Ninguna reforma educacional tendrá valor si la formación de los docentes no fuere priorizada.

Sampaio (2017), realizó una pesquisa evaluativa referente a la forma de utilización del recurso digital (moodle) en una renombrada escuela médica que poseía 18 Programas de Maestría y Doctorado donde eran ofrecidas 217 disciplinas presenciales o mixtas, siendo que, de estas, 31 (14%) catastradas en el ambiente digital de la universidad. La forma de utilización fue confrontada con una matriz de clasificación de las actividades propuestas (check-list). De los datos obtenidos con las 20 disciplinas en el ambiente moodle se evidenció la utilización preponderante de archivos y rótulos y de las actividades del foro de noticias y tareas, caracterizando así subutilización del ambiente. Mudanzas son necesarios para la formación de profesionales del área de salud aptos a trabajar con los avances de las tecnologías de información y comunicación.

#### **4. Los desafíos para la educación creativa e innovadora**

¿La era digital ha causado la transformación del conocimiento? ¿Deberá impactar la forma de enseñar? Discutir la relación entre la epistemología las teorías de la enseñanza y los métodos de educación no está presente y es raro, en nuestra vivencia académica tradicional tal es la fuerza de los modelos dominantes de la educación superior. El desarrollo de las tecnologías de información y comunicación viene transformando nuestro mundo y ha abierto espacio para discutir la naturaleza del conocimiento, rediscutir las teorías educacionales y ahora, los métodos y técnicas de enseñanza, a ese respecto un excelente compendio es el libro *Educación en la Era Digital* de A.W. (Tony) Bates (2017).

El conocimiento se apoya en “la diversidad de opiniones, el aprendizaje es conectar nodos especializados, puede residir en dispositivos no humanos. La capacidad de saber más es más importante que lo conocido. Fundamental es la capacidad de ver conexiones entre áreas, ideas y conceptos. La intención del aprendizaje es la circulación; decidir es un proceso de aprendizaje” (Siemens, 2004, p.6).

Mientras la Era Digital no se establecía en el mundo, la educación tradicional dominó la educación y no había porqué cambiar las prácticas para nuevos modelos. La crisis en la educación se instala y 20 años después el estudio de la absorción de tecnologías digitales en la enseñanza en Brasil ilustra que los desafíos aún persisten: la educación continua disciplinar, para pocos y las tecnologías digitales se tornaron apenas un complemento al enfoque pedagógico tradicional (Valente, Moreira & Dias, 2012; Masetto, 2013; Peres, 2014; Rocha, 2015; Sampaio, 2017).

El conocimiento de los contenidos y el dominio de las habilidades es esencial aún “en áreas donde hay sendas profesionales claras, tales como medicina, enfermería o ingeniería, donde la base del conocimiento y las condiciones de trabajo tienden a sufrir cambios y rápidas transformaciones a lo largo del tiempo” (Bates, 2017, p.52) se pierde la oportunidad de innovar y estimular sea presencial y/o a distancia, la creatividad del pensamiento; el conocimiento es trabajado de forma disciplinaria y sin la relación permanente docente-ambiente, docente-docente, docente-discente, discente-discente, discente-ambiente, ambiente-ambiente sin estimular debates, críticas, dudar de explicaciones e inquirir la realidad (Anderson, 2008; Masetto, 2011; Batista, & Pedro, 2015; Peres, Suzuki, & Azevedo-Marques, 2015; Rocha, 2015; Sampaio, 2017).

La enseñanza en salud, aún cuando incorpora tecnologías no estimula el estudiante a aprender a aprender, dejando dudas sobre cuánto ha sido capaz de promover la autonomía de los futuros profesionales. Las instituciones de educación vienen realizando altas inversiones en la informatización y en el estímulo a la cultura digital. Entretanto la oferta a docentes y alumnos de redes de comunicación, redes de transmisión, equipos de grabación, islas de edición, salas de videoconferencias y otras, a pesar de necesarias no consiguen impactar en la transformación del modelo educacional.

Entre las grandes demandas en la educación en general y en la salud en particular, algunas metas se destacan: promover la autonomía de los estudiantes y prepararlos para la vida fuera de la universidad – aprender a aprender. La metacognición – más fácil de practicar y desarrollar en la educación online, es fundamental para concientizar el proceso de aprendizaje. El trabajo colaborativo es más fácil de desarrollar con la formación de grupos en ambientes digitales y es importante factor de promoción de la creatividad.

En las universidades públicas donde es voluntaria la adhesión a la educación online, con formato híbrido o no, genera grande subutilización de los recursos y el resultado puede ser más de refuerzo del modelo tradicional, sin innovación, que de transformación. Se hace necesaria una acción política para debatir el camino del cambio. Si el objetivo de la institución es estimular el profesor a usar esas herramientas tecnológicas como, por ejemplo, el formato constructivista, entonces, es preciso ampliar el apoyo pedagógico y el estudio de las teorías que envasan la educación online.

## 5. Post Scriptum

La inesperada pandemia de covid.19 en el 2020 con la imposición de cuarentenas y aislamiento social ha llevado a suspender clases presenciales y para disminuir los prejuicios a la educación se recurre a la utilización de tecnologías: en poco tiempo la



necesidad está cambiando prácticas educacionales y llevando a reflexionar sobre el futuro de este campo.

## Referencias

- Anderson, T. (2008). *The Theory and Practice of Online Learning*. (2ª Ed.), Edmonton: AU Press, Athabasca University Press.
- Bates, A. W. T. (2017). *Educar na era digital: design, ensino e aprendizagem*. Traducción João Mattar. (1ª Ed.), São Paulo: Artesanato Educacional.
- Batista, S., & Pedro, N. (2015). Pedagogical usability: A determining factor in the adoption of e-learning in higher education. In A. Rocha, A. Martins, G. P. Dias, L. P. Reis, & M. Pérez Cota (Eds.). *Proceedings of 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies – CISTI* (Vol. II, pp. 342-344). Agueda: AISTI e Universidade de Aveiro. Retrieved from: <https://drive.google.com/file/d/oB4ekOr-wrr71bFpJeEJ2bjZxUUo/view?pref=2&pli=1>
- Benkler, Y. (2006). Introduction: A Moment of Opportunity and Challenge – Chapter 1. In: Benkler, Y. *The wealth of networks: how social production transforms markets and freedom*. p.1-28. New Haven and London: Yale University Press.
- Maseto, M. T. (2011). Inovação na aula universitária: espaço de pesquisa, construção de conhecimento interdisciplinar, espaço de aprendizagem e tecnologias de comunicação. *Perspectiva*, 29(2), 597-620. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-795X.2011v29n2p597>
- Masetto, M. T. (2013). Mediação pedagógica e o uso da tecnologia. In: Moran, J. M., Masetto, M. T., & Behrens, M. A. *Novas tecnologias e mediação pedagógica*. (21ª Ed.), p.141- 171. Campinas: Papirus.
- Oliveira, D. T., Cortiniglia, M. N., & Longhi, M. T. (2015). Ambientes Virtuais de Aprendizagem no Ensino Superior Presencial: o processo de adoção da tecnologia na perspectiva do docente. *Revista Bras Aprendizagem Aberta e a Distância*, 14 (14):35-52. doi: <https://doi.org/10.17143/rbaad.v14i0.263>
- Pereira, T. A., Areco, K. C. N., Tarcia, R. M. L., & Sigulen, D. (2016). Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação por Professores da Área da Saúde da Universidade Federal de São Paulo. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 40(1); 59-66. doi: <https://doi.org/10.1590/1981-52712015v40n1e01482015>
- Peres, C.M. (2014). *Estudo da dimensão pedagógica de ambientes virtuais de aprendizagem na graduação em saúde*. (Doctoral Thesis in Clínica Médica), Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Peres, C., Suzuki, K., & Azevedo-Marques, P. (2015). Recursos tecnológicos de apoio ao ensino na saúde. *Medicina (Ribeirão Preto)*, 48(3), 224-232. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v48i3p224-232>

- Rocha, J. S. Y.; Caccia-Bava, M. C. G. G.; Rezende, C. E. Pesquisa-aprendizagem no ensino da política e gestão de saúde: relato de uma experiência com e-Learning. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 30(1), 73-78. <https://doi.org/10.1590/S0100-55022006000100011>
- Rocha, J. (2015). Uso de tecnologias da informação e comunicação na educação em saúde. *Problematização e desenvolvimento. Medicina (Ribeirão Preto)*, 48(3), 214-223. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v48i3p214-223>
- Sampaio, S. S. (2017). *A Educação em Saúde e o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação*. Ribeirão Preto (Dissertation in Ciências), Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Siemens, G. (2004). *Conectivismo: uma teoria da aprendizagem para a era digital*. Tradução Bruno S. Leite (2011). Retrieved from: <http://docplayer.com.br/53538608-Conectivismo-uma-teoria-da-aprendizagem-para-a-era-digital.html>
- Ter Haar, E., & Romero, T. R. L. (2015). Adesão a Tecnologia Educacional: o caso do Moodle do Stoa. 1<sup>a</sup> Congresso de Graduação da Universidade de São Paulo. 25-27.
- Valente, L., Moreira, P., & Dias, P. (2012). Moodle: Moda, mania ou inovação na formação. In: Alves, L.R.G., Barros, D.M.V., Okada, A. Moodle: estratégias pedagógicas e estudos de caso. (2<sup>a</sup> Ed. ), p.37 - 56. Salvador: Eduneb.



# Aproximación al periodismo cuántico: la próxima revolución

Yalitza Therly Ramos-Gil<sup>1</sup>, Carmelo Márquez-Domínguez<sup>2</sup>, Iris Argüello<sup>3</sup>,  
Elizabeth Guzmán<sup>1</sup>, Ayelen García<sup>1</sup>, Christian Acosta<sup>1</sup>

ytramos@pucesi.edu.ec, carmelomarquez@gmail.com, iarguello@udla.cl, epguzman@pucesi.edu.ec, aagarcia1@pucesi.edu.ec, ciacosta@pucesi.edu.ec

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100150, Ibarra, Ecuador.

<sup>2</sup> Independiente, 11100, San Fernando, España.

<sup>3</sup> Facilitadora del Programa de Intervención Comunitaria, Universidad de las Américas, Campus Santiago Centro, Echaurren #140, Santiago, Chile.

**Pages: 532–545**

**Resumen:** La pretensión académica de este trabajo es circunscribirlo a la ciencia de la comunicación (y de las ciencias sociales) para debatir en torno al fenómeno de interacción humana y su futura evolución desde la teoría de la información cuántica hacia al ámbito periodístico. Se trabaja una metodología con enfoque interdisciplinario, de carácter mixto, a través de dos experimentos mentales de la física cuántica: “la doble rendija (de Young)” y el “la paradoja del gato de Schrödinger”. Ambos, utilizados para examinar el caso del avión que sobrevoló – durante horas– el aeropuerto de Adolfo Suárez, Madrid, Barajas el pasado 3 de febrero de 2020 en una maniobra de emergencia. Como resultado de la investigación, se visibilizó el punto de vista subjetivo del observador, creando y modificando la realidad con el solo hecho de observarla. Se concluye que el periodismo cuántico abre nuevos escenarios y probabilidades de representar la realidad en sistemas de información.

**Palabras-clave:** observador; realidad; información; comunicación; teoría cuántica.

## *Approach to quantum journalism: the next revolution*

**Abstract:** The academic claim of this paper is to circumscribe it to the science of communication (and social sciences) to debate the phenomenon of human interaction and its future evolution from the theory of quantum information to the journalistic field. A methodology with an interdisciplinary approach, of mixed character, is worked through two mental experiments of quantum physics: “the Young’s double slit” and “the paradox of the Schrödinger cat”. Both, used to examine the case of the plane that flew over – for hours– the Barajas Adolfo Suarez airport (Madrid) on February 3<sup>rd</sup>, 2020 in an emergency maneuver. As a result of the investigation, the subjective point of view of the observer was made visible,

creating and modifying reality with the mere fact of observing it. It is concluded that quantum journalism opens new scenarios and probabilities of representing reality in information systems.

**Keywords:** observer; reality; information; communication; Quantum theory.

## 1. Introducción

En esta investigación se adecuan aspectos de la física teórica al imperante sistema informativo para comprender que los canales clásicos de transmisión informativa están muy alejados de la nueva –y próxima– concepción del ejercicio periodístico. Se trata de aportar conocimiento y abrir el debate desde un paradigma emergente en el que se ubican las características que rigen las leyes de la teoría de la información cuántica, trasladándolas al terreno de la comunicación y, concretamente, a la práctica del periodismo.

Se argumentarán las ideas con un enfoque interdisciplinario, fusionando el periodismo como método y disciplina de la ciencia de la comunicación con la teoría de la información cuántica. Se tomó en cuenta las opiniones de cinco científicos europeos importantes de la física teórica y de los avances realizados hasta el momento, así como la consulta a expertos en el campo del periodismo.

Paralelamente, se aplicó lo que se denominará en el presente trabajo como “experimento Barajas”: un experimento mental basado en un hecho periodístico real sucedido el pretérito 3 de febrero de 2020, cuando un Boeing 767-300 del vuelo Air Canadá AC837 con destino a Toronto sobrevoló durante cinco horas el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid Barajas en una maniobra de emergencia debido a un daño en una rueda al despegar, que se complicó con un problema del motor izquierdo.

Durante ese tiempo, prácticamente todos los medios nacionales y muchos otros internacionales cubrieron este acontecimiento al mismo tiempo que la ciudadanía hacía lo propio con sus teléfonos móviles inteligentes (5G, con cámaras de alta definición, etc.), sin obviar a los pasajeros desde dentro de la aeronave.

El análisis de este hecho se ayuda y se basa teóricamente del “experimento de la doble rendija”<sup>1</sup> y de la “paradoja del gato de Schrödinger”<sup>2</sup>. Dos ejercicios mentales que tuvieron sus implicaciones en las explicaciones de los objetos cuánticos, tales como la superposición, el entrelazamiento, el principio de incertidumbre de Heisenberg y el punto de vista inevitablemente subjetivo del observador (Ball, 2018). Todo, con el objetivo de alcanzar una aproximación teórica desde la teoría de la información cuántica hacia –posiblemente– el inicio de una nueva perspectiva científica en la teoría del periodismo. El avance de este enfoque interdisciplinario, con este (“experimento Barajas”) y próximos trabajos, logrará insertar el significado de “lo cuántico” al periodismo.

Se elaboró un diagrama ilustrativo para explicar que las rarezas cuánticas se trasladan también a la vida diaria más allá de la realidad microscópica que se suele explicar con la

<sup>1</sup> Realizado en 1801 por el científico inglés Thomas Young (1773-1829).

<sup>2</sup> Concebido en 1935 por el físico austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961).

teoría cuántica, asumiendo que, si se aplica esta teoría al hecho periodístico, es posible trascender dicha realidad desde ese nivel de explicación.

El propósito no es otro que dar ideas de las mejores conjeturas del “experimento (mental) Barajas” como una teoría propositiva en el rigor de las leyes científicas. En todo caso, replantearse las ideas del mundo de la física teórica a las perspectivas del periodismo moderno.

Concretamente se tomó la cobertura en directo (*streaming*) desde YouTube realizada por diferentes plataformas digitales de medios de comunicación españoles y, así, observar la noticia (de una realidad) a través de la audiencia (observadores). Es aquí, en el análisis, donde “entran en juego” los dos experimentos señalados, extrapolándolos para debatir los datos, las teorías y las implicaciones de los dispositivos móviles, imágenes, testimonios, mensajes y la participación del observador.

Aunque los intelectuales han explicado el concepto de la información en muchos niveles, irrisoriamente se ha dado una perspectiva en el mundo social del interaccionismo simbólico del estudio periodístico. Este estudio lleva a lo largo de tres años de investigación, muchos momentos de reflexión y de debate, compartido, inclusive, con los físicos cuánticos entrevistados, quienes afirman tajantemente, su implicación de la física cuántica en la comunicación, pero como físicos al fin, desconocedores de las teorías periodísticas. Podemos decir que, estas perspectivas nuevas surgen de la completa justificación empírica de los experimentos de la física cuántica. Por lo tanto, la investigación se fundamenta en elementos comprobatorios.

Y, por otra parte, la rareza cuántica que se explica en el “experimento Barajas” va desde lo técnico a lo ontológico. Matemáticamente hablando, una inmersión en la disciplina del periodismo a la luz de la física cuántica, que está presente diariamente y que no vemos.

En la dimensión matemática coexisten varios hitos importantes (Huget, 2013):

- Alan Mathison Turing y Jhon Von Neuman moldearon las bases para el desarrollo del ordenador
- Claude Elwood Shannon fundó las de las tecnologías de la información. Cabe agregar que Shannon y Warren Weaver, fundamentaron el modelo matemático de la información.
- El paradigma de Harold Laswell catapultó la teoría matemática de la información con la teoría de la comunicación, influenciado la tradicional fórmula: “¿Quién dice que, a quién, por qué canal y con qué efecto?”.

Ahora –como este– muchos estudios intentan abrir el debate sobre el resquebrajamiento de las 5W<sup>3</sup> como práctica válida y verdadera vinculada al ejercicio profesional de la información en la presentación de la noticia. A partir de este axioma, en la concepción de las leyes cuánticas, la realidad es creada por la unidad de la información que es difícil de describir. Pero el fenómeno que siempre ocurrió ahora puede ser observado

---

<sup>3</sup> La teoría del periodismo se ha regido por dos reglas básicas: las preguntas sobre el hecho (qué, cómo, cuándo, dónde, quién/quienes) conocidas como las 5W en su noción anglosajona, que responde a la presentación de la información y la noticia en los diferentes formatos de la estructura narrativa; la regla que se orienta al razonamiento lógico de buscar la verdad.

y descrito, –se reitera– todavía con dificultad, aunque más fácilmente, mediante la miniaturización de los dispositivos que se utilizan para la transmisión y el procesamiento de la información, la utilización de aplicaciones y la incorporación de aparatos inteligentes (teléfonos inteligentes, drones, cámaras en tres dimensiones) que alteran, en tiempo real, la percepción de la realidad con sólo observarla.

Se hace necesaria una aclaración: no se intenta responder a las analogías mentales sino iniciar el camino con más preguntas que respuestas, acariciando a la filosofía, por supuesto. La alteración tecnológica lleva a la idea de que cualquier observador de la vida real, al mirar una realidad, se cuestione de qué información se habla, reconociendo que una unidad informativa más allá del dígito binario puede crear nuevas realidades, superando, así, el modelo clásico informático del bit.

## 2. El entrelazamiento y la superposición informativa

### *Es la primera vez que escucho y leo el término ‘periodismo cuántico’*

Martin Baron, Editor Ejecutivo de The Washington Post (octubre, 2018)

De acuerdo a las entrevistas realizadas a Antonio Acín y a José Ignacio Latorre, a la cuestión sobre cómo la información cuántica puede afectar a los medios, ambos coinciden que, en el mundo de la información cuántica y sus derivadas como la computación y la criptografía cuántica, “sin duda se están empezando a alterar ciertos sectores de la economía” (J.I. Latorre y A. Acín, videoconferencia, 2 de julio de 2018). Eso implica un cambio disruptivo desde el punto de vista tecnológico debido a la alteración en las estructuras de mercado las redes de valor y los modelos de negocio según Clayton M. Christensen y Joseph Bower (1995, 1997; citados en Campos-Freire, 2015).

Sin embargo, alegan los físicos entrevistados, que la teoría de la información cuántica no se aplica al campo de la comunicación social, en especial, a la del periodismo porque sólo es aplicable a escala microscópica. En palabras de los autores, “no se entiende cómo pueden afectar a los medios” y, sobre todo –dicen– “todavía nos falta perspectiva” para entender estos acontecimientos (J.I. Latorre y A. Acín, videoconferencia, 2 de julio de 2018).

Es importante reconocer que, hasta hace poco, se pensó que los hechos reales sólo podían ser descritos y contenidos en bits de información, deduciendo, de esta manera, que los hechos más sencillos suelen ser los binarios. Según la entrevista realizada a Vlatko Vedral, en el programa “Redes”, por el divulgador científico Eduard Punset (2011), “la luz puede estar encendida o apagada, una mujer puede estar embarazada o no lo está”. En su libro, dice Vedral (2010) que cuanto más complejo es un hecho, se necesitan más bits para describirlo. Como resultado de esta premisa las unidades de información son las que crean la realidad, no la materia ni la energía.

A esta opinión, se suma la de Cirac (2018) y la de Ball (2018), quienes concuerdan en cuanto al papel que cumple el punto de vista subjetivo del observador. Estos planteamientos nos llevan a profundizar la perspectiva del sujeto en la física cuántica. Ese sería el paso siguiente para “entender que el uso cotidiano de la palabra información” (Ball, 2018, p.17)

podría resumir que esa aproximación en los avances comunicacionales del mundo cuántico hacia el mundo real dado desde el periodismo es un tránsito por estudiar.

Interpretando a Vedral (2010), en el mundo real, los hechos ya no son iguales que en el antaño. Todo está regido por información, ya sea en su estado físico de la unidad, materia o energía, o de la “forma” intangible de presentar el mensaje. Pero, sobre todo, la noción del hecho periodístico podría cambiar por el surgimiento de evidencias empíricas y experimentales que hasta ahora había sido impensable, inclusive, para los grandes medios digitales como The Washington Post, cuando el Editor Ejecutivo, Martin Baron, comentó: “es la primera vez que escucho y leo el término “periodismo cuántico” (M. Baron, Google Mail, 10 de octubre de 2018).

En cualquier caso, se puede decir que el hecho ya no es uno solo, ya no es sagrado. En palabras del profesor Miguel Alcívar (2016), va más allá de la creencia común de entender las opiniones como libres y los hechos como sagrados. La mirada y la condición por la cual actualmente se procesa la información cambia vertiginosamente la manera de pensar. La lógica y el sentido común son desafiadas constantemente por la influencia tecnológica, la disrupción de los dispositivos, la expansión de la economía digital y la influencia de enunciados que posibilitan cambios en la vida de la gente.

Explica Vedral (2010, p.137), que “la escala más pequeña del universo –la que se rige por las leyes de la física cuántica– parece un desafío al sentido común”. Los objetos subatómicos pueden estar en más de un sitio a la vez, dos partículas en extremos opuestos de una galaxia pueden compartir información instantáneamente y el mero hecho de observar un fenómeno cuántico puede modificarlo radicalmente.

Pero ¿qué llaman los físicos teóricos un fenómeno cuántico? Según José Ignacio Latorre, (2017, p.5):

*El postulado I de la mecánica cuántica establece que la información que tenemos sobre un sistema físico viene descrita por un objeto matemático que llamamos función de onda [...]. Podemos predecir, por ejemplo, lo que hará un electrón, pero no lo que es un electrón en su esencia más íntima. Tampoco sabremos por qué existe un electrón. Solo sabremos manipular la información que lo describe.*

Bajo este principio, la “función de onda” contiene toda la información en un estado físico. ¿Qué significa esto en el campo de la comunicación?

La física cuántica realiza tareas con fenómenos nuevos, como la simulación cuántica, de vuelos, superconductores, comportamiento de materiales, la informática y con tecnologías que se aproximan a la información mediante el uso de los transistores, los sensores y diferentes dispositivos que manipulan moléculas individuales y sistemas meteorológicos, entre otros avances en el desarrollo de las comunicaciones de la segunda revolución cuántica. Llegando con ello, a la búsqueda de la teletransportación informativa, que está basada en las propiedades fundamentales de la cuántica (Zeilinger, 1997), es decir, el entrelazamiento y la superposición y que se proyectan como portales de ciencia ficción para intentar trascender, justamente desde la física teórica al sistema de información cuántico, tarea que hasta no se ha logrado del todo.

La teletransportación informativa es una perspectiva más profunda que, mediante la tecnología cuántica, plantea la alteración de sistemas informativos como único medio que transfiere un estado a otro (Pineda, s/a). Es decir, se pretende colocar propiedades fundamentales desde la física cuántica en dos estados de la información a la vez que pueden estar entrelazadas y superpuesto. Desde el estado invisible da “forma” de envío y recepción del mensaje.

¿Qué tiene que ver el observador con todo esto? ¿Qué se sabe de las cosas que se comportan de manera rara? En el discurso de la física cuántica, no nos dicen que sucede en el “mundo real”. Las peculiaridades de la “rareza” cuántica y del periodismo están contextualizadas en las representaciones y simbologías de los significados que se saben y se conocen vinculados a aspectos del lenguaje y su significado (Ball, 2018).

Las audiencias y los medios construyen representaciones simbólicas desde el lenguaje, actuando como una función de onda, como la única herramienta válida de dar sentido a la realidad, ya que “los signos son unidades significantes que toman forma de palabras, imágenes, sonidos, gestos y objetos, estudiados dentro de un sistema de signos semióticos como medios o códigos” (Sabán, 2018, p.28). Por tanto, coexiste una representación simbólica de la realidad a escala vibratoria del pensamiento.

Afirma Acín (2012) que la sociedad actual es, a menudo, bautizada como la sociedad de la comunicación, debido a la importancia que los medios de comunicación desempeñan en la realidad. Hoy en día, y a través de las computadoras o teléfono móvil, se puede acceder a cualquier punto del planeta y obtener información detallada de cualquier tema, lo que era inimaginable hace unos años. Para Acín (2012), las leyes cuánticas, conjeturaron una revolución en la comprensión de la naturaleza a escala microscópica y, por tanto, un cambio de paradigma en el modo en el que se concibe la información devenida de la tecnología. En la cotidianidad, el uso de dispositivos como los móviles, cambian la manera de transmitir y entender la información. Para este autor, el objetivo principal de la teoría de la información cuántica es entender cómo se puede manipular y procesar información almacenada en partículas cuánticas como la luz.

Según la observación realizada por Gordon Moore<sup>4</sup>, la tendencia podría ser que en el futuro se codificará información en partículas atómicas. A la tarea de estudiar la miniaturización, se sumó a los escenarios cuánticos, el proceso de transmitir información tal como lo planteó Acín.

A pesar de estos avances, donde existe un consenso generalizado de la teoría de la información cuántica, no se ha aclarado del todo el papel de la tecnología implicada en este campo y en otras disciplinas de las ciencias humanas, como es en el caso del periodismo, cuyas acciones reposan en la complementariedad del papel del observador en la teoría de la información cuántica. Únicamente se ha estudiado con cierto énfasis en los ámbitos de la computación cuántica, la simulación cuántica y la criptografía cuántica. El fenómeno cuántico se ha entendido a escala microscópica y social desde la tecnología.

---

<sup>4</sup> Fundador de Intel, estudió la evolución de los dispositivos de información con el paso de tiempo, dándose cuenta que el tamaño de los mismos disminuía de manera exponencial.

Una especie de *interdumbre*<sup>5</sup> en el sistema de información (Márquez-Domínguez, Ulloa y Ramos-Gil, 2018).

### 3.1. El ‘experimento Barajas’.

Desde la física cuántica, se trató de analizar cómo los comportamientos paradójicos o increíbles que se dieron en un hecho real noticioso, ocurrido el lunes 3 de febrero de 2020, y relatado por los medios digitales, agencias de noticias, espectadores y audiencias virtuales pudo servir para explicar una teoría de la propia “información”.

El experimento consistió en aplicar al hecho real periodístico dos experimentos:

1. El experimento cuántico de la doble rendija en el que se concluye que el observador modifica el comportamiento de los eventos por el simple hecho de observar lo sucedido;
2. y la paradoja del gato de Schrödinger, de la física cuántica, que resume que los hechos más sencillos suelen ser los binarios y representan dos alternativas posibles con dos estados a la vez.

Según Bayoud (2020), del medio de comunicación France24, el sumario de la noticia fue el siguiente:

*Un Boeing 767 de Air Canadá aterrizó con éxito en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid Barajas este lunes 3 de febrero después de reportar un problema de motor y una explosión de un neumático del tren de aterrizaje durante el despegue. El piloto tuvo que volar alrededor del aeropuerto durante varias horas para quemar combustible antes de aterrizar con los 128 pasajeros.*

El análisis precedente propone debatir que no se puede medir nada sin alterarlo desde el punto de vista subjetivo del observador en el ámbito del periodismo. Se plantea además que la “función de onda” (como uno de los postulados de la física cuántica) que contiene toda la información de un sistema físico, en la mirada de la teletransportación informativa, se rige por la “forma” en la que se entrelaza la información a escalas imaginables en la mente del telespectador virtual, facilitado por el uso del *streaming* como herramienta.

Desde la tesis de Vedral (2010), en la que la información es la que crea la realidad y la función de onda contiene toda la información de un sistema físico, cabe reflexionar lo siguiente:

Sí se observa sobrevolar el avión (una misma acción), en qué momento la acción de observar y volar cambió el sistema de información (comprender en tiempo real) para que la realidad fuera entendida.

<sup>5</sup> Fenómeno de la estructuración de la información que se comporta a través de fases y que va resurgiendo a medida que cambia el Nuevo Sistema Internacional de Información y Comunicación. Este NSIIC analiza las conexiones sociales, tecnológicas, computacionales y sociológicas para la creación de diferentes instituciones en una sociedad como una especie de estructuración de la información. Cuando la sociedad pasa de una fase a otra, (reconociendo la existencia de muchísimas otras). Se entiende poco por la confusión cognitiva de creer y aprender en diversas realidades paradigmáticas que la interacción “nos comunica”. Es lo que se entiende como transición de fase: Márquez-Domínguez, C. Ulloa, N. Ramos-Gil, Y. (2018).



El *streaming* realizado por los diarios digitales La Vanguardia, El País, Reuters, Telediario, RT y El Diario fue observado, al mismo tiempo, en chat directo en el canal de YouTube. Solo en la plataforma de La Vanguardia, se iba opinando sobre un “objeto sobrevolando” que implicó, en tiempo real, opiniones y expresiones “des-informadas” o “in-forma-das” del acontecimiento. Una especie de suceso incierto que asomó algunas probabilidades de ocurrir. Si se simula esta información siguiendo la paradoja de Schrödinger, el Boeing pudo haberse estrellado o no; explotado o no. Incluso, pudo ser un acto terrorista o no.

Si el postulado I de la mecánica cuántica indica el camino de la “función de onda informativa”, desplazada por la geometría del espacio, se obtiene que el movimiento circular por donde voló el avión fue inmensamente proporcional. Proporción que podría alcanzarse con las diferentes magnitudes a medir en tiempo real.

La información que se tiene sobre el sistema de vuelo fue compatible con múltiples posibles historias interpretadas por los observadores, con una misma información, la reflexión podría conllevar a pensar en el número de veces combinados del mensaje en el espacio en el que sobrevoló el avión. Los dispositivos de medición para entender las ondas informativas, mediante cámaras y teléfonos móviles utilizados por los pasajeros cuando tomaron las fotografías del F18, fue un indicio de alteración de la realidad mediante la concepción de destrucción de la noción de tiempo. Ya que la frecuencia de observación fue alterada a través de las miradas directas del observador en el aire y en la tierra de la geometría espacial. La figura 1, expuesta a continuación, considera el entrelazamiento informativo como una transmisión invisible del mensaje.



Figura 1 – Imagen experimental de la observación humana en el mundo periodístico  
Fuente: elaboración propia.

Internet colocó la posibilidad de observar, en tiempo real, un hecho que, al mismo tiempo, recibió códigos de interpretación infinita. En otras palabras, se puede pensar



que o la información viajó a una velocidad infinita desde una geometría del espacio circular o se conectó de manera entrelazada con la mente del observador a través de los dispositivos facilitados por la Red. ¿Cómo se puede medir la forma de la información desde cada usuario en diferentes escalas?

Desde el punto de vista periodístico, tras captarse la imagen audiovisual que ilustró la noticia en los medios y en la audiencia, la base normativa de la objetividad del hecho periodístico fue contenida con incertidumbre y la “forma” por la cual se interpretó la noticia fue agrupada en combinaciones mediáticas sin contenido “único” de “veracidad” en el observador. Por tanto, la calidad periodística es inevitablemente subjetiva.

Según el *Principio de Incertidumbre* de Heisenberg, no hubo dominio de la frecuencia de la información en los lados, arriba y abajo; arriba, el avión sobrevolando con 128 pasajeros, y abajo, con la gente observando y preguntándose si realmente era cierto la falla técnica. La información circular por donde fluyó el mensaje en Internet también sumó el grado de incertidumbre. En otras palabras, el espacio que combinó la información fue el espacio-círculo de movimiento del avión por el espacio de frecuencia-tiempo que circuló la información en los diferentes ejes del planeta. La pregunta es ¿cómo pudo una partícula informativa contar infinitas historias? ¿Ha de superponerse, y entrelazarse?

### 3. Metodología

La siguiente investigación es de tipo explicativa y presenta un enfoque abierto e interdisciplinario de carácter mixto con características cualitativas y cuantitativas. Desde el punto de vista cualitativo, los datos se interpretan en un contexto particular circunscrito a las entrevistas a expertos; desde el punto de vista cuantitativo, sus elementos constitutivos procedieron de la aplicación de procesos metódicos con técnicas algorítmicas y de experimentos mentales empleados.

La primera técnica empleada fue la minería de datos basada en el proceso de trabajar con los datos de observación, previamente desconocidos por el observador para extraer conocimiento útil y comprensible.

Con la segunda técnica empleada, se trabajó un experimento mental basado en un escenario hipotético y un escenario real. Ambos derivan de un mismo hecho, el periodístico. El escenario hipotético es procedente del recurso de la imaginación e implicó comprender el razonamiento comparativo a partir de los experimentos de la física cuántica conocido como “la doble rendija” y el experimento de la “paradoja del gato de Schrödinger”. El escenario real, fue suscitado el lunes de 3 febrero de 2020, por un hecho real periodístico, sobre el vuelo de un avión, en la ciudad de Madrid. Ambos escenarios (el real y el hipotético) fueron titulados: “experimento Barajas”.

Como tercera técnica metodológica, se aplicó la entrevista a expertos en las áreas de la física cuántica y del periodismo. Las entrevistas no estructuradas se desarrollaron dialógicamente por videoconferencia, utilizando la aplicación de Skype. Las entrevistas estructuradas se realizaron con preguntas previas enviadas al experto, empleando el correo electrónico como medio de interacción.

Como la mayoría de las técnicas empleadas son de carácter cuantitativo tanto para la minería de datos y los experimentos, los resultados de la investigación tienden a disponer

de un análisis supuesto para deducir los patrones y tendencias que existen en los datos encontrados en la dimensión del objeto de estudio, conllevando a su alto grado de análisis probabilístico y de incertidumbre. Los patrones y las tendencias encontrados estuvieron basados en el comportamiento de la audiencia. Esto son: 1) la interacción de la audiencia en el espacio de internet desde la simultaneidad y entrelazamiento informativo. 2) la comprensión de la realidad que atañe a los observadores 3) la percepción consciente del observador sobre la ilusión de la independencia de lo que conoce en el campo de la realidad.

Los parámetros de medición surgen de la “paradoja del gato de Schrödinger” y el experimento de “la doble ranura”. Estos son: La función de onda concebida como sistema informativo, la dependencia del tiempo según la ecuación de Schrödinger a partir de las propiedades del sistema (información) y los patrones probabilísticos del experimento de la doble ranura.

#### 4. Resultados y reflexión

La “paradoja de Schrödinger” tiene similitud como experimento planteado en los siguientes parámetros de medición:

- En función al tiempo, si la función de onda, concebida como una función matemática, nos da información acerca del sistema que se puede disponer a partir de las propiedades del mismo, el resultado representa la alteración de la realidad como actitud apriorística en la base de la teoría del periodismo Aguinaga (2001).
- El postulado I de la física cuántica no dice qué es un sistema de información. Por tanto, una fórmula básica de representar en el periodismo un nuevo sistema de información sería la comprensión paradójica o equivalente de representar una definición formal de sistema de información. Esta razón obedece a comprender la paradoja con el siguiente criterio: la agrupación de muchas combinatorias del conjunto de estados constitutivos en la formulación de cada sistema.
- La medición basada en los patrones probabilísticos de simulaciones en el “experimento de la doble rendija”, extrapolado al “experimento Barajas”, dio como resultado teórico que la realidad es alterada con sólo observarla en diferentes estados conscientes del sujeto, donde “el proceso comunicativo transporta información del sujeto para la realidad que considera como un sistema” (Sabán, 2018, p.28) ya sea con los teléfonos móviles que captaron la imagen del F18, las cámaras de los periodistas tierra-aire, los canales informativos triangulados por los medios, la torre de control y los diversos aparatos de transmisión, el *streaming* y las participaciones en tiempo real de las audiencias en chats en vivo por el acontecimiento.
- Por último, el estado del sistema es tetradimensional y representa una nueva geometría en la teletransportación informativa en los procesos de intercambio del mensaje, faltando abrir una nueva fórmula eficiente de la comunicación como principios de la información en el periodismo cuántico.

De acuerdo a la comprensión informativa actual internacional en el campo periodístico, pareciera que solo puede coexistir mediáticamente el contenido informativo por la dependencia del modelo dentro del sistema clásico de la transmisión de mensajes ideado

por Shannon y Weaver en 1949. Sin embargo, a la luz de la de la teoría de la información cuántica, “el experimento Barajas” analizó algunos estados experimentales que suponen concordancia teórica.

Física clásica	Física cuántica	Periodismo cuántico
Partícula y trayectoria	Función de onda	<i>Interdumbre</i> (fases de transición sistemas de información)
Predicciones definidas	Probabilidades	Subjetivos puntos de vista
Historias	Matemáticas	Rigor lingüístico
Mediciones del átomo	“Partícula de Dios” (Bosón de Higgs)	Alteración de la realidad

Tabla 1 – Hacia una teoría del periodismo cuántico.  
Fuente: elaboración propia.

Como reflexión, las bases del periodismo podrían cambiar si se consideran nuevas perspectivas, en este sentido, se proponen tres líneas de investigación:

1. **El periodismo ya no puede considerarse taxonómico.** Desde la física teórica y el fenómeno comunicativo se busca fusionar la idea de probar que, en el futuro inmediato, la realidad cotidiana es alterada a través de la observación de los acontecimientos cuánticos que rigen las propiedades por la que está constituida la información (Acín, 2012) (Latorre, 2017).

La realidad es, por consiguiente, creada por la mirada y la observación que se hace de las cosas que se perciben en el entorno. En el pasado quedará la objetividad periodística y la verdad como única, real y exacta: “Transformar el periodismo va más allá de la simple renovación de sus tecnologías” (Salavarría, Rivera, & González, 2019, p.7).

Muchos son los autores y autoras que han hablado de la física cuántica. Sobre todo, para mejorar los principios, postulados y leyes que se establecieron en dicha ciencia. La idea, por tanto, es reflexionar sobre la base de la teoría de la información cuántica en el ámbito del periodismo. Pues el periodismo, como disciplina y método, se ha servido a lo largo de la historia de la “información”.

La digitalización ha sido, ciertamente, un factor clave para la metamorfosis de los medios desde los años 1990. Sin embargo, la mudanza no se ha agotado en lo instrumental. El salto tecnológico ha sido apenas el detonante de un cambio mucho más profundo que ha reconfigurado a la profesión periodística en su totalidad. Las tecnologías digitales han transformado la estructura de las organizaciones informativas, sus espacios de trabajo, los procesos de producción, los perfiles profesionales, las formas adoptadas por los contenidos y la relación de los medios con sus audiencias. En definitiva, han propiciado una reconfiguración general del periodismo en su totalidad (Salavarría, Rivera, & González, 2019).

2. **El periodismo va más allá de lo tetradimensional** (Ramos-Gil, 2016) (Ramos, y Fontenla, 2017). Aunque desde la física cuántica no existe una definición cerrada en los conceptos de “función de onda” del “fenómeno cuántico”, ni de la transmisión del mensaje”, esto no impide la posibilidad de abrir nuevas perspectivas. Se abren, por tanto, las probabilidades en su sentido complejo: por una parte, consistente a estudiar la transmisión del mensaje desde la tecnología, la disrupción e innovación tecnológica; y, por otra, analizando la información como “forma” de comprender, recibir e interactuar el mensaje, en la concepción del sujeto en sus estados consciente de pensamiento que actúa en movimiento vibratorio, para seguir cuestionándose.
3. **El periodismo es cuántico** por cuando el punto de vista del sujeto no trata de explicar la realidad sino cómo se capta y se sabe de ello. Reflexionar en cuestiones tan fundamentales de la interacción con el medio y el sistema concierne al grado “ontológico” de la naturaleza de las rarezas cuánticas y periodísticas. Hasta el momento, la información pareciera un “estado” de conocimiento epistémico, más que de la demostración física de la verdad. Conocer sobre la verdad o la veracidad periodística en el mundo cuántico significa que ha cambiado el conocimiento sobre el sistema y no que el sistema ha cambiado. Pensar en la no localidad dentro del sistema de onda informativa es posiblemente otra paradoja entre muchos sistemas entrelazados y superpuestos a partir de la in-“forma”-ción.

El periodismo cuántico es una nueva forma de pensamiento a base de comprender un nuevo catálogo de “imágenes”, paradojas y explicaciones que deberían ser analizadas por expertos interdisciplinarios. Capaces de enriquecer nuestra vida personal y ayudarnos a entender mejor el mundo y el lugar que ocupamos en él.

Hay muchas formas de interpretar el hecho y la física cuántica nos devela el mundo cotidiano. Sólo, por ahora, utilizando cierta tecnología.

## Referencias

- Acín, A. (2012). *Demuestran que las partículas cuánticas están vinculadas más allá del espacio-tiempo*. Revista Tendencia 21. Recuperado de: [www.tendencias21.net](http://www.tendencias21.net)
- Aguinaga, E. de. (2001). *Hacia una teoría del periodismo. Estudios Sobre El Mensaje Periodístico*, (7), 241. Recuperado a partir de <https://revistas.ucm.es/index.php/ESMP/article/view/ESMP0101110241A>
- Alcibar, M. (2016). *Deperiodistas hechos y opiniones. En Investigación y Ciencia* (Scilogs, La Torre de Marfil en Ruinas). Recuperado de <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/ciencia-y-sociedad/98/posts/de-periodistas-hechos-y-opiniones-14804>
- Ball, Phillip. (2018). *Cuántica: Qué significa la teoría de la ciencia más extraña*. (Primera edición). Madrid: Turner publicaciones. L. Diego de León.
- Bayoud, A. (2020). *Tras emergencia, avión de Air Canada aterrizó de forma exitosa en Madrid*. Diario digital France24. Recuperado de <https://www.france24.com/es/20200203-tras-emergencia-avi%C3%B3n-de-air-canada-aterriz%C3%B3-de-forma-exitosa-en-madrid>

- Campos-Freire, F. (2015) *Adaptación de los medios tradicionales a la innovación de los metamedios*. El profesional de la información. Vol. 24, núm. 4, 441-450. Recuperado de <http://www.elprofesionaldelainformacion.com/contenidos/2015/jul/11.pdf>
- Círac, J. (2018). ¿Qué es la computación cuántica? Telefónica. Canal de YouTube. Recuperado de <https://youtu.be/WJ3r6btgzBM>
- Fontcuberta J. (1997). *El beso de Judas. Fotografía y verdad*. España, Barcelona: Editorial. Gustavo Gili, SL.
- Fontcuberta J. (1998). *Ciencia y fricción. Fotografía, naturaleza, artificio* (p. 296). Murcia: Mestizo.
- Fontcuberta J. (2016). *La furia de las imágenes. Notas sobre la postfotografía*. Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- Huget, L. (2013). *Alan M. Turing y Claude E. Shannon: matemáticas para la informática*. En El Año de Turing [Blog de El País, Periódico Global]. Recuperado de <https://blogs.elpais.com/turing/2013/03/index.html>
- Latorre, J. (2017). *Cuántica, tu futuro en juego*. Editorial Planeta. Primera edición.
- Márquez-Domínguez, C. Ulloa, N. Ramos-Gil, Y. (2018). *The Interaction Gap: From the Bit to the Resurgence of a New Information and Communication System*. International Conference on Information Technology & Systems ICITS. Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems Pp 1065-1075| Recuperado de [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-73450-7\\_101](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-73450-7_101)
- Martínez, O. & Barredo, P. (2006). *La Geometría Cuántica del Espacio-tiempo Modelo de Unificación de Relatividad General y Mecánica Cuántica*. España: Vigo. Recuperado de: [researchgate.net/publication/315762386\\_La\\_Geometria\\_Cuantica\\_del\\_Espacio-tiempo\\_Modelo\\_de\\_Unificacion\\_de\\_Relatividad\\_General\\_y\\_Mecanica\\_Cuantica](https://researchgate.net/publication/315762386_La_Geometria_Cuantica_del_Espacio-tiempo_Modelo_de_Unificacion_de_Relatividad_General_y_Mecanica_Cuantica)
- Pineda (s/a). *Principios de Teleportación Cuántica*. Recuperado de <https://vixra.org/pdf/1205.0109v1.pdf>
- Punset, E. [RTVE]. (2011, mayo, 8). *Redes - La incertidumbre del universo cuántico* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.rtve.es/alcarta/videos/redes/redes-incertidumbre-del-universo-cuantico/1094700/>
- Ramos-Gil, Y. (2016). *Crítica formativa y metodológica en el periodismo narrativo. ¿Es posible un nuevo contexto?* En Congreso Internacional de Periodismo: Convergencias Mediáticas y Nueva Narrativa Latinoamericana
- Ramos-Gil, Y. & Fontenla, J. (2017) *El lenguaje: interacción del periodismo y la comunicación. ¿Es posible un nuevo contexto?* De los medios y la comunicación de las organizaciones a las redes de valor. Actas del II Simposio de la Red Internacional de Investigación de Gestión de la Comunicación. p. 36-51. Recuperado de [www.https://xescom2016.files.wordpress.com/2017/01/documento-xescom.pdf](http://www.https://xescom2016.files.wordpress.com/2017/01/documento-xescom.pdf)

- Sabán, M. (2018). *El infinito y el lenguaje en la Kabbalah judía. Un enfoque matemático, lingüístico y filosófico*. Tesis doctoral. Departamento de matemática aplicada. Universidad de Alicante. Recuperado de <https://rua.ua.es>
- Salavarría, R., Rivera, D., & González, M. (2019). *Taxonomía del periodismo digital en Iberoamérica: Evolución en las dos décadas digitales. Comunicación digital. Actualidad, retos y prospectivas* (pp.263-285). Publisher: Pearson Educación de Perú, S.A. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/332530736\\_Taxonomia\\_del\\_periodismo\\_digital\\_en\\_Iberoamerica\\_evolucion\\_en\\_las\\_dos\\_decadas\\_digitales/link/5cba20f4299bf1209771ad87/download](https://www.researchgate.net/publication/332530736_Taxonomia_del_periodismo_digital_en_Iberoamerica_evolucion_en_las_dos_decadas_digitales/link/5cba20f4299bf1209771ad87/download)
- Vedral, V. (2010). *Decoding Reality. The universe as quantum information*. University Orfox.
- Zeilinger (1997). *Teletransporte cuántico*. Recuperado de [https://www.etsisi.upm.es/sites/default/files/ste\\_cc\\_ic\\_temas\\_31\\_teletransporte\\_cuantico](https://www.etsisi.upm.es/sites/default/files/ste_cc_ic_temas_31_teletransporte_cuantico).

# Guía para la Ingeniería de Requerimientos bajo un enfoque ágil integrando técnicas de usabilidad

Cynthia López Valerio<sup>1</sup>, Juan Carlos Mejías Cruz<sup>2</sup>

[cynthia.lopez@ulatina.cr](mailto:cynthia.lopez@ulatina.cr), [juancarlosmejiascruz@gmail.com](mailto:juancarlosmejiascruz@gmail.com)

<sup>1</sup> Universidad Latina de Costa Rica, 506, Central Heredia, Costa Rica.

<sup>2</sup> Independiente, 11200, Montevideo, Uruguay.

**Pages: 546–558**

**Resumen:** En el presente trabajo se propone una guía para la Ingeniería de Requerimientos (IR) que contiene una adaptación de sus principales métodos e integra técnicas de usabilidad bajo un enfoque ágil. En este tipo de metodologías, se considera los recursos en la elaboración propia del producto, y no sólo a las fases iniciales del proyecto. Se combina el Design Thinking con las metodologías SCRUM y Kanban para lograr una visión holística de todo el contexto. El contraste de los distintos métodos ayuda a interiorizar las metodologías adoptadas, además logra aumentar el potencial de los involucrados y ayuda a la solución de problemas asociados a la IR en métodos ágiles. Para validar su impacto se analizan los resultados alcanzados luego de su implementación en un proyecto de desarrollo de software real que demuestra una disminución del tiempo y mejoras en la productividad y usabilidad del sistema desarrollado.

**Palabras clave:** enfoque ágil; Ingeniería de Requerimientos; Kanban; SCRUM; usabilidad.

## *Guide for Requirements Engineering under an agile approach integrating usability techniques*

**Abstract:** This paper proposes a guide for Requirements Engineering (IR) that contains an adaptation of its main methods and integrates usability techniques under an agile approach. In this type of methodologies, resources are considered in the own elaboration of the product, and not only in the initial phases of the project. Design Thinking is combined with SCRUM and Kanban methodologies to achieve a holistic view of the entire context. The contrast of the different methods helps to internalize the methodologies adopted, also manages to increase the potential of those involved and helps to solve problems associated with IR in agile methods. To validate its impact, the results achieved after its implementation are analyzed in a real software development project that demonstrates a decrease in time and improvements in the productivity and usability of the developed system.

**Keywords:** design thinking; agile approach; Requirements Engineering; Kanban; SCRUM; usability.



## 1. Introducción

En la actualidad, existe un incremento del uso de metodologías ágiles en la gestión y desarrollo de proyectos por las organizaciones de la industria del software. Adicionalmente se ha demostrado que una cifra apreciable de los inconvenientes que se tienen en los proyectos de software es en gran medida en torno a los requerimientos. La obtención, análisis, especificación, validación, y gestión de éstos, se hace más fácil con el planteamiento de metodologías ágiles para la obtención de los requerimientos y combinado con Kanban para el control y seguimiento de estos. Este tipo de metodologías considera que es mejor dedicar más esfuerzos y recursos a la elaboración propia del producto, y no sólo a las fases iniciales del proyecto. Por lo tanto, se asume que la simplicidad en las tareas es un factor fundamental a la hora de desarrollar software (Beck, Beedle, Bennekum, 2001).

Parte de esta simplicidad consiste en la reducción de la formalidad que implica el proceso de IR, dedicando más esfuerzo a la creación de software funcional por medio de una fuerte comunicación con el cliente y considerando la Usabilidad en todo el proceso. Esto enfocado con las técnicas de Design Thinking facilita la interacción y la obtención de los requerimientos adecuados con el usuario final y el equipo de trabajo. Esta es la propuesta que se desarrollará en este artículo.

El documento está estructurado de la siguiente forma: en la sección II se describen los elementos del marco teórico en los que se sustenta la guía propuesta. En la sección III el Estado actual de la IR en Metodologías ágiles, en la sección IV. Propuesta de Solución, en la sección V. Resultados y Discusión, en la sección VI. Conclusiones, VII Agradecimientos y VIII Referencias.

Además, se discute la guía desarrollada y los resultados alcanzados con la aplicación en un proyecto de desarrollo de software real. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo y algunas sugerencias de como hacer la implementación en el futuro, para establecer las premisas necesarias para crear métodos innovadores que garanticen un producto final concebido como el cliente lo describió desde su génesis.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Ingeniería de requerimientos

Ingeniería de Requerimientos corresponde a un proceso sistemático para el descubrimiento, desarrollo, trazabilidad, análisis, clasificación, comunicación y Gestión de Requerimientos, el cual define un sistema en niveles sucesivos de abstracción según Dick, Hull y Jackson (2017). Dicho proceso busca fundamentalmente facilitar las tareas que soporten los demás procesos de negocio al interior de una organización, y como todo proceso, sirve de entrada y salida para muchos otros.

### 2.2. Scrum

Considerado como el método ágil más popular, Scrum es un framework iterativo e incremental para proyectos y productos o desarrollo de aplicaciones [9], que se



desarrolla en ciclos de trabajo llamados Sprints. Scrum no es un proceso o técnica para construir productos; sino un marco de trabajo dentro del cual se pueden emplear varias técnicas y procesos K. Schwaber and J. Sutherland (2013). Por ello consta de 3 elementos fundamentales para su desarrollo, el Scrum Team, los Eventos de Scrum, y los Artefactos de Scrum.

### **2.3. Kanban**

Si bien Kanban no es un método para el desarrollo de software, sino para la gestión de proyectos, poco a poco se ha ido adaptando a los proyectos de esta industria. Esta metodología de gestión tiene como base fundamental los principios de Lean, y presenta su practicidad en el uso de tarjetas para modelar actividades, las que se usan comúnmente para identificar necesidades de material en la cadena de producción. Kanban sugiere sistemas de producción altamente efectivos, regidos por algunos principios — que reflejan que su origen viene de Lean— y que, dependiendo el autor, pueden variar, pero, aun así, mantienen la esencia. Los principios Kanban son los siguientes según (Hofmann, Lauber, Haefner, Lanza, 2018):

- Calidad garantizada.
- Reducción de desperdicio.
- Mejora continua.
- Flexibilidad.

Algo fundamental en este método es el uso de un tablero de tareas para mejorar el flujo de trabajo durante el proyecto.

### **2.4. Design thinking**

El Design Thinking es un método de trabajo que sirve para generar ideas disruptivas tomando en cuenta siempre las necesidades explícitas y latentes del cliente o usuario final. Se trata de un cambio del pensar a la acción y a diferencia de otros enfoques, el Design Thinking invita al cliente a tener un rol más activo en el diseño del producto o servicio. De esta forma se garantiza que cada cambio que se haga a la idea sea basado en cumplir sus necesidades. Por ello el Design Thinking como su traducción al español lo indica, se centra en el proceso de diseño, más que en el producto final, e integra conocimientos técnicos del diseño, las ciencias sociales, la empresa y la Ingeniería según Micheli, Wilner, Bhatti, Mura, Beverland (2019), forman sólidos equipos multidisciplinarios para:

- Adquirir conocimientos básicos sobre los usuarios y sobre la situación o el problema general (Entender).
- Lograr empatía con los usuarios mirándolos de cerca (Observar).
- Crear un usuario típico para el cual se está diseñando una solución o un producto (Definir).
- Generar todas las ideas posibles (Idear).
- Construir prototipos reales de algunas de las ideas más prometedoras (prototipar).

La riqueza del método del Design Thinking se muestra en la etapa de validación ya que es en este punto donde el cliente, mediante una participación, evalúa los prototipos

exhibidos y acepta aquellos aspectos positivos del mismo; además, rechaza aquellos aspectos negativos y propone cambios que enriquecen el diseño. Como resultado final, se obtiene un producto/servicio que satisface las necesidades latentes del cliente de manera eficaz.

## 2.5. Usabilidad e interacción persona-ordenador (IPO)

La Interacción Persona Ordenador (IPO) según la Association for Computer Machinery (ACM), es la disciplina relacionada con el diseño, evaluación e implementación de sistemas informáticos interactivos para el uso de seres humanos, su importancia radica en la mejora del uso de la computadora como herramienta de trabajo, ocio y aprendizaje. A través de la IPO se busca incrementar la satisfacción de los usuarios finales y reducir su esfuerzo para construir tareas que deben realizar en la computadora, sin que esto disminuya la capacidad de los usuarios para desarrollar sus actividades y sus procesos interactivos con el sistema.

Según la IPO, la interfaz es el punto en el que seres humanos y computadoras se ponen en contacto, se transfieren mutuamente tanto información, órdenes y datos como sensaciones, intuiciones y nuevas formas de ver las cosas. Como resultado, aunque un diseño no puede ser nunca completamente “libre de barreras”, las IPO tratan de minimizar esta situación colocando sus procesos y herramientas a favor del usuario según (Degrossi, Abe, Albuquerque, Fortes, 2018).

Una de las principales preocupaciones de las IPO es, que a través de ella se integraban los aspectos sociológicos, psicológicos, ergonómicos, culturales y sociales que debían interactuar para producir un software de calidad. La dicotomía existente entre pensamiento y ejecución son las que han mantenido separados por tanto tiempo procesos que desde el sentido común debían permanecer unidos. Por tanto, buscar puntos de encuentro entre la ISW y la IPO ha sido el principal objetivo de muchas organizaciones de desarrollo de software que quieren aumentar el nivel de usabilidad de sus productos, pero no están dispuestas a cambiar completamente su proceso de desarrollo según Pazmiño (2018).

Otro concepto que lo contrasta es el definido que indica que la usabilidad se mide a partir de cinco componentes o parámetros (Nielsen, 2012):

1. Aprendizaje: ¿Qué tan fácil es para las personas usuarias realizar tareas la primera vez que se encuentran con el diseño?
2. Eficiencia: Una vez que aprendieron, ¿con qué rapidez pueden realizar estas tareas?
3. Memorabilidad: Cuando las personas usuarias no utilizan el diseño por un periodo de tiempo ¿con qué facilidad pueden recordar cómo se realizaban las tareas?
4. Errores: ¿Cuántos errores comete la persona usuaria, ¿qué tan graves son tales errores y con qué facilidad puede recuperarse de estos?
5. Satisfacción: ¿Qué tan agradable es usar el diseño?

Por otra parte, el advenimiento de nuevas tecnologías demanda también de diseños de sistemas interactivos, donde el usuario se transforma en parte esencial del proceso,

llegando incluso a proponer a este como parte fundamental del equipo de trabajo. Según la usabilidad se refiere a la calidad de la experiencia del usuario cuando interactúa con productos o sistemas, incluidos sitios web, software, dispositivos o aplicaciones. La usabilidad se trata de la efectividad, la eficiencia y la percepción del cliente. Es importante darse cuenta de que la usabilidad no es una propiedad unidimensional de un producto, sistema o interfaz de usuario. La “usabilidad” es una combinación de factores entre los cuales se encuentra el diseño intuitivo.

Una comprensión casi sin esfuerzo de la arquitectura y navegación del sitio. Facilidad de aprendizaje: qué tan rápido un usuario que nunca ha visto la interfaz de usuario puede realizar tareas básicas. Eficiencia de uso: qué tan rápido un usuario experimentado puede realizar tareas. Memorabilidad: después de visitar el sitio, si un usuario puede recordar lo suficiente como para usarlo efectivamente en futuras visitas. Frecuencia y gravedad del error: con qué frecuencia los usuarios cometen errores mientras usan el sistema, la gravedad de los errores y cómo se recuperan de los errores y satisfacción subjetiva: si al usuario le gusta usar el sistema. La escala de usabilidad del sistema (SUS) proporciona una herramienta confiable para medir la usabilidad. Consiste en un cuestionario de 10 ítems con cinco opciones de respuesta para los encuestados; de Totalmente de acuerdo a Totalmente en desacuerdo, es decir, utiliza una escala Likert de cinco puntos. Originalmente creada por John Brooke en 1986, permite evaluar una amplia variedad de productos y servicios, incluidos hardware, software, dispositivos móviles, sitios web y aplicaciones.

### **3. Estado actual de las IR en metodologías ágiles**

A pesar de los beneficios que brindan las metodologías ágiles, su proceso de adopción implica grandes retos y según la literatura revisada también se han presentado varios problemas. En el caso del desarrollo de software se debe tener mayor cuidado en las etapas iniciales del proyecto fundamentalmente durante la IR. Según Sihuyay, Ramón, Pessoa (2018) como principales problemas pueden destacarse: 1) iniciar con una herramienta o un proceso en lugar de conocer bien la metodología ágil seleccionada, 2) aplicar las prácticas sólo en actividades de desarrollo, 3) usarla sin considerar además las técnicas, 4) no solicitar información del cliente, siendo necesario para la afinación del producto, 5) errores en la especificación de requerimientos que conllevan a no contar con objetivos claros.

Según Chugh, Chanderwal, Upadhyay, and Punia (2019), el proceso de adopción de una metodología de desarrollo de software y fundamentalmente durante la IR está sujeto a una serie de factores que influyen en los resultados obtenidos e inciden en el éxito o fracaso de los proyectos.

### **4. Propuesta de solución**

Con el objetivo de contribuir a la solución de los problemas mencionados anteriormente, se pretende explicar la metodología y la guía que propone el presente trabajo, que se basa en la combinación de metodologías ágiles y activas como SCRUM, Kanban y

Design Thinking tomando en consideración los criterios de usabilidad. Mediante esta interrelación de actividades se ha logrado plantear la propuesta de solución que facilita la realización de la IR mediante las iteraciones de SCRUM, el prototipado del Design Thinking y el control y seguimiento a través de Kanban. Para una mejor comprensión, se agrupan las actividades a realizar en tres procesos fundamentales basado en mejores prácticas como muestra la Figura 1.

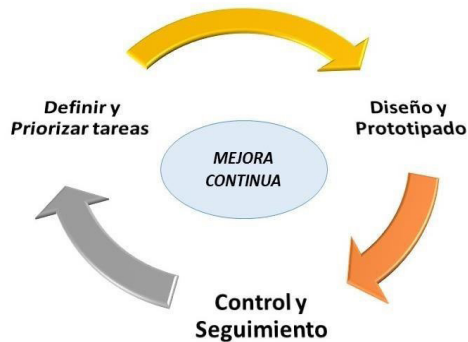


Figura 1 – Procesos de la guía propuesta. Elaboración propia.

Se describen cada uno de los procesos propuestos integrando diferentes técnicas de usabilidad. Para facilitar el proceso de inclusión, se diseñó “Usability planner” una herramienta web para la planificación de técnicas de usabilidad en el ciclo de vida del software. Su objetivo es dar soporte a la selección de técnicas y métodos de usabilidad en el proceso de desarrollo de software minimizando riesgos y maximizando beneficios.

*Definir y Priorizar tareas:* En este proceso mediante entrevistas con el cliente una vez por semana como mínimo se describen sus necesidades que luego son transformadas en requerimientos de software. Es importante en esta etapa identificar elementos propios del entorno, así como características de los usuarios potenciales del software a desarrollar. Estos elementos contribuirán a ejecutar satisfactoriamente el proceso siguiente. En resumen, se propone identificar las necesidades del usuario y comprender el problema (Entender). Seguidamente este listado de necesidades identificadas es transformado a requerimientos, los cuales serán redactados de una forma clara y precisa evitando ambigüedades. La lista con los requerimientos obtenidos es priorizada teniendo en cuenta cada una de las tareas propuestas, las cuales conforman el producto de trabajo comúnmente conocido como Product Backlog.

*Diseño y Prototipado:* Se puede aseverar que este es uno de los procesos más importantes, ya que luego de contar con la lista de los requerimientos, éstos se deben comenzar a diseñar. La etapa de diseño es una etapa que se compone de varias actividades importantes. En primer lugar, es necesario clasificar los requerimientos identificados, así como otorgarles un grado de prioridad como parte de su proceso de evaluación.

Normalmente para el diseño no existe un patrón a seguir ni una forma específica de realizarlo. En el caso de esta guía se utilizan inicialmente bocetos en papel los que luego son transformados en mockups, que representan el diseño de las funcionalidades y son utilizados para la demostración, evaluación del diseño, promoción, y para otros fines. Para realizar los bocetos iniciales se recomienda el uso de lápiz y papel, pues facilita mucho la definición inicial de los bocetos. Es importante recalcar que cuando se obtienen los requerimientos, éstos se orientan a pantallas con el objetivo de visualizar la forma en cómo se verán los diseños, identificando datos de entrada que luego serán implementados en el front-end del software.

Luego estos bocetos son transformados haciendo uso de herramientas que facilitan el proceso de prototipado. En el caso de la guía que se propone, se recomienda utilizar el Balsamiq Mockups 3.5.17, por ser una herramienta ideal para equipos ágiles, multiplataforma, muy sencilla y utilizada para crear su software por más de 500000 compañías. Además, cuenta con un portal de soporte y una comunidad de usuarios activa. Los prototipos generados con esta herramienta son fáciles de entender y muy atractivos para el usuario. Este último elemento ayuda mucho durante la validación de los requerimientos. La salida de este proceso constituye el punto de partida para la implementación de los prototipos por el Analista-Programador en la tecnología seleccionada.

Es también importante que se tomen en consideración los *Criterios de Usabilidad sugeridos, además de la escala de SUS*:

- Diseño claro y sencillo. Para que los usuarios encuentren fácilmente la información que buscan.
- Buena organización de los elementos.
- Que permita navegar de manera segura.
- Facilidad de uso y Aprendizaje.
- Estética y diseño interfaz.
- Soporte multilinguaje.
- Funcionalidad disponible.
- Efectividad.
- Personalización.
- Diseño claro y sencillo.

*Escala de usabilidad del sistema SUS:*

1. Creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia.
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.
3. Pensé que el sistema era fácil de usar.
4. Creo que necesitaría el apoyo de una persona técnica para poder utilizar este sistema.
5. Encontré que las diversas funciones en este sistema estaban bien integradas.
6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
7. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema muy rápidamente.
8. El sistema me pareció muy engorroso de usar.
9. Me sentí muy seguro usando el sistema.
10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de poder comenzar con este sistema.

*Control y Seguimiento:* en este proceso se desarrolla un tablero de Kanban. Este tablero se compone de todos los elementos que se quieren revisar o evaluar. Dentro de estos tenemos Pendiente, donde se ubica la lista de actividades definidas a realizar en la etapa inicial y a la cual se desea trazar. Se agregan tarjetas de cada necesidad y se establecen listas de chequeo para garantizar su cumplimiento. Posteriormente aparece otro tablero llamado Haciendo que contiene las actividades en las que se estén trabajando en el momento.

Seguidamente los participantes o involucrados del proyecto, pasan sus tarjetas a Revisiones cuando están listas para darlas por aceptadas. En Rehacer se ubican todas aquellas que requieren mejora y por último el Done, es lo que ya pasó por las etapas anteriores y está listo para ponerlo a producción. En la Figura 2 se ilustra el tablero de Kanban descrito anteriormente.

Además, en este proceso se realiza de forma iterativa la evaluación de usabilidad del producto con el uso de diferentes técnicas.

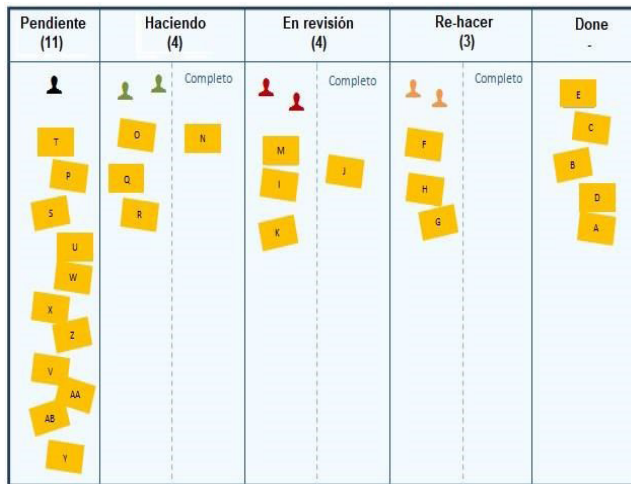


Figura 2 – Tablero de Kanban propuesto, Elaboración propia.

Con la ejecución de cada uno de los procesos descritos se garantiza la mejora continua como parte del conjunto de acciones dirigidas a obtener productos de software más usables con la calidad requerida.

## 5. Resultados y discusión

El principal resultado de este trabajo es el desarrollo de una guía para la Ingeniería de Requerimientos siguiendo un enfoque ágil e incorporando técnicas de usabilidad. Con el fin de comprobar las bondades que ofrece y para demostrar su aplicación, se implementó en un proyecto de software real que tiene como objetivo el desarrollo de

una plataforma web que sustente la guía de ocho pilares basada en las mejores prácticas actuales y en los principales estándares para la gestión de proyectos de TI. Por tanto, el entorno de aplicación quedó conformado de la siguiente forma: no se especifica cuántas horas y quiénes forman parte de estas reuniones, ni las actividades a realizarse durante cada reunión.

Objeto: Equipo de Proyecto para desarrollar la plataforma de ocho pilares  
Cantidad de participantes: 10, los integrantes del equipo de investigación

Frecuencia de reuniones: Todas las semanas los viernes o lunes de 4 horas cada sesión. El cliente quedó conformado por un grupo de especialistas de la Universidad Latina de Costa Rica, creadores de la propuesta

Las actividades por realizar van de acuerdo con las metodologías definidas y en el detalle del desarrollo de las reuniones se detalla a continuación:

Como parte del desarrollo de cada uno de los procesos y después de varias reuniones con los clientes, 4 aproximadamente, para conocer a fondo sus necesidades se identificaron un total de 45 requerimientos funcionales durante el tiempo estimado de las reuniones. En esta fase del proceso fue muy útil la ayuda de la aplicación “Usability Planner”, con esta herramienta se construyó la estructura de integración cuya síntesis se muestra en la Figura 3.

Después de procesar la información obtenida se incluyeron dos grandes actividades: contexto de uso y especificaciones de usabilidad, identificadas en la parte inferior de la Figura 3 con los números 1 y 2 respectivamente. A su vez, para el contexto de uso se tuvo en cuenta tres aspectos, 1) los usuarios, incluyendo sus conocimientos, experiencia, actitudes, aptitudes, y necesidades; 2) las tareas, con el fin de conocer qué hace el usuario y qué dificultades tiene y, 3) el entorno, desde la perspectiva de lo social-laboral, físico-emocional, y locativo. Estas actividades podían a su vez ser fácilmente realizadas con la ayuda de las 4 técnicas de usabilidad señaladas en la parte superior de la figura: Personas, especificaciones de usabilidad, escenario de tareas, y perfiles de usuario. Como parte del proceso de desarrollo se planificaron las reuniones con frecuencia semanal con la siguiente dinámica:

Inicialmente se determina mediante una lluvia de ideas la lista de actividades que se requieren.

Luego se prioriza las actividades para determinar los requerimientos que, según cronograma se abordarán primero y cuales después.

Se empieza a diseñar el prototipo de como ese requerimiento se vería, mediante los bocetos en papel.

Ese prototipo se valida con todos los participantes y los acuerdos se documentan mediante una minuta. El prototipado permitió analizar la relación entre: 1) diseñador/usuario; 2) Usuario/sistema; 3) recursos /tiempo (costo); y 4) todo/parte, ver el comportamiento del sistema como un conjunto de partes (submódulos), pero al mismo tiempo ver cada una esas partes de forma independiente



El boceto aprobado, es desarrollado en la herramienta Balsamiq Mockup por el analista y el prototipo resultando es entregado al programador para su implementación. Los prototipos creados sirvieron también de insumo para seleccionar las técnicas y actividades IPO que mejor se ajustaban a los requisitos del software. En el proceso de diseño relacionado con la usabilidad, se incluyeron además del prototipado actividades asociadas al diseño de interacción que permitió conocer los entornos de interacción usuario/sistema (parte del prototipado) y la interfaz gráfica. Para el desarrollo del producto se tuvo en cuenta tres aspectos: modelos mentales del usuario, para especular sobre cómo funciona el sistema; modelos mentales del diseñador, para tener una imagen lógica del funcionamiento del sistema; y el concepto del producto, que permite la definición del mismo.

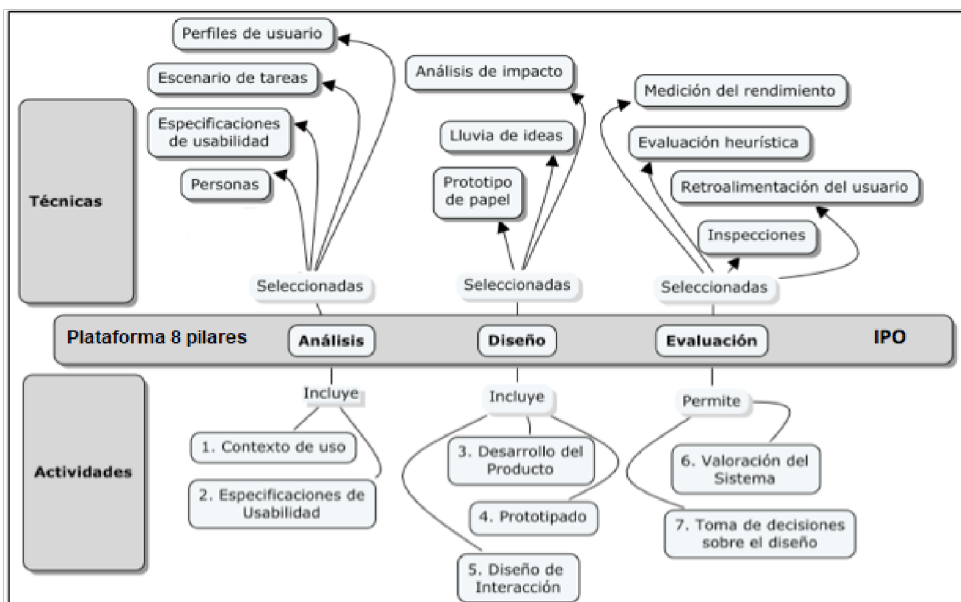


Figura 3 – Esquema de integración de las técnicas y actividades de usabilidad para la Plataforma de 8 pilares. Elaboración propia.

El programador presenta el prototipo funcional del requerimiento y un Informe resumen de estado del desarrollo.

Para dar cumplimiento al proceso de Control y seguimiento y con ello al punto siete de las reuniones con el equipo de trabajo, se asignó un especialista en QA quien le dio seguimiento a los requerimientos en la herramienta Trello que utiliza la metodología Kanban. Este seguimiento se inicia con las listas de chequeo de lo que debe contener cada una de las tareas descritas y los responsables de éstas.

Por otra parte, para la evaluación de la usabilidad, se incluyeron dos grandes actividades: valoración del sistema, y toma de decisiones sobre el producto, identificadas en la Figura



3 con los números 6 y 7 respectivamente. La valoración del sistema fue utilizada para saber si satisface las necesidades del usuario y para saber si encaja en el contexto de uso y la toma de decisiones sobre el diseño ayudó a retroalimentar el proceso; a evaluar los objetivos alcanzados por el usuario; y a monitorear el uso del sistema a largo plazo. El informe resumen contiene los principales resultados de los avances, lo pendiente y en lo que se está trabajando. Como principales resultados alcanzados se tiene una disminución constatada de tiempo (duración de 12 semanas de 15 semanas planificadas teniendo como referente desarrollos anteriores) y un aumento considerable de la productividad y de la usabilidad de las interfaces de usuarios resultantes. Respecto al aumento de la productividad puede mencionarse que, con el diseño de los mockups, además de requerir poco tiempo, se posibilita recoger de una forma atractiva para el usuario los elementos del diseño que dan cumplimiento a cada requerimiento planteado. Así se disminuyen la probabilidad de ocurrencia de peticiones de cambio durante el ciclo de vida del proyecto, que al final se reflejan en inversión de tiempo.

Se aprecia también una mejora considerable en la usabilidad resultante, pues al aplicar en la guía diferentes técnicas y elementos del diseño centrado en el usuario y del diseño de la experiencia de usuario, se crea un estado emocional placentero en la interacción con el sistema. Por ejemplo, realizar un análisis de tareas posibilitó que la interfaz que se modele sea lo más similar posible a como se realizan en la práctica las tareas que se informatizaron. Con respecto a la mantenibilidad, se obtienen resultados alentadores pues las interfaces son menos complejas y más modulares, es decir los elementos de usabilidad descritos en los párrafos anteriores pueden visualizarse de manera más rápida y eficiente, esto impacta con el tiempo final de 15 semanas disminuyendo en 2.

La guía propuesta también ha sido utilizada en el desarrollo de dos sistemas de gestión, alcanzando resultados similares a los descritos anteriormente para el caso de la aplicación “Plataforma 8 pilares para la gestión de TIC”. ¿Por qué la metodología planteada funciona mejor que las metodologías o framework del estado del arte? Hay dos factores importantes, el primero es la forma como se toman los requerimientos que se explica ampliamente en la figura 3 y establecen una manera más atractiva para el usuario con respecto a los diseños finales.

Inicialmente el tiempo de trabajo de 3 a 4 horas cada semana apenas alcanzaba para definir los requerimientos y que el analista tomara los bosquejos, se discutía sobre los modelos del usuario que tenía y luego como estos contrastaban con los que el usuario tenía en mente, y finalmente el concepto del producto final como se vería pues facilita una definición mejor. En el baseline se muestran las siguientes semanas 2,3,4,5, donde se definió el resto de los requerimientos, pero las técnicas fueron mejorando ya que según se planteó en la figura 3 para las especificaciones se utilizaron las técnicas de perfiles de usuario, escenarios de tareas, especificaciones de usabilidad y los tiempos de cada sesión empezaron a disminuir más de 1 hora por sesión. Ya en las próximas sesiones de Prototipado y utilizando las técnicas de análisis de impacto, lluvia de ideas y prototipo de papel se trabajó más enfocado en esas necesidades puntuales y específicas. En la etapa final de evaluación que incluye retroalimentación del usuario, medición del rendimiento e inspecciones, ya todos los miembros del equipo conocían las técnicas

utilizadas y tenían la expertis con los programas, además de conocer a los miembros del equipo y a los clientes, lo cual facilitó la disminución del tiempo final de entrega de los definido en 2 semanas menos de lo planificado al inicio, esto complementa el uso del Design thinking desde el inicio hasta el final de la propuesta.

## 6. Conclusiones

La revisión de los principales elementos asociados a la IR, a la Usabilidad desde la IPO, así como de SCRUM, Design Thinking y Kanban permitió valorar la importancia y necesidad de su integración en el desarrollo de software ágil para la implantación exitosa y satisfacción de los usuarios finales. Además, se pudo constatar que, si bien las metodologías tradicionales proponen un proceso formal para la IR, resulta complejo adoptar estas prácticas en contraste con proyectos que se desarrollen siguiendo un enfoque ágil que integre diferentes técnicas de usabilidad.

A partir de los elementos estudiados se elaboró una guía para la Ingeniería de Requerimientos que integra técnicas de usabilidad siguiendo un enfoque ágil. Entre los elementos fundamentales que la guía incluye se encuentran la definición de cada uno de los procesos a realizar, así como una propuesta de técnicas de usabilidad a emplear para visualizar mejores resultados utilizando el Kanban para el seguimiento y control.

Para demostrar su nivel de aplicabilidad se describieron los resultados alcanzados luego de su aplicación en el desarrollo de un proyecto real, que demuestra una disminución del tiempo y mejoras en la productividad y usabilidad del sistema desarrollado. En este sentido, constituye un atractivo para diferentes organizaciones desarrolladoras de software.

## Referencias

- Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., & Hunt, A. K.; Sutherland, J.; Thomas, D. (2001). *Manifiesto for Agile Software Development*.
- Chugh, M., Chanderwal, N., Upadhyay, R., & Punia, D. K. (2020). Effect of knowledge management on software product experience with mediating effect of perceived software process improvement: An empirical study for Indian software industry. *Journal of Information Science*, 46(2), 258-272.
- Degrossi, L. C., Abe, B. B., de Albuquerque, J. P., & de Mattos Fortes, R. P. (2018, June). Enhancing usability of a Citizen Observatory based on User-centered Design. In *Proceedings of the 8th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion* (pp. 294-301).
- Dick, J., Hull, E., & Jackson, K. (2017). *Requirements engineering*. Springer.
- Ferre, X., & Bevan, N. (2011, September). Usability planner: a tool to support the process of selecting usability methods. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 652-655). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Hofmann, C., Lauber, S., Haefner, B., & Lanza, G. (2018). Development of an agile development method based on Kanban for distributed part-time teams and an introduction framework. *Procedia Manufacturing*, 23, 45-50.
- Micheli, P., Wilner, S. J., Bhatti, S. H., Mura, M., & Beverland, M. B. (2019). Doing design thinking: Conceptual review, synthesis, and research agenda. *Journal of Product Innovation Management*, 36(2), 124-148.
- Pazmiño, M. F. L. (2018). Evaluación de Usabilidad aplicada a Visores Geográficos Web (Doctoral dissertation, University of Salzburg).
- Sihuay, M., Ramón, A. D., & Pessoa, M. (2018). Factors Models of Scrum Adoption in the Software Development Process: A Systematic Literature Review-Modelos de Factores en la Adopción de Scrum in el Proceso de Desarrollo de Software. Una Revisión Sistemática de la Literatura. *ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 7(1), 23-44.
- Sutherland and K. Schwaber, (2007). "The scrum papers: Nut, bolts, and origins of an Agile framework". SCRUM Training Institute.
- Schwaber and J. Sutherland, (2013). La guía de Scrum. Scrumguides.

# Explotación del sistema de ingresos de la Web TV de la televisión generalista en la Comunidad Andina y Cono Sur: la publicidad como vía clave de ingresos

Francklin Rivas Echeverría<sup>1,2</sup>, Verónica Crespo-Pereira<sup>2</sup>, Ana Cecilia Vaca Tapia<sup>2,3</sup>,  
Valentín Alejandro Martínez-Fernández<sup>4</sup>, Beatriz Legerén-Lago<sup>5</sup>

**firivas@inf.utfsm.cl, veronicacrespopereira@gmail.com, ana.c.vaca.tapia@gmail.com,  
valejand@udc.es, blegeren@uvigo.es**

<sup>1</sup> Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 100112, Ibarra, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Santiago de Compostela, 15782, Santiago de Compostela, La Coruña, España.

<sup>4</sup> Universidad de A Coruña, Facultad de Economía e Empresa, 15071, A Coruña, España.

<sup>5</sup> Universidad de Vigo, Faculta de Ciencias Sociais e da Comunicación, 36005, Pontevedra, España.

**Pages: 559–571**

**Resumen:** Las televisiones generalistas se enfrentan a una migración digital que permita competir eficientemente con nuevos operadores. El presente artículo realiza un análisis de contenido de diversas webs con el objetivo de determinar la capacidad de las cadenas de televisión generalistas latinoamericanas para monetizar sus contenidos y servicios. Concretamente, artículo analiza las plataformas de veinticuatro cadenas de televisión privadas y públicas de los países integrantes tanto de la Comunidad Andina y Cono Sur. Dicho trabajo facilita un primer estado de diagnóstico en relación a la explotación de ingresos provenientes de la Web TV. Los resultados muestran que la publicidad es la principal fuente de ingresos en las plataformas web.

**Palabras-clave:** sistemas de ingresos; televisión generalista; Web TV; televisión por internet; publicidad.

***Exploitation of the income system of the Web TV of the generalist television in the Andean Community and Southern Cone: advertising as the main route of income***

**Abstract:** Generalist televisions face a digital migration that allows them to compete efficiently with new operators. This article carries out a content analysis of various websites with the objective of determining the ability of Latin American generalist television networks to monetize their content and services. In particular, the article analyzes the platforms of twenty-four private and public television networks of the member countries of both the Andean Community and Southern Cone. This work facilitates a first diagnostic status in relation to the exploitation

of income from Web TV. The results show that advertising is the main source of income on web platforms.

**Keywords:** income systems; general television; Web TV; internet television.

## 1. Introducción

El contexto digital y nuevas tecnologías han producido cambios en el mercado televisivo con relación al comportamiento del consumidor, la entrada de nuevos operadores, la demanda de contenidos o incluso el sistema de ingresos.

La entrada de las plataformas “*Over the Top*”, como Netflix, que con su oferta han modificado la conducta de unos consumidores que hoy demandan la independencia de las parrillas de programación. Lo que obliga a las cadenas tradicionales a la adaptación para sobrevivir en un entorno cada vez más competitivo y globalizado. Es así que las cadenas de televisión tradicionales han de preguntarse, entre otras cuestiones, qué estrategias deberán adoptar en torno al sistema de ingresos en el contexto digital.

La convergencia y crisis demanda la capacidad de adaptación, innovación y revisión de los modelos de negocio de las empresas mediáticas. Esta situación ha propiciado grandes transformaciones caracterizadas por la multiplicidad y personalización de la oferta televisiva, la interactividad o la hipersegmentación, entre otros fenómenos. En medio de este proceso, la televisión generalista en abierto debe dar pasos en dirección hacia la revisión de las estrategias corporativas y la innovación en los modelos de negocio que le permita posicionarse competitivamente (Campos, 2010).

Aquellas plataformas de televisión creadas mediante protocolo HTTP y distribuidas por Internet y accesibles a través de un navegador, reciben el nombre de Web TV. La gestión y distribución de contenidos en plataformas web suponen una ruptura con las fórmulas tradicionales de proveer oferta al usuario. La difusión de un catálogo de contenidos a través de la televisión a la carta y accesibles desde una amplia variedad de dispositivos supone una modificación de la estructura empresarial. Ante este desarrollo tecnológico urge una reconfiguración de los modelos de negocio tradicionales de cualquier operador televisivo. Este panorama precisa de una revisión de las fórmulas necesarias para atraer a la audiencia y generar los ingresos con el fin de garantizar la viabilidad de los operadores.

Un modelo de negocio es considerado una herramienta para la dirección estratégica. De acuerdo a Osterwalder, Pigneur y Tucci (citado en Campos, 2010) un modelo de negocio se integra a partir de una serie de elementos que los autores manifiestan: una proposición de valor, cliente objetivo, canal de distribución, relaciones, configuración de la cadena de valor, competencias esenciales, red de socios, estructura de costes y sistema de ingresos.

La televisión precisa trascender a la cadena de valor tradicional que hasta ahora les ha funcionado. Es tarea de los operadores nuevos y viejos reformular sus contenidos, apostando por la calidad y la explotación de fórmulas alternativas de financiación ante el deterioro de las vías clásicas (Roel, 2010). En última instancia, la cadena de valor ofrecida, se postula como un elemento que se alía directamente con la capacidad de la televisora de conseguir la financiación precisa para la supervivencia de la empresa (Campos, 2010).

Si bien la principal apuesta de las cadenas es mantener el posicionamiento del contexto analógico en la web, fidelizar a las audiencias y mantener a las residuales (que no acceden a la pantalla tradicional), la monetización del entorno digital y el hallazgo de un modelo de negocio rentable se ha tornado una de las grandes problemáticas a resolver por las televisoras clásicas (Álvarez-Monzoncillo, 2011).

El presente artículo realiza un análisis de contenido de las webs de principales cadenas latinoamericanas con el objetivo de determinar el grado de adaptación y explotación a las nuevas fórmulas de ingresos que posibilita el entorno digital, a la par que analiza el nivel de dependencia de la publicidad como fuente de financiación en la web.

### **1.1. La inversión publicitaria en televisión en Latinoamérica**

A pesar de que la inversión publicitaria en televisión continuará acumulando la mayor inversión a nivel global frente a otros medios, estudios contemplaron que en el 2019 se produciría un descenso del 1,8% con respecto a 2018 (Adlatina, 2019). A nivel global, la publicidad digital aumentó un 17% en 2017, y supone un 45% de los ingresos publicitarios mundiales (incluye búsqueda, vídeo y RR.SS.), mientras que la inversión en medios como la TV lineal se mantiene estable en 2019 (DossierNet, 2018).

La publicidad continúa siendo, en términos generales, la principal fuente de ingresos de las cadenas de televisión generalistas en abierto. En ese sentido, en América Latina, la televisión se mantiene como el principal medio en cuanto a ingresos publicitarios. Es destacable que la televisión se prevé que represente un 51% en el mencionado territorio, frente al 31% del promedio mundial. Sin embargo, dicha preeminencia se espera que finalice en 2023 cuando el medio digital, que actualmente posee un 34% de la inversión publicitaria en América Latina, se convierta en predominante, aunque con un pequeño margen con respecto a la TV (DossierNet, 2018).

La fuerte tendencia hacia la inversión en medios online está propiciada por la explosión de infraestructuras digitales, el acceso a internet móvil, existencia de *smartphones* y tarifas asequibles (Insider, 2019). Se espera que el crecimiento de la publicidad digital represente un tercio de los gastos totales de la inversión publicitaria, siendo los principales exponentes de dicho crecimiento México, Colombia, Brasil y Perú (Insider, 2019). Pese a ello, en América Latina, la TV abierta se mantiene como el segmento predominante, pues supone un 80% del total de los ingresos netos en televisión. Por su parte, es destacable que la TV de pago ha comenzado a mejorar sus datos de inversión pues registra un crecimiento del 6% en 2019 (DossierNet, 2018).

### **1.2. La capacidad de monetizar de la web TV**

Los contenidos audiovisuales de calidad y creatividad poseen un valor estratégico para cualquier operador de televisión. Sin embargo, el contexto de distribución y gestión de contenidos y servicios debe responder a la innovación holística que los nuevos tiempos requieren. El abanico de posibilidades del contexto digital también se hace patente dada la proliferación de fórmulas de ingresos potenciales.

Según Herrero y Urgellés (2015), el contenido se presenta como el eslabón clave, al margen de aspectos relacionados con el proveedor, la plataforma por la que se distribuya o el soporte en el que reciba.

Si la respuesta de las cadenas comerciales ante el nuevo panorama se afronta desde la innovación y decisión, estas podrán asumir el liderazgo de la industria en los próximos años.

La financiación es un pilar clave para el sustento de una televisión de calidad. De hecho, es considerado uno de los elementos que más repercuten sobre la producción de contenidos de calidad, de tal forma que el futuro de los operadores televisivos pasa por hallar modelos de gestión rentables que garanticen productos apropiados y de adecuada factura (Roel, 2010).

La televisión ha generado sus ingresos a partir de tres fórmulas: publicidad; subvención o patrocinio y pago por consumo o suscripción. No obstante, y si tradicionalmente las cadenas de televisión generalistas en abierto basaban sus ingresos en la publicidad, la incorporación de las plataformas digitales abre las puertas a una explotación alternativa y complementaria a la mencionada. El incremento de las posibilidades de los anunciantes para promocionarse ha revertido sobre las fórmulas de explotación publicitaria.

La Web TV ha traído consigo una multiplicidad de alternativas a los modelos de ingresos tradicionales. La propia publicidad, que permanecerá siendo relevante para el sostenimiento de los operadores, debe reenfocarse hacia las posibilidades que el entorno digital le ofrece en virtud de la inclusión de fórmulas interactivas, innovadoras y nuevos formatos (Roel, 2010). Las cadenas han de proveer las condiciones y características necesarias para ofrecer unos espacios publicitarios de interés para los consumidores de televisión por internet, mientras que, por otro lado, la gestión de vías de ingresos alternativas a la publicidad podría dar lugar a la generación de nuevos ingresos. Si bien la explotación de nuevas fórmulas de ingresos es vital para la financiación, es pertinente mencionar que existe una gran dificultad por parte de los grupos de comunicación en Latinoamérica para rentabilizar la red como canal de distribución. Las nuevas pantallas o ventanas no consiguen alcanzar datos de facturación que garantice la autonomía del negocio digital y apenas aportan a los ingresos globales de los grupos de comunicación, obteniendo por otra parte, unos ingresos por publicidad paupérrimos (Bizberge, 2015). La monetización de la web requiere de políticas innovadoras para la financiación que no necesariamente pasan por la vía de la publicidad.

## 2. Metodología

El presente trabajo tiene como objetivo ofrecer un diagnóstico situacional sobre la explotación de las vías de ingresos que facilitan las Web TV en las cadenas de televisión generalistas de la Comunidad Andina y Cono Sur. La investigación lleva a cabo un análisis de contenido no frecuencial de las dos cadenas privadas con mayor *share* de los países que integran los mencionados territorios, así como la primera cadena pública de cada uno de dichos países. En total se han analizado 24 cadenas. La realización de la codificación tuvo lugar entre diciembre de 2019 y enero 2020.

Para el análisis se ha tomado como criterio de la muestra aquellas cadenas con mayor audiencia alcanzada (Tabla 1). Se parte de la premisa de que aquellos operadores con más audiencia, y, por tanto, mayor capacidad de atraer anunciantes, serán las que mejor predisposición posean para explotar las diversas fórmulas de ingresos que una web pone a disposición de las televisiones.



País	Televisoras Privadas				Televisoras Públicas	
	Nombre	Share	Nombre	Share	Nombre	Share
Colombia	Caracol	23.8	RCN	19.6	Señal Colombia	1.0
Ecuador	Ecuavisa	14.6	TC Televisión	13.1	Ecuador TV	-
Perú	América Televisión	21.4	Frecuencia Latina	16.9	TV Perú	1.9
Bolivia	ATB <a href="http://www.atb.com.bo">www.atb.com.bo</a>	13%	Bolivisión <a href="http://www.redbolivision.tv.bo">www.redbolivision.tv.bo</a>	6%	Bolivia TV <a href="http://www.boliviativ.bo">www.boliviativ.bo</a>	5%
Argentina	Telefe	10.9	El Trece	10.1	Canal 7 Buenos Aires	4.1
Chile	Mega	19.3	CHV	13.1	TVN	9.8
Uruguay	Teledoce	18.8	Canal 10 SAETA	18.3	Televisión Nacional Uruguay	3.7
Paraguay	S.N.T. Canal 9	23.2	Telefuturo	22.9	TV Pública	0.6

Los datos de Bolivia hacen referencia a rating en lugar de share, pues el documento base carece de información del país. Fuente: <https://eju.tv/2011/12/encuesta-unitel-primero-red-uno-segundo-y-atb-tercero/> publicado el 7 de diciembre del 2011. El documento base también carece de información relativa a la primera cadena pública del país, por lo que se ha optado por incluir a Ecuador TV como la cadena generalista pública de carácter nacional.

Tabla 1 – Índices de share y rating de las principales cadenas privadas y pública de la Comunidad Andina y Cono Sur. Fuente: Adaptado de Eurodata TV Word Wide, 2016.

Conocer las fuentes de ingresos de la Web TV posibilitará determinar la capacidad de monetizar los contenidos y servicios que ofrecen los operadores en plataformas web. Cabe matizar que, si bien los contenidos de calidad están directamente relacionados con la capacidad de generar ingresos y explotar vías de pago, esta investigación no ha analizado su relación.

### 3. Resultados

El modelo de ingresos, entendido como la fórmula que manifiesta el origen económico que la organización es capaz de generar con los productos y servicios que ofrece, constituye el eje vertebral de cualquier negocio. Las plataformas web abren la puerta hacia nuevas fórmulas de ingresos con potencial para su auto sustentación. No obstante, si bien hasta ahora la principal fuente de las cadenas generalistas en abierto ha sido la publicidad y esta sostiene a las plataformas web, el impulso de fórmulas que mantengan su viabilidad es necesario ante el posible desgaste de la publicidad en la TV lineal y la generación de nuevas pautas de consumo por parte de los telespectadores.

En este sentido, la incursión de nuevos operadores en el mercado televisivo está obligando a repensar los modelos de negocio de los operadores tradicionales. Plataformas como Netflix refuerzan su posición de dominio y marcan las pautas para el cambio de modelo. Netflix se ha caracterizado por generar rupturas y transformaciones en las etapas clásicas de producción, distribución y exhibición de la industria audiovisual. Dichas rupturas

están dadas por proponer nuevas lógicas de distribución y consumo, como estrenos de manera simultánea de una película en salas de cine y en pantallas multiplataforma vía *streaming*, o disponer en la fecha de estreno de todos los capítulos de una temporada de una serie de televisión. Estos cambios y transformaciones también han propiciado la aparición de nuevos fenómenos, como el *binge watching* o maratones de episodios, que ha generado interés por parte de investigadores, por convertirse en una nueva experiencia de consumo televisivo, en la que el usuario se convierte en el programador de su flujo televisivo (Heredia Ruiz, 2017).

Las posibilidades de interactuar y generar un *feedback* con las audiencias marcan la pauta de las cadenas de hoy. Mientras la audiencia lineal se mantiene frente al televisor, la audiencia online se contabiliza mediante los *streamings* y descargas de los diferentes programas a través de las múltiples plataformas de acceso. La combinación de televisión e internet, además, ha provocado la aparición de la audiencia social, que se contabiliza de acuerdo a la repercusión de los contenidos a través de redes sociales, ya sea en la emisión lineal u online. (Izquierdo-Castillo, 2017:40). El conocimiento profundo de las audiencias no debe ser desestimado, pues ello constituye un capital de alto interés para el desarrollo de estrategias de contenidos y de explotación de nuevas vías de ingresos.

Plataformas como Netflix compiten por la atención de las audiencias, la predisposición al pago como la mencionada podría generar una modificación de hábitos con grandes repercusiones para los operadores tradicionales con modelos basados en la televisión en abierto y la publicidad. Los suscriptores de Netflix con un plan de solo *streaming* pueden ver series y películas al instante en más de 190 países (Figura 2) y su catálogo es renovado periódicamente (Netflix, 2020). Este modelo encuentra una gran expansión en nuestros días al aunar las demandas del consumidor contemporáneo y global.

El análisis realizado busca detectar el sistema de ingresos imperante entre las cadenas generalistas en abierto de Latinoamérica. Si bien existen diferencias estructurales evidentes entre operadores *Over the Top* como el mencionado, un análisis sobre la situación de las generalistas en las Web permitiría aterrizar sobre la realidad del mercado de las empresas televisivas tradicionales en el territorio.

Los resultados visibilizan una situación de preponderancia o protagonismo de las cadenas comerciales en términos de audiencia. Los canales privados son aquellos que mayor *share* y *rating* obtienen (Tabla 1). Es destacable que los operadores públicos alcanzan cifras de audiencia muy bajas, existiendo una gran diferencia entre la mayor cadena privada y pública del país. En concreto en la Comunidad Andina, Colombia posee un rango de 22,8 puntos de diferencia, Perú un 19,5 y Bolivia 8. Mientras que, en el Cono Sur, el menor rango se encuentra en Argentina (6,8). Juega a favor de dicho dato, el hecho de que la televisión privada alcanza datos moderados (10,9) frente al *share* la televisión pública que alcanza el segundo mejor dato (4,1) entre las públicas después de la cadena chilena TVN con un 9,8 de *share*. Por su parte, la TV privada de Paraguay, S.N.T Canal 9, obtiene el mejor dato de *share* de entre todos los países de dicho sector (Tabla 2).

País	Rango Televisión Privada – Pública	Media Televisión Privada
Colombia	22.8	21.7
Ecuador	-	13.85
Perú	19.5	19.15
Bolivia	8	9.5%
Argentina	6.8	10.5
Chile	9.5	16.2
Uruguay	22.6	18.55
Paraguay	15.1	23.05

Tabla 2 – Rango de audiencias entre cadenas privadas y pública y media de la televisión privada. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis, la explotación del pago por contenidos está dado por diversas formas como: el parámetro de suscripción (que incluye las categorías de análisis pago por visión, suscripción o SVOD, Premium/freemium y membresía, como se muestra en la Figura 1.

Fórmulas de ingresos por ventas	
<i>Pago por visión/ pay per view/TVOD (Transactional Video on Demand)</i>	Consiste en efectuar un pago por visionar un contenido concreto que el usuario puede ver en un tiempo determinado. El <i>pay per view</i> supone el pago directo por programa o evento. No permite la descarga de contenido ni acceder al mismo por más tiempo del que sea necesario para su consumo. No permite segundos visionados ni retroceder en la recepción pues el visionado es en directo. El pago por consumo es un modelo de negocio originado en el ámbito de la televisión. Los visitantes pueden registrarse gratuitamente, pero se solicita un pago para el acceso al contenido.
<i>Suscripción o SVOD (Subscription Video on Demand)</i>	Permite el acceso al catálogo televisivo mediante un pago regular. Los suscriptores pagan una tarifa inicial por un periodo de tiempo para el acceso ilimitado a los contenidos.
<i>Premium- Freemium</i>	<i>Freemium-Premium</i> : Consiste en ofrecer una parte del contenido de acceso libre ( <i>freemium</i> ) y cobrar por otra parte del mismo ( <i>premium</i> ).

Figura 1 – Fórmulas de ingresos por ventas Fuente: Adaptado de Campos (2011).

Perú es el único país que ingresa por alguna de estas vías. En concreto, América Televisión posee el PPV y la suscripción en su página web. El Canal 10 Saeta, de titularidad privada, introduce como fórmula de ingreso la suscripción o SVOD. Cabe decir que las cadenas Telefe, Canal 13, Mega y CHV presentan restricciones territoriales al acceso a la web por lo que no se ha podido efectuar un análisis completo de las mismas.

Dado que la publicidad se considera, de forma general, la principal fuente de ingresos de las cadenas generalistas en abierto, el estudio ha prestado especial atención a la explotación de dicha fórmula en el entorno web.

Para el análisis, se ha procedido a clasificar los posibles formatos en dos grandes categorías, una publicidad de perfil tradicional (Figura 1) y aquella de naturaleza interactiva y digital (Figura 2). En el presente caso, se parte de la premisa de que el grado de innovación en la prestación y explotación de espacios comerciales no es el mismo en los ambos casos. Mientras que el primero supone un trasvase cuasi directo de las fórmulas de la TV tradicional al contexto web, la segunda aprovecha la idiosincrasia del entorno digital.

<b>Fórmulas de ingresos por publicidad de carácter convencional</b>	
<i>Publicidad/ Advertising video on demand</i>	Venta de espacio en web para la promoción de marcas. Bajo este apartado se entiende aquella publicidad que adopta fórmulas propias de la televisión convencional para el contexto digital. Spots que se introducen en el visionado de los contenidos o spots que anteceden el visionado. Aquí caben los vídeos pre-roll, mid- roll o de display.
<i>Patrocinio</i>	Es aquella estrategia publicitaria que, mediante el aporte de una contraprestación de algún tipo a una cadena de televisión, tiene como finalidad de la promoción de una marca, producto, servicio. Esta es una forma sutil de publicidad en la que se busca la asociación de la marca con los productos audiovisuales de la cadena.
<i>Mecenazgo</i>	Es una forma de patrocinio menos comercial (interés comercial inmediato) y altruista que la mencionada, promueve actividades de interés social con el fin de beneficiarse de la reputación y prestigio del medio.
<i>Telepromoción</i>	Consiste en exhibir productos o servicios empleando el escenario, ambientación y atrezzo del programa donde el mensaje no puede emitirse de forma independiente del programa correspondiente.
<i>Product Placement</i>	Consiste en incluir o referirse a un producto, servicio o marca de forma que se incluya en un producto audiovisual mediante remuneración económica. El emplazamiento de producto es una vía para obtener ingresos para la realización de productos audiovisuales.
<i>Bartering</i>	En el bartering el anunciante interviene en la producción del contenido. Es un trueque porque sirve para pagar un producto o servicio con otro producto. Puede realizarse de varias formas, ya sea produciendo una pieza que transmitirá un medio sin que tenga que pagar, a cambio de determinada promoción del patrocinador, o bien facilitando productos que sirvan de reclamo para atraer al público de un contenido. Es directo cuando dos partes llegan a un acuerdo para intercambiar directamente productos o servicios; e indirecto, cuando más de dos partes se involucran en un acuerdo de intercambio.
<i>Autopromoción</i>	Es aquella promoción que realiza la cadena sobre sus propios contenidos. Si bien ello no genera beneficios directos, sí indirectos al incrementar potencialmente la audiencia.

Figura 2 – Fórmulas de ingresos por publicidad de carácter convencional  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el parámetro pago por servicios en el entorno web abarca todas aquellas fórmulas de ingresos complementarios a la venta de contenidos tales como el pago por servicios extras o el *merchandising* (Figura 3). Aquellas cadenas más avanzadas han comenzado a obtener recursos por esta vía, sin embargo, todavía son pocas las que se han lanzado a por ello. Pese a las grandes potencialidades en recursos que esta vía puede generar a una cadena, el estudio no ha hallado ningún operador que la gestione en su espacio web.

<b>Ingresos del entorno web</b>	
<i>Membresía</i>	Es un modelo de afiliación a un club o una comunidad digital a la que se pertenece inicialmente sin pagar. A cambio de la cesión de los datos personales se tiene acceso a algún tipo de servicio. Se explota también combinado con el modelo de suscripción.
<i>Pago por servicios extras vinculados a la interactividad</i>	La explotación de ingresos podrá depender de servicios adicionales como: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resolución de imagen,</li> <li>2. Extras,</li> <li>3. Subtítulos,</li> <li>4. Juegos,</li> <li>5. RRSS,</li> <li>6. Servicios financieros,</li> <li>7. Comercio electrónico,</li> <li>8. Apuestas...</li> </ol>
<i>Merchandising</i>	Es la venta de productos relacionados con contenidos audiovisuales de la compañía.

Figura 3 – Ingresos del entorno web. Fuente: Adaptado de Álvarez Monzoncillo & Menor Sendra, 2010; España Boquera, 2003.

A partir de la inclusión de dichos conceptos se refleja la información recolectada en la Tabla 3 correspondiente a las veinticuatro cadenas de televisión analizadas que aplican dichos indicadores.

<b>Indicador</b>	<b>Número de Televisoras</b>
<i>Pago por visión Pay Per View/ TVOD (transactional video on demand)</i>	1
<i>Suscripción o SVOD (suscrtption video on demand)</i>	2
<i>Premium/fremium</i>	0
<i>Membresía</i>	0
<i>Publicidad/ advertising video on demand</i>	9
<i>Patrocinio</i>	2
<i>Mecenazgo</i>	2
<i>Telepromoción</i>	5
<i>Autopromoción</i>	21
<i>Product placement</i>	0
<i>Bartering</i>	1
<i>Banners</i>	22
<i>Publicidad interactiva</i>	14
<i>Publicidad programática</i>	13
<i>Publicidad nativa</i>	4
<i>Pago por servicios extras vinculados a la interactividad</i>	0
<i>Merchandising</i>	0
<i>Canon</i>	8

Tabla 3 – Televisoras privadas y públicas de la Comunidad Andina y Cono Sur que poseen los indicadores analizados. Fuente: Elaboración propia.

Si se atiende al parámetro publicidad, se tiene que en la Comunidad Andina Ecuavisa y TC Televisión (ambas de Ecuador) son las que mayor tipo de formatos publicitarios convencionales posee en su web, ambas con 3 tipos de formatos. TC Televisión tiene como vía de ingresos la publicidad/*advertising video on demand*, la telepromoción y la autopromoción. Por su parte, Ecuavisa posee la telepromoción, la autopromoción y el bartering.

En el Cono Sur las cadenas que más explotan los diversos formatos clásicos de publicidad son, por este orden, TVN (cadena pública chilena), Teledoce (privada uruguaya), Telefuturo (privada paraguaya).

El formato más empleado por las cadenas es el de autopromoción. Todas las cadenas, salvo tres poseen espacios destinados a tal efecto. La segunda fórmula publicitaria utilizada por nueve cadenas es la publicidad/*advertising video on demand* y telepromoción por cinco canales.

La explotación de fórmulas publicitarias de carácter interactivo y digital permiten dilucidar el grado de innovación en el espacio comercial que las cadenas tienen en su web. Cabe decir que el público joven es aquel que más contacto tiene con las nuevas tecnologías. La forma en la que la publicidad se les muestra y atrae su atención es, necesariamente, de gran interés para los anunciantes. Dentro de la categoría de publicidad interactiva y digital, considerada aquella que emplea fórmulas que se adecúan más a la idiosincrasia y posibilidades de la web, la fórmula más utilizada es el *banner*. Todas las cadenas aprovechan comercialmente espacios a tal efecto (24 cadenas en estudios).

La publicidad interactiva, al igual que la programática, se ha hallado en 13 casos. Por su parte, la publicidad nativa se encuentra en 4 casos.

Si tenemos en consideración a las dos grandes categorías publicitarias, la cadena que más formatos publicitarios explota es TVN (pública chilena) (7), Telefuturo (privada de Paraguay) y Mega (privada de Chile), ambas con la explotación de 6 formatos. Es resaltable que sea una cadena pública la que lidere una categoría intrínseca a la naturaleza de la televisión comercial. Igualmente, es necesario apuntar que Chile se pone a la cabeza de televisoras que más formatos de publicidad aprovechan en la Web TV.

Una excesiva dependencia de la publicidad podría poner en entredicho este modelo, pues ésta aporta cuando la gente no está dispuesta a pagar por el contenido y a mirarla a cambio de ello. Sin embargo, ahora la tendencia es pagar para poder evitarla.

Los anunciantes aumentarán su gasto publicitario global en un 4,3% en 2020, pero el público comercial suministrado por los propietarios de los medios se reducirá en un 1,6%, lo que impulsará un aumento del 6,1% en los precios de los medios, según Zenith, 2019.

La oferta de audiencias comerciales se ha reducido en un 1,3% anual en promedio desde 2010, según una investigación exclusiva de Zenith (2019) mientras que la inflación de los medios ha promediado un 6,5% anual.

Para Matt James, presidente de marca global de Zenith los días en que se podía encontrar audiencias en un solo lugar ya se habían ido. Ahora, por otra parte, la tecnología nos

ofrece la posibilidad de encontrarlos donde sea que estén, en línea o fuera de línea, y recuperar el valor para nuestros clientes a través de la eficiencia y la eficacia, al garantizar que nos dirigimos y lleguemos a los consumidores con el mensaje correcto en el punto correcto en el viaje del consumidor. (Zenith, 2019)

La televisión registrará un crecimiento cero en los próximos tres años, ya que la inflación de precios contrarresta la disminución en el público global (Zenith, 2019). Si se considera la publicidad interactiva y digital como categoría que merece un espacio aparte, se puede decir que de los cuatro formatos aquí considerados que son: banner, publicidad interactiva, publicidad programática y publicidad nativa, las cadenas con mayor empleo de esta fórmula son la peruana América Televisión que aplica los cuatro ítems descritos y Frecuencia Latina, la Colombiana Canal Caracol, Canal RCN y la ecuatoriana Ecuavisa (cada una aplica tres de los cuatro).

En este caso podemos observar que América Televisión y Ecuavisa son las cadenas que mayor tipo de formatos se hallan en su Web (6), le siguen la ecuatoriana TC Televisión (5) y la colombiana Canal Caracol (5).

En lo referente al parámetro de pago por servicios (pagos por servicios extra vinculados a los contenidos y servicios de la cadena y el *merchandising*), cabe mencionar que no se ha hallado ninguna cadena que aproveche la Web para el fomento de estas vías de ingresos. La calidad de los contenidos y su consecuente tirón entre la audiencia podría estar relacionado con la explotación de esta fuente de ingresos, solo aquellas cadenas más competitivas podrían estar empleando esto y generar beneficios para su desarrollo.

La clave de este alto consumo de televisión en Internet está motivada no sólo por la libertad de elección del tiempo de consumo, sino sobre todo por la posibilidad de acceso a aquellas producciones televisivas que han sido capaces de alcanzar un nivel de excelencia reconocido, porque han tratado precisamente de salir de la uniformidad y la baja calidad (Delgado & Prado, 2012).

#### **4. Conclusiones**

Las cadenas de televisión privadas son aquellas que mayor audiencia poseen frente a la considerable baja repercusión de la pública. La preminencia del modelo basado en la publicidad como fuente de financiación se perpetúa en las plataformas web.

Las cadenas de televisión privadas están a la vanguardia de la explotación de las fórmulas de ingresos existentes. Sin embargo, es preciso manifestar que todavía la publicidad es imperante. El empleo de vías alternativas se visibiliza en algunas cadenas, pero no se convierte en la norma.

La idiosincrasia del contexto digital ha abierto la puerta hacia la introducción de nuevas fórmulas de generación de ingresos tales como la venta de servicios adicionales. Ciertamente, la explotación de modelos basados en la suscripción o formas de pago por el contenido contraviene la naturaleza de la televisión generalista en abierto. Ahora bien, la capacidad de las televisoras de conseguir ingresos por esta vía podría minorar su dependencia con la publicidad. La cultura del pago por el visionado de televisión está incrementándose, especialmente entre los espectadores más jóvenes.



En el territorio analizado, los modelos de ingresos basados en la suscripción o en el pago por servicios no se han convertido todavía en una fuente de ingresos generalizada para las cadenas generalistas en abierto pública y privadas.

Por otro lado, es preciso mencionar que la voluntad de pago hacia el contenido web podría ser un indicador de la calidad o atractivo que los contenidos de la cadena poseen para las audiencias. La creatividad y factura de los productos televisivos, entre otros factores, se determinan clave para la atracción de audiencias y la generación de ingresos, además de una imagen de marca competitiva.

## 5. Agradecimientos

El estudio forma parte del proyecto “Innovación en la televisión latinoamericana: nuevos modelos de desarrollo para la competitividad global”, financiado por la 12<sup>o</sup> Convocatoria de Proyectos de Investigación, Desarrollo Experimental e Innovación Tecnológica (2019) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, y se ha realizado al amparo del proyecto de la Universidad de Santiago de Compostela (RTI2018-096065-B-I00) del Programa Estatal de España de I+D+I orientado a los Retos de la Sociedad del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MCIU), Agencia Estatal de Investigación (AEI) y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) sobre “Nuevos valores, gobernanza, financiación y servicios audiovisuales públicos para la sociedad de Internet: contrastes europeos y españoles”. La realización de la investigación se enmarca dentro de la estancia de investigación desarrollada por la segunda autora en la Universidad Andina Simón Bolívar (Quito). La codificación de la web ha sido el resultado del trabajo de los estudiantes de la PUCESI: Nelly Gualán, Karen Guevara, Karla Jaramillo, Lenin Sarmiento.

## Referencias

- Adlatina. (2019). La inversión publicitaria en Latinoamérica crecerá un3.8 en 2019). Recuperado el 25 de agosto de 2019, de <https://www.adlatina.com/publicidad/la-inversi%C3%B3n-publicitaria-global-crecer%C3%A1-un-43>
- Álvarez-Monzoncillo, J. (comp.) (2011). La televisión etiquetada: nuevas audiencias, *nuevos negocios*. Madrid: Ariel.
- Álvarez Monzoncillo, J. & Menor Sendra, J. (2010). Previsiones sobre los recursos del audiovisual. La televisión, entre la gratuidad y el pago. *En TELOS Cuadernos de Comunicación e Innovación*. (pp. 36-44). España: Fundación Telefónica.
- Bizberge, A. (2015). Los modelos de negocio de la televisión en internet en el mercado latinoamericano. *Austral Comunicación*, 4(1), 83-125.
- Campos, F. (2010). Las empresas de medios de comunicación revisan y amplían sus modelos de negocio. *Razón y Palabra*, 15 (74).
- Delgado, M & Prado, E. (2012). Outside the box: la televisión más deseada. *En La televisión ante el desafío de internet*. (pp. 90-97). España: Comunicación Social Ediciones y Publicaciones.

- DossierNet. (2018). *Latinoamérica, proyección de crecimiento en inversión publicitaria para 2019*. Recuperado el 25 de agosto de 2019, de <https://www.dossiernet.com.ar/articulo/latinoamerica-proyeccion-de-crecimiento-en-inversion-publicitaria-para-2019/18160>
- Herrero, M & Urgellés, A. (2015). La audiencia y hábitos de consumo. *En La audiencia en la era digital*. (pp. 67-83). España: Editorial FRAGUA.
- Heredia, V. Revolución Netflix: desafíos para la industria audiovisual. *Chasqui Revista Latinoamericana de Comunicación*, 135, 275-295
- Insider. (2019). *América latina invierte 31.9% de su publicidad en digital y va por más*. Recuperado el 06 de septiembre de 2019, de <https://insiderlatam.com/america-latina-invierte-31-9-de-su-publicidad-en-digital-y-va-por-mas/>
- Izquierdo-Castillo, J. (2015). El nuevo negocio mediático liderado por Netflix: estudio del modelo y proyección en el mercado español. *El Profesional de la Información*, 24, (6), 819-826.
- Izquierdo-Castillo, J. (2017). ¿Quién ve televisión? Revisión del modelo generalista en el espacio mediático convergente. *Trípodos*, 40, 31-54.
- Netflix, 2020. ¿Dónde está disponible Netflix?. Recuperado el 02 de enero de 2020, de <https://help.netflix.com/es-es/node/14164>
- Roel, M. (2010). Desafíos de la televisión ante la consolidación del ecosistema digital. *Ámbitos*. 19, 25-39.
- Heredia Ruiz, V. (2017). Revolución Netflix: desafío para la industria audiovisual. *Chasqui Revista latinoamericana de Comunicación* 135, 275-296.
- Zenith, 2019. Los anunciantes globales aumentarán la inversión publicitaria en un 4.3% en 2020. Recuperado el 20 de diciembre de 2019, de <https://www.zenithmedia.com/global-advertisers-will-increase-adspend-by-4-3-in-2020/>

# La realidad aumentada y el aprendizaje basado en problemas como estrategia que soportan los Living Lab

Vladimir Arenas Crespo<sup>1</sup>, Lillyana María Giraldo Marín<sup>2</sup>

[vladimirac108@gmail.com](mailto:vladimirac108@gmail.com), [lmgiraldo@udem.edu.co](mailto:lmgiraldo@udem.edu.co)

<sup>1</sup> Estudiante programa de Maestría en Gestión de la Información y Conocimiento, Universidad de Medellín, Antioquia, Colombia.

<sup>2</sup> Profesora Titular, Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Antioquia, Colombia.

**Pages:** 572–582

**Resumen:** Los cambios acelerados que los usos de las tecnologías de información (TI) han provocado en los distintos escenarios sociales, políticos, económicos, culturales en el ámbito global, han generado que en un ámbito tan importante como la educación se indague y se pregunte, sobre cómo usar en beneficio de los escenarios educativos y sus actores modelos y estrategias educativas soportadas en TI. Para dar respuesta a estas inquietudes, el objetivo de este artículo es hacer un estado del arte sobre: realidad aumentada (RA), living labs y estrategias activas de aprendizaje que acompañan iniciativas educativas soportadas en TI, la metodología utilizada para realizar el estado del arte sobre el tema es la revisión sistemática de la literatura y adicional se utilizaron herramientas de análisis como lo fue el *tree of science*. En los resultados obtenidos se evidencia que las TI tienen en uso exponencial como soporte en los escenarios de enseñanza-aprendizaje actuales y sus actores. La mayor parte de la investigación realizada en RA aplicada a la educación se ha concentrado en identificar los beneficios de la RA en la educación científica, ecología, salidas de campo, las matemáticas y la geometría, estudios científicos y en general las actividades donde los estudiantes pueden observar elementos que no se podían visualizar en el mundo real sin el uso de un dispositivo especializado. Los resultados en las pruebas de laboratorios vivientes o Living Lab dotados por tecnología de RA arrojaron como positivo que tanto la teoría como la práctica se pueden combinar para que los estudiantes asocien contenidos abstractos con situaciones reales al momento de aprender, mediante dispositivos electrónicos que expliquen las acciones a ejecutar y tener claridad del objetivo buscado. Y por último algunos autores mencionan que el proceso de enseñanza-aprendizaje se ha focalizado en el desarrollo de juegos mediante metodologías de aprendizaje basado en problemas o ABP, estructurada en juego de roles permitiendo la realización de simulaciones participativas de co-creación y desarrollando estrategias de aprendizaje colaborativo.

**Palabras clave:** realidad virtual; realidad aumentada; enseñanza-aprendizaje; aprendizaje basado en problemas; educación.

*Augmented reality and problem-based learning as a strategy that Living Labs support*

**Abstract:** The accelerated changes that the uses of information technologies (IT) have provoked in different social, political, economic, and cultural scenarios in the global sphere have led to an investigation and questioning in such an important area as education, on how to use IT-supported educational models and strategies for the benefit of educational scenarios and their actors. To answer these concerns, the aim of this article is to make a state of the art on: augmented reality (AR), living labs and active learning strategies that accompany educational initiatives supported by IT, the methodology used to make the state of the art on the subject is the systematic review of literature and additional tools of analysis were used as it was the tree of science. The results obtained show that IT is in exponential use as a support in the current teaching-learning scenarios and their actors. Most of the research carried out in AR applied to education has concentrated on identifying the benefits of AR in science education, ecology, field trips, mathematics and geometry, scientific studies and in general activities where students can observe elements that could not be visualized in the real world without the use of a specialized device. The results in the tests of living laboratories or Living Labs equipped with AR technology showed as positive that both theory and practice can be combined so that students can associate abstract content with real situations when learning, through electronic devices that explain the actions to be executed and have clarity of the desired objective. And finally, some authors mention that the teaching-learning process has been focused on the development of games through problem-based learning methodologies or ABP, structured in role-playing allowing the realization of participatory simulations of co-creation and developing collaborative learning strategies.

**Keywords:** Living Lab; Virtual reality; Augmented reality; Teaching-Learning; Problem-based learning; Education.

## 1. Introducción

En los modelos de enseñanza tradicional se determinó que la educación se debía desarrollar en contextos planos, como lo sugería el modelo tradicional donde el conocimiento es concebido desde el profesor, limitando la interacción dinámica estudiante-profesor poniéndolo como un conocimiento irrefutable (Korthagen, 2010); a pesar de que los tiempos han cambiado modelos de educación de esta índole siguen siendo comunes. En la actualidad existen en la literatura diferentes modelos de enseñanza-aprendizaje centrados principalmente en prácticas clásicas, las cuales no permiten un dinamismo en la interacción del conocimiento; por esto, se plantean nuevos enfoques formativos como los Living Lab que proponen dar nuevas alternativas de “aprender haciendo” mediante las tecnologías de virtualización nombradas actualmente como RA (Martin-Gutierrez, 2017). La RA busca metodologías modernas de generación de conocimiento, donde a partir del acompañamiento de nuevas herramientas tecnológicas buscan una interacción directa alumno-profesor, brindándole a los estudiantes una experiencia vivencial al momento de adquirir conocimientos complejos de manera más práctica (Martín-Gutiérrez, Fabiani, Benesova, Meneses, & Mora, 2015).

Casos exitosos se han desarrollado al dotar espacios educativos de tecnologías como la realidad virtual (RV) y RA, principalmente (Wu, Lee, Chang, & Liang, 2013) al involucrar metodologías de aprendizaje activo como el aprendizaje basado en problemas (ABP) (Robledo, Fidalgo, Arias, & Álvarez, 2015), esto gracias al creciente auge que se ha

tenido en áreas como la aviación, ciencias naturales, ciencias sociales y entrenamiento; para tratar conocimientos complejos de una mejor manera (Lee, 2012). Como modelo conductivo se propone crear una propuesta que permita la adopción de herramientas tecnológicas exitosas en espacios académicos, que ayuden a que el estudiante sea un actor activo de su proceso, genere conocimiento significativo y refleje mayor motivación a partir de una experiencia vivencial alumno-profesor (Miller, 2016).

El objetivo de este artículo es hacer un estado del arte sobre: RA, living labs y estrategias activas de aprendizaje que acompañan iniciativas educativas soportadas en TI. La metodología a ser utilizada para conseguir el desarrollo del objetivo es la revisión sistemática (Pérez Rave, 2012), una metodología científica que parte de una pregunta de investigación y tiene una metodología bien definida, en la cual se siguen los siguientes pasos: definir tema, identificar términos de búsqueda, definir preguntas, verificación de los términos de búsqueda, establecer la vigencia del tema, identificar las publicaciones históricas, verificar las publicaciones recientes; de dónde se seleccionan los artículos que se van analizar bajo las preguntas de investigación para hacer el estado del arte sobre la temática definida.

En los resultados obtenidos se evidencia que las TI tienen en uso exponencial como soporte en los escenarios de enseñanza-aprendizaje actuales y sus actores. La mayor parte de la investigación realizada en RA aplicada a la educación se ha concentrado en identificar los beneficios de la RA en la educación científica, ecología, salidas de campo, las matemáticas y la geometría, estudios científicos y en general las actividades donde los estudiantes pueden observar elementos que no se podían visualizar en el mundo real sin el uso de un dispositivo especializado. Los resultados en las pruebas de laboratorios vivientes o Living Lab dotados por tecnología de RA arrojaron como positivo que tanto la teoría como la práctica se pueden combinar para que los estudiantes asocien contenidos abstractos con situaciones reales al momento de aprender, mediante dispositivos electrónicos que expliquen las acciones a ejecutar y tener claridad del objetivo buscado. Y por último algunos autores mencionan que el proceso de enseñanza-aprendizaje se ha focalizado en el desarrollo de juegos mediante metodologías de aprendizaje basado en problemas o ABP, estructurada en juego de roles permitiendo la realización de simulaciones participativas de co-creación y desarrollando estrategias de aprendizaje colaborativo.

## **2. Materiales y métodos**

La metodología de revisión sistemática que se va a desarrollar en este artículo para conocer el estado del arte de la temática definida es la propuesta por el autor Pérez Rave, la cual consta de los siguientes pasos (Pérez Rave, 2012):

### **2.1. Definir tema y preguntas de investigación**

En este apartado y una vez definidos los intereses de los autores se definió el tema: “La Realidad Aumentada, y el Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia que soportan los Living Lab”, en esta fase también se definieron los términos de búsqueda, y se utilizaron recursos como google académico para mejorar los términos e identificar posibles significados con otros sinónimos de estos términos. Los términos identificados para la búsqueda fueron:

*Living lab, Augmented reality, Learning Environments, theaching, higher education.*

Otra actividad que se realizó en esta fase fue la de definir las bases de datos científicas como fuentes de artículos científicos, las bases definidas fueron: *Scopus y Science Direct*. Para dar continuidad a la metodología se procedió a definir las preguntas que guiarían la revisión sistemática:

1. P1. ¿Cómo se beneficia el sector educativo con la incorporación de las tecnologías de RA en su proceso de enseñanza aprendizaje?
2. P2. ¿En qué áreas han sido aplicadas las tecnologías de RA?
3. P3. ¿Cuáles dispositivos de RA han sido exitosos en modelos de enseñanza-aprendizaje?
4. P4. ¿Cuáles sería las ventajas y desventajas de los Living Lab en el proceso de enseñanza-aprendizaje?
5. P5. ¿Qué factores críticos de éxito afectan los proyectos de RA en el sector de la educación?
6. P6. ¿Qué desafíos investigativos existen aún en la literatura sobre el tema?

Una vez definidos el tema, los términos y las preguntas se procede a construir la ecuación de búsqueda.

***(“Living lab AND Augmented Reality”), (“Living lab AND Augmented Reality”) AND (“Education”), (“Living lab AND Augmented Reality”) AND (“Education”), (“Living AND lab\* OR Reality Augmented”) AND (“Learning AND Environments”) OR (“Education”), (“Augmented Reality OR Living Lab”) OR (“Education”), (“Augmented\* Realit\* OR Living Lab\*”) AND (“Education OR Theaching”) OR (“Learning AND Higher Education”).***

Después de establecida la ecuación de búsqueda, y para mejorar los resultados de las búsquedas se procedió de definir los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos donde los conceptos de: Living Lab de RA fueran los temas centrales
- Artículos enfocados en la educación aplicada al tema central
- Artículos recientes, últimos 5 años.
- Artículos en idioma inglés
- Artículos accesibles desde las bases de datos
- Artículos que no fueran de revisión sistemática y que contengan mínimo una citación.

## **2.2. Selección de artículos**

Una vez ejecutada la ecuación de búsqueda en las dos bases de datos científicas y los criterios de exclusión los resultados objetivos fueron: Identificar las publicaciones mejor posicionadas en el tema, los cuales sirvieron como artículos seminales para continuar la revisión sistemática de literatura con el enfoque definido.

## **3. Vigencia del tema**

Con el objetivo de verificar la vigencia del tema y el interés de la comunidad científica demostrado a través de sus publicaciones a lo largo del tiempo, utilizando la base de datos SCOPUS se analiza la vigencia del tema. Ver figura 1.

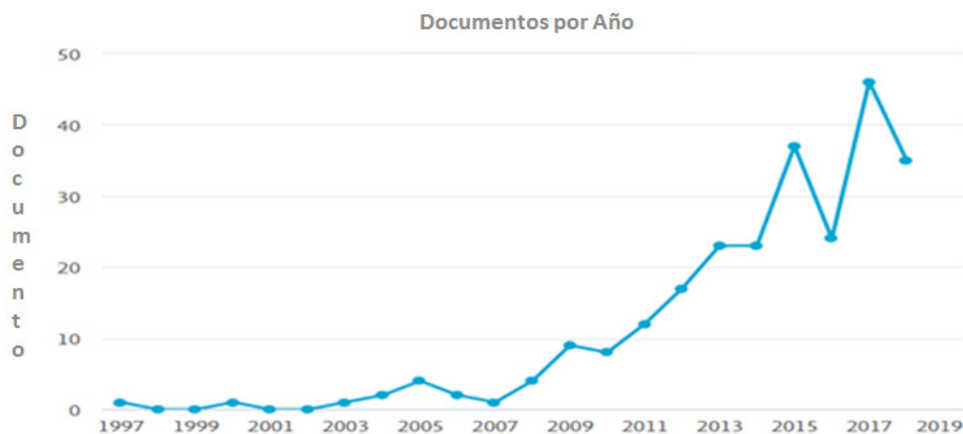


Figura 1 – Número de publicaciones sobre el tema. Fuente: SCOPUS 2019.

La Figura 1 muestra que el tema de “La Realidad Aumentada, y el Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia que soportan los Living Lab”, ha tenido un crecimiento exponencial a lo largo de la línea de tiempo, iniciando su crecimiento en 1997, y a partir de 2007 se da un crecimiento más acelerado, alcanzando su punto más alto en el número de publicaciones en el año 2017,

### 3.1. Publicaciones más posicionadas a través de la historia

Con el objetivo de refinar las búsquedas e identificar las mejores publicaciones sobre el tema se identifican las seis publicaciones con mayor número de citas en los últimos cinco años. Ver tabla 1.

Título	Año	Citaciones
Editorial: learning strategies in engineering education using virtual and augmented reality technologies	2017	2
A meta-analytic and thematic comparative analysis of the integration of augmented reality applications into education	2016	2
Usability and affordances for inquiry-based learning in a blended learning environment	2015	7
Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education	2016	58
Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education	2013	350
Affordances of augmented reality in science learning: suggestions for future research	2013	130

Tabla 1 – Seis publicaciones más posicionadas en la literatura sobre el tema de estudio en los últimos cinco años. Fuente: Elaboración propia, SCOPUS y Science Direct 2019.



La Tabla 1 muestra las 6 publicaciones más citadas en los últimos cinco años (2013 – 2017). En la tabla 1 se ilustra como a través de los años el número de publicaciones ha ido creciendo teniendo su pico más alto en 2013 con 350 publicaciones, esto desde la base de datos *Scopus*. Otra estrategia que se aplicó en esta fase de la revisión sistemática fue utilizar la base de datos científica Science Direct como cotejo de los resultados ya obtenidos.

Adicional se utilizó la herramienta de análisis tree of science, que permitió desarrollar el estudio final del ejercicio comparativo de los artículos científicos (ver figura 2), logrando identificar los mejor posicionados según relevancia literaria, citas y uso en otros procesos investigativos, la herramienta fue de gran utilidad ya que ratificó las áreas en las cuales tiene mayor proyección la RA en entornos académicos, como lo son la educación, seguido de las ciencias sociales en educación y de la computación, lo cual indica el crecimiento exponencial de los elementos tridimensionales al beneficio de la educación, los artículos restantes se clasifican en la categoría de otros.



Figura 2 – Análisis Base de Datos. Fuente: *Science Direct 2020*.

#### 4. Resultados

El seguir la metodología de revisión sistemática de literatura propuesta por el autor Pérez Rave, permito seleccionar y caracterizar cada uno de los artículos que cumplían con la ecuación de búsqueda definida y los criterios de exclusión, y a partir de los resultados de este ejercicio se encontraron las siguientes respuestas.

Título	Año	Autor
<i>Editorial: Learning strategies in engineering education using virtual and augmented reality technologies</i>	2017	J Martin-Gutierrez
<i>A meta-analytic and thematic comparative analysis of the integration of augmented reality applications into education</i>	2016	ZA Yilmaz, V Batdi - Egitim Ve Bilim
<i>Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education</i>	2015	J Martín-Gutiérrez, P Fabiani, W Benesova
<i>Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education</i>	2013	HK Wu, SWY Lee, HY Chang, JC Liang
<i>Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research</i>	2013	KH Cheng, CC Tsai
<i>Augmented Reality in Education and Training</i>	2012	K Lee
<i>The modern science lab: Integrating technology into the classroom is the solution</i>	2012	M Walia, E Yu, M Iskander, V Kapila
<i>A Pilot Study of the Effectiveness of Augmented Reality to Enhance the Use of Remote Labs in Electrical Engineering Education</i>	2012	AM Borrero, JMA Márquez
<i>New technology trends in education Seven years of forecasts and convergence</i>	2011	S Martin, G Diaz, E Sancristobal, R Gil, M Castro
<i>'A living lab': Corporate delivery of ICTs in Rural India</i>	2008	A Schwittay
<i>Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments</i>	2006	Z Pan, AD Cheok, H Yang, Zhu, J Shi

Tabla 2 – Artículos seleccionados según relevancia, vigencia y acceso.

## **P1. ¿Cómo se beneficia el sector educativo con la incorporación de las tecnologías de RA en su proceso de enseñanza aprendizaje?**

El proceso de enseñanza-aprendizaje se ha focalizado en el desarrollo de juegos mediante metodologías de aprendizaje basado en problemas o ABP, estructurada en juego de roles permitiendo la realización de simulaciones participativas de co-creación (Walia, Yu, Iskander, Kapila, & Kriftcher, 2006), otro gran hallazgo es la simulación de las localizaciones de geo-referencia a través de tecnologías de RA, permitiendo el acercamiento real de los entornos en los cuales se está desarrollando la investigación o proceso de enseñanza-aprendizaje, brindando una realidad y permitiéndoles generar tareas de aprendizaje definidas en esta tecnología y hasta categorías de roles si se llegara a requerir. Se concluye que los sistemas y entornos de RA podrían ayudar a los alumnos a desarrollar mayores habilidades y conocimientos gracias a su participación directa, se evidencia la facilidad del aprendizaje mediante la incorporación de RA en contextos educativos.

## **P2. ¿En qué áreas han sido aplicadas las tecnologías de RA?**

Para hablar de la tecnología de RA se debe indicar que sus inicios fueron mediante la tecnología de RV implementada por la empresa de aviación Boeing al desarrollar un

simulador de vuelo para entrenar a sus pilotos (Pan, Cheok, Yang, Zhu, & Shi, 2006), luego se fue desarrollando en sectores de la industria, la ciencia, educación y entretenimiento. El estudio de implementación de RV en ambientes de enseñanza-aprendizaje considera categorías para analizar el estado actual y las tendencias de la tecnología de RA, como los usos de esta en los centros educativos, así como sus limitaciones, la eficacia y la disponibilidad de adaptación en procesos de personalización de aplicaciones educativas, así como el uso de RA para hacer frente a las necesidades especiales de los estudiantes en diversos contextos. Un resultado importante que denotan los datos indica que la mayoría de los estudios (40,6%) se aplicaron en el campo de la “Ciencia”. Este resultado indica que la mayor parte de la investigación realizada en RA aplicadas a la educación se ha concentrado en identificar los beneficios de la RA en la educación científica. Una posible explicación de esto es que RA ha demostrado ser eficaz cuando se aplica a los prototipos de laboratorio viviente (Ibáñez, Di Serio, Villarán, y Delgado Kloos, 2014; Lin, Duh, Li, Wang, y Tsai, 2013; Enyedy, danés, Delacruz, y Kumar, 2012), ecología, salidas de campo, las matemáticas y la geometría (Blake & carnicero-Green, 2009), estudios científicos (Wu et al., 2013) y en general las actividades donde los estudiantes pueden observar elementos que no se podían visualizar en el mundo real sin el uso de un dispositivo especializado.

### **P3. ¿Cuáles dispositivos de RA han sido exitosos en modelos de enseñanza-aprendizaje?**

Desde la literatura se describen los dispositivos que han sido utilizados de manera exitosa en modelos de aprendizaje, siendo estos: chalecos con sensores, cascos con cámaras 3D incorporadas, gafas 4D y hoy en día los dispositivos móviles con fines académicos. Se describe un caso de la India en el cual se ayudó a mejorar situaciones socioculturales en el proceso de enseñanza-aprendizaje, al presentar dificultades de dotación de tecnologías de la información y la comunicación que visualizaban la desatención social de la población de Kuppam por parte del estado, en convenio con la empresa Hewlett Packard quien suministro los equipos de RV para la implementación de un laboratorio viviente, ayudando a brindar una educación de calidad a esta comunidad que por su ubicación no contaba con un aula adecuada de formación, siendo este caso una experiencia vivencial de los beneficios en la educación mediante esta metodología (Schwittay, 2008).

Otro caso interesante, define el contexto de los entornos virtuales de aprendizaje (EVA) como un mercado en auge que en los últimos años paso de 5.200 millones en 2001 a 23.700 millones en 2006 y con la aplicación de RA será aún mejor el futuro de los prototipos de e-learning, siendo los EVA's áreas de educación con un alto campo por explorar, focalizando su estudio en ¿cómo mejorar el proceso alumno-profesor acorde a sus necesidades? Es claro, hay un mundo por descubrir en temas educativos para estudiantes de todas las edades, desde cuentos para niños, factores psicológicos, hasta circuitos integrados, todos estos y muchos más pueden ser un futuro para los EVA's. Los resultados muestran que las mejores tecnologías para la educación son la web social como objetivo de mejorar la colaboración y comunicación, la web 2.0 y las redes sociales con fines formativos y la web semántica generando un entorno amigable en la educación. Estas tecnologías generaron una mayor colaboración y motivación en los estudiantes al ser aplicadas en la educación (Martín-Gutiérrez, Fabiani, Benesova, Meneses, & Mora, 2015).

#### **P4. ¿Cuáles sería las ventajas y desventajas de los Living Lab en el proceso de enseñanza-aprendizaje?**

Los resultados en las pruebas de laboratorios vivientes o *Living Lab* dotados por tecnología de RA arrojaron como positivo que tanto la teoría como la práctica se pueden combinar para que los estudiantes asocien contenidos abstractos con situaciones reales al momento de aprender, mediante dispositivos electrónicos que expliquen las acciones a ejecutar y tener claridad del objetivo buscado, siendo las ventajas innumerables al generar motivación al estudiante al hacerlo participe y protagonista principal de su proceso de enseñanza-aprendizaje, mejorando la interiorización de conocimientos y brindándole al profesor una herramientas que le facilite ayudas digitales en su quehacer (Walia et al., 2006), las desventajas se asocian al elevado costo que tienen estas tecnologías de RV o RA en la actualidad (Muñoz-Cristóbal et al., 2018).

#### **P5. ¿Qué factores críticos de éxito afectan los proyectos de RA en el sector de la educación?**

Varios investigadores han sugerido que los estudiantes mediante la RA pueden aumentar su motivación para aprender y mejorar su aprendizaje basados en el realismo educativo, sigue siendo un reto la implementación de RA en la educación y la formación debido a la dificultad de integración de los métodos tradicionales de aprendizaje, los costos de desarrollo, el mantenimiento del sistema y finalmente la resistencia a las nuevas tecnologías es lo que se evidencia como factores críticos en la actualidad (Martin-Gutierrez, 2017) (Martin et al., 2011).

#### **P6. ¿Qué desafíos investigativos existen aún en la literatura sobre el tema?**

Los desafíos son grandes como el poder desarrollar nuevos modelos de Living Lab más fáciles de utilizar y que pueda ser accesible a profesores que no tengan necesariamente un conocimiento amplio en RA o desarrollo de software, para su utilización y que los costos disminuyan a medida que se avanza en dispositivos más accesibles como los *SmartPhone* (Martin-Gutierrez, 2017). También falta que las instituciones educativas comprendan la importancia de la aplicación de la tecnología en la formación, ya que los estudiantes actuales son diferentes, nacieron rodeados de *smatphone*, portátiles, tabletas y recursos tecnológicos siendo estos precisamente los que se convierten en un elemento motivador de aprendizaje (Martin et al., 2011).

### **5. Conclusiones**

En la revisión de la literatura se evidencio el interés al ser un tema de actualidad, siendo modelos de Living Lab administrados por dispositivos de RA los cuales se han desarrollados en áreas como la aviación, mercadeo, medicina y ahora se encuentra un auge como modelo de exploración en el sector educativo, que le permita mejorar los resultados académicos a los estudiantes al utilizar las metodologías activas de aprendizaje como el ABP (Schwittay, 2008) (Bacca et al., 2014) (Robledo et al., 2015).

Una gran estrategia ha sido la incorporación de la gamificación en modelos de RA, siendo estos de gran beneficio al ser el juego una excusa de aprender y propiciar la

interiorización de contenidos complejos de una forma más atractiva (Walia et al., 2006) (Salmi, Thuneberg, & Vainikainen, 2017) (Martin-Gutierrez, 2017).

El reto actual de la educación es optimizar la utilización de los dispositivos tecnológicos al beneficio de la RA como estrategia de abaratamiento de los costos de producción de estos (Wu et al., 2013).

Se destaca la importancia de los EVA gracias a la aplicación de la RA como un elemento distintivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, al incorporar herramientas colaborativas como la web 2.0 a la educación (Martín-Gutiérrez, Fabiani, Benesova, Meneses, & Mora, 2015).

Los países emergentes tienen el reto de generar un respaldo a estas tecnologías, promoviendo equidad en el campo educativo como modelo de desarrollo y calidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Walia et al., 2006) (Miller, 2016).

La RA sugiere puede llegar a mejorar la motivación de los estudiantes al ser un reto educativo estos nuevos modelos, como también son una oportunidad para mejorar las estrategias de aprendizaje, para lograrlo se debe proveer estas tecnologías a un precio accesible si se desea la masificación (Martin-Gutierrez, 2017) (Martin et al., 2011).

## Referencias

- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Educational Technology and Society*, 17(4), 133–149. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84908502495&partnerID=40&md5=8e2dce65c35f4b87ca9504a31460444b>
- Korthagen, F. A. J. (2010). Situated learning theory and the pedagogy of teacher education: Towards an integrative view of teacher behavior and teacher learning. *Teaching and Teacher Education*, 26(1), 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2009.05.001>
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56(2), 13–21. <https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>
- Martin-Gutierrez, J. (2017). Editorial: Learning strategies in engineering education using virtual and augmented reality technologies. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 297–300. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00630a>
- Martín-Gutiérrez, J., Fabiani, P., Benesova, W., Meneses, M. D., & Mora, C. E. (2015). Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, 51, 752–761. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.093>
- Martin, S., Diaz, G., Sancristobal, E., Gil, R., Castro, M., & Peire, J. (2011). New technology trends in education: Seven years of forecasts and convergence. *Computers and Education*, 57(3), 1893–1906. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.04.003>

- Miller, D. (2016). Implementing Augmented Reality in the Classroom. *Issues and Trends in Educational Technology*, 3(2), 56–63. [https://doi.org/10.2458/azui\\_tet\\_v3i2\\_miller](https://doi.org/10.2458/azui_tet_v3i2_miller)
- Muñoz-Cristóbal, J. A., Rodríguez-Triana, M. J., Gallego-Lema, V., Arribas-Cubero, H. F., Asensio-Pérez, J. I., & Martínez-Monés, A. (2018). Monitoring for Awareness and Reflection in Ubiquitous Learning Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(2), 146–165. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1331536>
- Pan, Z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., & Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 30(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>
- Pérez Rave, J. I. (2012). *Revisión sistemática de la literatura en ingeniería*. Editorial Universidad de Antioquia, 1a Edición.
- Robledo, P., Fidalgo, R., Arias, O., & Álvarez, M. L. (2015). Percepción de los estudiantes sobre el desarrollo de competencias a través de diferentes metodologías activas. *Revista de Investigación Educativa*, 33(2), 369–383. <https://doi.org/10.6018/rie.33.2.201381>
- Salmi, H., Thuneberg, H., & Vainikainen, M.-P. (2017). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 7(3), 253–268. <https://doi.org/10.1080/21548455.2016.1254358>
- Schwittay, A. (2008). “A living lab”: Corporate delivery of ICTs in Rural India. *Science, Technology and Society*, 13(2), 175–209. <https://doi.org/10.1177/097172180801300202>
- Walia, M., Yu, E., Iskander, M., Kapila, V., & Kriftcher, N. (2006). The modern science lab: Integrating technology into the classroom is the solution. In *Advances in Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering - Proceedings of IETA 2005, TeNe 2005, EIAE 2005* (pp. 357–362). <https://doi.org/10.1007/1-4020-5261-8-55>
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers and Education*, 62, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>

# Asignación de recursos con eficiencia y justicia débil en el bienestar social utilitario

Franklin Camacho<sup>1</sup>, Christopher Zhunio<sup>1</sup>, Rigoberto Fonseca<sup>1</sup>, Zenaida Castillo<sup>2</sup>

[fcamacho@yachaytech.edu.ec](mailto:fcamacho@yachaytech.edu.ec), [christopher.zhunio@yachaytech.edu.ec](mailto:christopher.zhunio@yachaytech.edu.ec), [rigof80@gmail.com](mailto:rigof80@gmail.com),  
[zenaida.castillo@epoch.edu.ec](mailto:zenaida.castillo@epoch.edu.ec)

<sup>1</sup> Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, 100650, Urcuquí, Ecuador.

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060150, Riobamba, Ecuador.

**Pages: 583–595**

**Resumen:** En la actualidad, el problema de asignación de recursos no divisibles impacta directamente en el mundo de la computación; por ejemplo, en los sistemas de distribución de insumos médicos. Este trabajo propone un método para encontrar asignaciones eficientes y débilmente justas. La estrategia consiste en hallar asignaciones eficientes de recursos, las cuales son óptimas de Pareto, y consideran criterios de bienestar social. Para ello, se definen asignaciones transitorias en términos matriciales, y se demuestra que son equivalentes a todas las que maximizan el bienestar social utilitario. Luego, usando la función de bienestar de Nash, se demuestra que existen asignaciones transitorias que, globalmente, maximizan el bienestar social utilitario (eficientes) y localmente son libre de envidia de hasta un recurso (débilmente justas). El enfoque matricial y el supuesto de utilidades aditivas y no negativas son fundamentales en la propuesta.

**Palabras-clave:** bienestar social utilitario; asignaciones transitorias; óptimo de Pareto; utilidades aditivas.

## *Allocation of resources with efficiency and weak justice in the utilitarian social welfare*

**Abstract:** Currently, the problem of allocating non-divisible resources directly impacts the world of computing; for example, in the medical supplies distribution system. This work proposes a method to find efficient and weakly fair resource allocations. The strategy is to find efficient resource allocations, in the sense of Pareto optimality, considering social welfare criteria. To do this, transitional allocations, in terms of matrices, are defined, and it is shown that they are equivalent to all those that maximize utilitarian social welfare. Then, using Nash welfare function, it is shown that there are transitory allocations that maximize the utilitarian welfare, globally, and they are locally envy freeness up to one good (*weak justice*). The matrix approach and the assumption of nonnegative and additive utilities are fundamental for this research.

**Keywords:** social utilitarian welfare; transitory allocations; Pareto efficiency; additive utilities.



## 1. Introducción

La tarea de asignar justamente un conjunto de recursos indivisibles, entre un grupo de agentes, es de gran relevancia. Recientemente, se ha visto un creciente interés en las áreas de salud, economía, finanzas, inteligencia artificial y sistemas multiagente (Carvajalino, 2006; Endriss, Maudet, Sadri, y Toni, 2006; Chevaleyre, Endriss, y Maudet, 2017; Caragiannis y cols., 2019).

Una asignación de  $m$  recursos a  $n$  agentes, puede verse como una función, es decir, cada recurso es entregado una única vez a algún agente. Uno de los retos actuales en este campo es encontrar asignaciones que produzcan satisfacción social e individual entre los agentes. Este tipo de problema se conoce en la literatura como distribución justa de recursos.

La satisfacción social generalmente se mide a través de la propiedad de *eficiencia de Pareto*, también conocida como optimalidad de Pareto, la cual establece que la distribución de los recursos no puede ser cambiada para mejorar a un agente, sin perjudicar a otro, ver (Endriss, 2010; Thomson, 2011).

Por otra parte, la satisfacción individual involucra *criterios de justicia*, que pueden evaluarse a través de la propiedad *libre de envidia*. Una versión débil de esta propiedad es la *libre de envidia de hasta un recurso, o justicia débil*, ver (Brams, 1995; Chevaleyre, Endriss, Estivie, y Maudet, 2007; Chevaleyre y cols., 2017; Caragiannis y cols., 2019).

Para evaluar las propiedades de eficiencia y justicia es necesario conocer las preferencias que tiene cada agente sobre los recursos, y esto puede hacerse usando un enfoque cuantitativo, en el que cada agente define una función de utilidad, describiendo la valuación que le asocia a cada subconjunto de recursos. Otro enfoque utilizado es el cualitativo, en el cual, cada agente define sus preferencias a través de preórdenes (Pino Pérez, Varela Montilva, y Camacho, 2016; Camacho, Chacón, y Pérez, 2019). En este trabajo, estamos interesados en estudiar el enfoque cuantitativo.

Hallar asignaciones que satisfacen las propiedades descritas es un problema difícil, debido a que el conjunto de asignaciones aumenta a medida que crece el número de agentes o de recursos. Por esta razón, se clasifican las asignaciones a través de una función denominada bienestar social, denotada por SW (por sus siglas en inglés), considerando aquellas asignaciones que la maximizan, ver (Endriss y cols., 2006; Chevaleyre y cols., 2007; Endriss, 2010; Chevaleyre y cols., 2017; Caragiannis y cols., 2019). Un SW natural es el bienestar social utilitario, el cual se define como la suma de las utilidades que los agentes dan a lo asignado.

Las asignaciones que maximizan el SW utilitario son óptimas de Pareto; sin embargo, generalmente no son justas, ya que puede ocurrir que solo algunos agentes obtengan todos los recursos y el resto ningún recurso. Otro índice para el SW es el bienestar social de Nash, este se obtiene multiplicando las utilidades de los recursos asignados a cada agente. En (Caragiannis y cols., 2019), se demuestra que las asignaciones que maximizan el SW de Nash son óptimas de Pareto y débilmente justas, en el sentido que cumplen la propiedad de libre de envidia de hasta un recurso.

En este trabajo, se propone una estrategia para encontrar asignaciones que maximicen el SW utilitario. Se redefine el problema sobre los agentes que dan mayor utilidad a cada recurso, en función del SW de Nash, obteniéndose la propiedad libre de envidia de hasta un recurso.

La propuesta se basa en representar el problema desde un punto de vista matricial tal y como se propone en (Camacho y cols., 2019), pero tratado en forma cuantitativa y no cualitativa. Para ello se define, en términos matriciales, las asignaciones, las valuaciones y las utilidades de cada asignación. Con estas premisas se presentan las propiedades de optimalidad de Pareto, libre de envidia y libre de envidia de hasta un recurso. Estas nociones se desarrollan en la sección 2. En la sección 3, se muestra una estrategia para hallar las asignaciones que maximicen el bienestar social utilitario, definiendo asignaciones transitorias. En esta sección se desarrolla la teoría para demostrar que estas asignaciones coinciden con las que maximizan el bienestar social utilitario, debido a que estas, generalmente, no poseen propiedades de justicia. También se demuestra en la sección 3 que, en el conjunto de todas las asignaciones transitorias se encuentran asignaciones que, bajo ciertas restricciones, son libres de envidia de al menos un recurso. Finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones e ideas a trabajar en el futuro.

## 2. Preliminares

Esta sección se presenta la primera aportación de este trabajo, que es la definición de los conceptos básicos, siguiendo un enfoque matricial cuantitativo, de la asignación de recursos no divisibles. Esta sección también incluye la notación utilizada en este documento y concluye con las definiciones formales de eficiencia y justicia.

### 2.1. Nociones básicas y notación

El conjunto de agentes y el conjunto de recursos indivisibles se denotan con  $N = \{1, \dots, n\}$  y  $M = \{1, \dots, m\}$ , respectivamente. Cada agente  $i \in N$  tiene una función de utilidad,  $v_i$ , aditiva y no negativa: esto es, una función  $v_i: 2^M \rightarrow \mathbb{R}^*$  tal que  $\forall S \subseteq M, v_i(S) \geq 0$ ,  $v_i(S) = \sum_{s \in S} v_i(s)$  y  $v_i(\emptyset) = 0$ , donde  $\mathbb{R}^*$  es el conjunto de los números reales no negativos incluyendo el cero. El conjunto de todas las matrices de tamaño  $n \times m$  con entradas en el conjunto  $K$  se denotará por  $\mathcal{M}_{n \times m}(K)$ . En estas matrices, las filas representan a los agentes y las columnas a los recursos. Es decir, si  $F \in \mathcal{M}_{n \times m}(K)$ , entonces la posición  $(i, r)$ , denotada por  $[F]_{ir}$ , se refiere al agente  $i$  y al recurso  $r$ . Por otro lado,  $[F]_{i*}$  denota la  $i$ -ésima fila de  $F$  y  $[F]_{*r}$  la columna  $r$ -ésima de  $F$ .

La matriz  $V \in \mathcal{M}_{n \times m}(\mathbb{R}^*)$ , representará las funciones de utilidad de todos los agentes, esta matriz se denominará *matriz de valuación*.

**Definición 1.** Sea  $v_i$  la función de utilidad de cada agente  $i \in N$ . La matriz  $V \in \mathcal{M}_{n \times m}(\mathbb{R}^*)$  es una matriz de valuación si para cada  $i \in N$  y para cada  $r \in M$ , se tiene que  $[V]_{ir} = v_i(r)$ .

A continuación, se define una *matriz de asignación* de  $M$  en  $N$ , para ello se considera el conjunto  $B = \{0, 1\}$ .

**Definición 2.** Se dice que  $F \in \mathcal{M}_{n \times m}(B)$  es una asignación de  $M$  en  $N$  si para cada columna  $r$  con  $1 \leq r \leq m$ , existe un único  $i$  con  $1 \leq i \leq n$  tal que  $[F]_{ir} = 1$  y  $[F]_{jr} = 0$  para todo  $j$  con  $j \neq i$ .

Cada columna de la matriz de asignación  $F$  representa un recurso, para el cual existe exactamente una entrada con el valor uno y el resto de las entradas tendrá el valor cero. La fila correspondiente a la posición con el valor uno representa al agente al que le fue asignado el recurso.

Se denotará por  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{M}_{n \times m}(B)$ , al conjunto formado por todas las asignaciones de  $M$  en  $N$ . Para cada asignación  $F \in \mathcal{A}$ , definiremos una matriz, que llamaremos *matriz de las utilidades de  $F$* , denotada como  $U_F$ , en cuyas entradas se tiene la información de los “valores de las utilidades” de todos los recursos asignados para cada agente.

**Definición 3.** Para cada asignación  $F \in \mathcal{A}$ , la matriz de utilidades de  $F$ , denotada por  $U_F$ , se define como:

$$U_F = V * F^T \tag{1}$$

donde  $V$  es la matriz de valuaciones y  $F^T$  es la traspuesta de  $F$ .

Se observa que  $U_F \in \mathcal{M}_{n \times n}(\mathbb{R}^+)$  y además  $[U_F]_{ij} = \sum_{k=1}^m [V]_{ik} \cdot [F^T]_{kj}$ . Por lo tanto, la posición  $[U_F]_{ii}$  es la valuación que da el agente  $i$  a lo asignado a través de  $F$ ; mientras que,  $[U_F]_{ij}$  es la valuación que da el agente  $i$  a lo asignado, a través de  $F$ , al agente  $j$ .

A continuación, se muestra la relación de estas representaciones matriciales con las funciones bienestar social utilitario y bienestar social de Nash.

**Definición 4.** El bienestar social utilitario de  $F \in \mathcal{A}$ , denotado por  $SW_u(F)$ , se define como

$$SW_u(F) = \text{traz}(U_F) \tag{2}$$

donde  $U_F$  es la matriz de utilidades de  $F$  y  $\text{traz}(U_F) = \sum_{i \in N} [U_F]_{ii}$ .

De manera similar, el bienestar social de Nash de  $F \in \mathcal{A}$ , denotado por  $SW_{Nash}(F)$ , se define como

$$SW_{Nash}(F) = \text{prod}(U_F) \tag{3}$$

donde  $U_F$  es la matriz de utilidades de  $F$  y  $\text{prod}(U_F) = \prod_{i \in N} [U_F]_{ii}$ .

A partir de los  $SW$ , y con el objeto de comparar asignaciones, se definen relaciones binarias sobre  $\mathcal{A}$ , denotadas por  $\succsim$  con subíndice cuando sea necesario.

**Definición 5.** Sea  $SW$  una función de bienestar social. La relación  $\succsim$  que clasifica a  $\mathcal{A}$  según  $SW$  se define como

$$F \succcurlyeq G \Leftrightarrow SW(F) \geq SW(G) \tag{4}$$

Se interpreta  $F \succcurlyeq G$  como “ $F$  tiene mejor o igual bienestar social que  $G$  si y solo si  $SW(F) \geq SW(G)$ ”. Si una asignación maximiza el  $SW$  se dice que es un máximo bienestar social, y se denotará por  $MSW$  al conjunto de todos los máximos, es decir

$$MSW = \{F \in \mathcal{A} : F \succcurlyeq G, \forall G \in \mathcal{A}\} \tag{5}$$

Para evitar ambigüedades, se utilizará la notación  $\succcurlyeq_u$  y  $MSW_u$  cuando se trate de  $SW_u$ , y se utilizarán  $\succcurlyeq_{Nash}$  y  $MSW_{Nash}$  cuando se trate de  $SW_{Nash}$ .

**Ejemplo 1.** Supóngase que la matriz de valuaciones  $V$  está definida para tres agentes y cuatro recursos, tal como se muestra en la Fig. 1. En este caso, el agente 1 da mayor utilidad al recurso 1 y menor utilidad al recurso 3; también se puede observar que al recurso 3 lo prefiere más el agente 2.

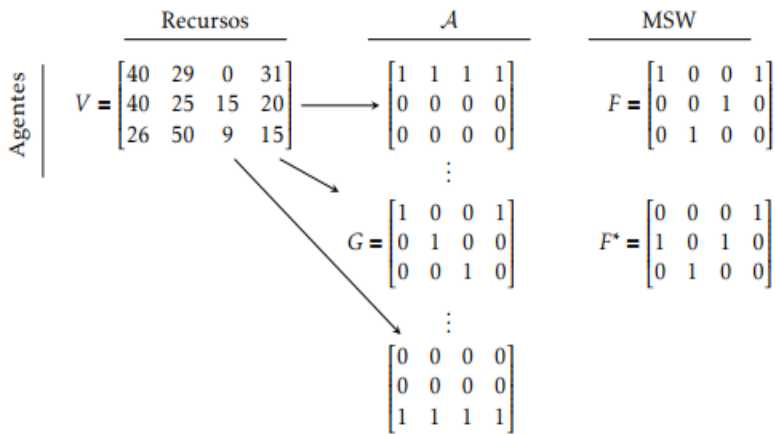


Figura 1 – Ejemplo con una matriz de valuaciones 3x4, de la cual pueden generarse  $3^4$  posibles asignaciones. Solo 2 maximizan  $SW$  utilitario.

En la asignación  $F$  puede verse que el primer agente tiene los recursos 1 y 4, el agente 2 el recurso 3 y el agente 3 el recurso 2.

La matriz de utilidades de  $F$ ,  $U_F$ , permite comparar las valuaciones entre los agentes. En esta matriz,  $[U_F]_{12} = 0$  indica que el agente 1 evalúa con cero la asignación que recibió el agente 2. En  $[U_F]_{13}$  se aprecia que el agente 1 evalúa con 29 lo asignado al agente 3; mientras que  $[U_F]_{11} = 71$  indica la valuación que da el agente 1 a lo que recibe.

$$U_F = \begin{bmatrix} 71 & 0 & 29 \\ 60 & 15 & 25 \\ 41 & 9 & 50 \end{bmatrix}, U_G = \begin{bmatrix} 71 & 29 & 0 \\ 60 & 25 & 15 \\ 41 & 50 & 9 \end{bmatrix}$$

Si se compara  $G$  con  $F$ , es posible observar que:

- $SW_u(F) = 71 + 15 + 50 = 136$ ,
- $SW_u(G) = 71 + 25 + 9 = 105$ ,
- $SW_{Nash}(F) = 71 \cdot 15 \cdot 50 = 53250$ ,
- y  $SW_{Nash}(G) = 71 \cdot 25 \cdot 9 = 15975$ .

De manera que,  $F \succsim_u G$  y  $F \succsim_{Nash} G$ . Luego  $F$  tiene mejor bienestar social, tanto utilitario como de Nash, que  $G$ .

## 2.2. Eficiencia y justicia

Como ya se indicó, para la propiedad de eficiencia se busca la optimalidad de Pareto. Una asignación cumple con esta condición, si no existe otra que mejore estrictamente la utilidad de lo asignado a un agente sin empeorar la utilidad de otro. Formalmente,

**Definición 6** Una asignación  $F \in \mathcal{A}$  es óptima de Pareto si,

$$\forall F' \in \mathcal{A} [\exists i \in N, [U_{F'}]_{ii} > [U_F]_{ii}] \Rightarrow [\exists j \in N, [U_{F'}]_{jj} < [U_F]_{jj}] \quad (6)$$

En el ejemplo 1, se puede observar que  $G$  no es óptima de Pareto. Ahora bien, asignaciones eficientes pueden conseguirse maximizando el bienestar social utilitario.

**Lema 1** Toda asignación que maximiza el bienestar social utilitario es óptima de Pareto.

**Demostración:** Sean  $F \in MSW_u$  y  $G \in \mathcal{A}$  tal que  $[U_G]_{ii} > [U_F]_{ii}$  para algún  $i$ . Para demostrar que  $F$  es óptima de Pareto, suponga que para todo  $j \in N$ , se tiene que  $[U_G]_{jj} \geq [U_F]_{jj}$ . Como las utilidades son aditivas y no negativas,

$$SW_u(G) = \text{traz}(U_G) = \sum_{k \in N} [U_G]_{kk} \geq \sum_{k \in N} [U_F]_{kk} = \text{traz}(U_F) = SW_u(F) \quad (7)$$

Pero,  $[U_G]_{ii} > [U_F]_{ii}$ . Luego,  $SW_u(G) > SW_u(F)$ . Contradicción, pues  $F \in MSW_u$ . Luego, existe  $j \in N$  tal que  $[U_F]_{jj} > [U_G]_{jj}$ . Por lo tanto,  $F$  es óptima de Pareto.

Las asignaciones que maximizan el bienestar social de Nash también son óptimas de Pareto (ver Teorema 1). Sin embargo, no se puede asegurar que toda asignación con la propiedad de optimalidad de Pareto es  $MSW_u$  o bien  $MSW_{Nash}$ . Más aún, decidir cuando una asignación es óptima de Pareto es un problema complicado, ver (de Keijzer, Bouveret, Klos, y Zhang, 2009).

Con relación a la justicia, la propiedad de libre envidia es quizás la más deseada, pero en bienes indivisibles es difícil de determinar. Esta característica busca medir la equidad con ausencia de envidia; en otras palabras, cada agente debe recibir los recursos que él considera al menos tan buenos, como los recursos recibidos por cualquier otro agente.

En el marco matricial, la envidia se determina en cada fila de la matriz de utilidades. Esto es, cada elemento de la diagonal en la matriz de utilidades de la asignación es mayor o igual que las otras entradas de la fila correspondiente. Formalmente,

**Definición 7.** Una asignación  $F \in \mathcal{A}$  es libre de envidia si,

$$\forall i, j \in N, [U_F]_{ii} \geq [U_F]_{ij} \tag{8}$$

En el ejemplo 1, las asignaciones  $F$  y  $G$  no son libre de envidia. En el siguiente ejemplo se puede encontrar dos asignaciones que son libres de envidia y una de ellas no es óptima de Pareto.

**Ejemplo 2.** Considérense tres agentes y cuatro recursos. La matriz de valuaciones  $V$  y las asignaciones  $H$  y  $H^*$  están dadas por

$$V = \begin{bmatrix} 35 & 29 & 0 & 36 \\ 31 & 44 & 15 & 10 \\ 46 & 30 & 9 & 15 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ y } H^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Con matrices de utilidades  $U_H$  y  $U_{H^*}$ , dadas por

$$U_H = \begin{bmatrix} 36 & 29 & 35 \\ 25 & 44 & 31 \\ 24 & 30 & 46 \end{bmatrix} \text{ y } U_{H^*} = \begin{bmatrix} 36 & 29 & 35 \\ 10 & 59 & 31 \\ 24 & 30 & 46 \end{bmatrix}.$$

Puede observarse que  $H$  y  $H^*$  son libres de envidia. Sin embargo,  $H$  no es óptima de Pareto, pues  $H^*$  mejora a  $H$  en el agente 2 y no perjudica a ningún otro.

Las asignaciones en  $MSW_u$  y en  $MSW_{Nash}$  son óptimas de Pareto, pero no siempre libres de envidia. Más aún, determinar si una asignación posee ambas propiedades es un problema complicado y estudiado en (de Keijzer y cols., 2009).

Una versión débil de libre envidia es la *libre envidia de hasta un recurso*, cuyo objetivo es eliminar la envidia, si existe, quitando un recurso. En otras palabras, para cada par de agentes  $i$  y  $j$ , existe un recurso que puede eliminarse de los recursos asignados al agente  $j$  de manera que el agente  $i$  no envidie a  $j$ .

**Definición 8.** Una asignación  $F \in \mathcal{A}$  es libre de envidia en al menos un recurso, denotada por  $EF1$  (por sus siglas en inglés), si

$$\forall i, j \in N, \exists r \in M \text{ tal que } [F]_{jr} = 1 \wedge [U_F]_{ii} > [U_F]_{ij} - [V]_{ir} \tag{9}$$

Todas las que maximizan el bienestar social de Nash son libre de envidia en al menos un recurso, se puede ver la demostración en (Caragiannis y cols., 2019).

**Teorema 1** (Caragiannis et al. 2019). *Bajo el supuesto que todos los agentes tienen valuaciones aditivas. Si  $F$  maximiza el bienestar social de Nash, entonces  $F$  es óptima de Pareto y libre de envidia en al menos un recurso.*

Encontrar asignaciones eficientes y justas puede demandar muchos recursos computacionales. Se necesitan métodos explícitos para encontrar asignaciones con estas propiedades. La propuesta de este trabajo pretende avanzar en el objetivo de disminuir los costos computacionales del cálculo de asignaciones al utilizar una representación matricial de los elementos involucrados en el proceso de asignación.

### 3. Máximo bienestar social utilitario

Esta sección presenta una estrategia para hallar una asignación que maximice el bienestar social utilitario, es decir que esté en  $MSW_u$ . Esta se fundamenta en encontrar las asignaciones transitorias. Posteriormente, se demuestra que las asignaciones transitorias son localmente  $EF1$ .

#### 3.1. Asignaciones transitorias

La estrategia propuesta en este trabajo se basa en hallar asignaciones donde los agentes reciben los recursos que dan mayor utilidad. Para ello, se considera una matriz, en  $\mathcal{M}_{n \times m}(B)$ , que se llamará *matriz de transición*. En esta matriz, tal como se hizo en la matriz de valuación, los agentes se representan en las filas y los recursos en las columnas. En cada fila se identifica a los recursos que maximiza el agente correspondiente o, equivalentemente, en cada columna se identifican los agentes que maximizan al recurso correspondiente.

**Definición 9** Una matriz  $T \in \mathcal{M}_{m \times n}(B)$  es llamada de transición si, para todo  $i \in N$  y todo  $r \in M$  se tiene que  $[T]_{ir} = 1$  siempre que  $[V]_{ir} \in \max\{[V]_{kr} : 1 \leq k \leq n\}$ , y  $[T]_{ir} = 0$ , en otro caso.

Se entiende entonces que  $[T]_{ir} = 1$  significa que el agente  $i$  da máxima utilidad al recurso  $r$ , mientras que  $[T]_{ir} = 0$  significa que el agente  $i$  no maximiza al recurso  $r$ .

La matriz de transición se considera de valuación, siempre que cada función de utilidad tome valores de  $B$ . Esta particularidad, podría interpretarse como la preferencia de los agentes por cada recurso. A continuación, se definen las asignaciones transitorias.

**Definición 10.** Sea  $T$  una matriz de transición y  $F \in \mathcal{A}$ . Se dice que  $F$  es una asignación transitoria si,

$$\forall r \in M, \exists i_r \in N, \text{ tal que } ([F]_{i_r, r} = 1 \Rightarrow [T]_{i_r, r} = 1) \quad (10)$$



Dado que  $F \in \mathcal{A}$ , para cada  $r \in M$  el índice  $i_r$  para el cual  $[F]_{i_r,r} = 1$  es único. Además, para todo  $j \in N$  con  $j \neq i_r$  se cumple que  $[F]_{j,r} = 0$ , y  $[V]_{i_r,r} \geq [V]_{j,r}$ .

Si se considera  $F$ ,  $F^*$  y la  $G$  del ejemplo 1, ver figura 1, se observa que  $F$  y  $F^*$  son transitorias, pero  $G$  no lo es. Más aún, tanto  $F$  como  $F^*$  son  $MSW_u$ .

El siguiente resultado garantiza que toda asignación está en  $MSW_u$  si y solo si es transitoria.

**Teorema 2.** *Una asignación es transitoria si, y solo si, maximiza el bienestar social utilitario.*

**Demostración:** Sea  $F$  una asignación transitoria v sea  $G \in \mathcal{A}$ , se quiere demostrar que  $SW_u(F) \geq SW_u(G)$ ; es decir, que  $traz(U_F) \geq traz(U_G)$ . Para ello, se observa que

$$traz(U_G) = \sum_{i \in N} [U_G]_{ii} = \sum_{i \in N} \sum_{k \in M} [V]_{ik} [G^t]_{ki} = \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik} [G^t]_{ki}. \tag{11}$$

La demostración se realiza utilizando inducción sobre  $m = |M|$ . Comprobando que

$$SW_u(F) = \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik} [F^t]_{ki} \geq \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik} [G^t]_{ki} = SW_u(G). \tag{12}$$

Para  $|M| = 1$ , existe  $i_1 \in N$  tal que  $[F]_{i_1,1} = 1$  y para  $j \neq i_1$ ,  $[F]_{j,1} = 0$ . Como  $F$  es transitoria,  $[V]_{i_1,1} \geq [V]_{j,1}$  para todo  $j \in N$ . Por otro lado, existe  $i^* \in N$  tal que  $[G]_{i^*,1} = 1$  y para todo  $j \neq i^*$ ,  $[G]_{j,1} = 0$ . De esta manera,  $[V]_{i_1,1} [F^t]_{1i_1} \geq [V]_{i^*,1} [G^t]_{1i^*}$  y, además

$$\sum_{j \in N, j \neq i_1} [V]_{j,1} [F^t]_{1j} = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{j \in N, j \neq i^*} [V]_{j,1} [G^t]_{1j} = 0$$

luego,

$$\sum_{j \in N} [V]_{j,1} [F^t]_{1j} \geq \sum_{j \in N} [V]_{j,1} [G^t]_{1j}.$$

Por lo tanto,

$$SW_U(F) \geq SW_U(G).$$

Asumir ahora, por hipótesis de inducción, que para  $|M| = m - 1$  se cumple la ecuación (12). Entonces, para  $|M| = m$ , se tiene que

$$\begin{aligned}
 \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik}[F^t]_{ki} &= \sum_{i \in N} [V]_{i1}[F^t]_{1i} + \sum_{k=2}^m \sum_{i \in N} [V]_{ik}[F^t]_{ki} \\
 &\geq \sum_{i \in N} [V]_{i1}[F^t]_{1i} + \sum_{k=2}^m \sum_{i \in N} [V]_{ik}[G^t]_{ki} \\
 &= [V]_{i_1 1}[F^t]_{1i_1} + \sum_{k=2}^m \sum_{i \in N} [V]_{ik}[G^t]_{ki} \\
 &\geq [V]_{i_1^* 1}[G^t]_{1i_1^*} + \sum_{k=2}^m \sum_{i \in N} [V]_{ik}[G^t]_{ki} \\
 &= \sum_{i \in N} [V]_{i1}[G^t]_{1i} + \sum_{k=2}^m \sum_{i \in N} [V]_{ik}[G^t]_{ik} \\
 &= \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik}[G^t]_{ki}
 \end{aligned}$$

De manera que, la ecuación (12) se cumple para todo  $m$ . Luego,  $SW_u(F) \geq SW_u(G)$ . Para el recíproco, sea  $T$  la matriz de transición y  $F \in MSW_u$ . Razonando por el absurdo, asuma que  $F$  no es transitoria. De acuerdo con la definición 10, existe  $r \in M$  tal que  $[F]_{i,r} = 1$  y  $[T]_{i,r} = 0$ . Por otro lado, algún agente distinto a  $i_r$ , maximiza a  $r$ , es decir, existe  $j_r \in N$  con  $j_r \neq i_r$  tal que  $[T]_{j_r,r} = 1$ . Ahora bien, si  $G \in \mathcal{A}$  es tal que  $F = G$  excepto en la columna  $r$ , y la columna  $r$  se define como:  $[G]_{j_r,r} = 1$  y  $[G]_{j_r} = 0$  para todo  $j \neq j_r$ , entonces

$$[V]_{j_r,r}[G^t]_{rj_r} > [V]_{i_r,r}[F^t]_{ri_r}$$

dado que  $[V]_{j_r,r} > [V]_{i_r,r}$  ( $j_r$  maximiza a  $r$ ).

De manera que,

$$\sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik}[G^t]_{ki} > \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} [V]_{ik}[F^t]_{ki}.$$

Luego,

$$SW_u(G) > SW_u(F)$$

lo cual contradice que  $F \in MSW_u$ . Por lo tanto,  $F$  es transitoria.

Un resultado que se obtiene del teorema anterior y el lema 1 es el siguiente:

**Corolario 1** *Toda asignación transitoria es óptima de Pareto.*

### 3.2. Asignaciones transitorias y la EF1

Una manera de encontrar asignaciones  $MSW_u$  y EF1 es seleccionando aquellas que maximicen tanto el  $SW_{Nash}$  como el  $SW_u$ . Puede observarse en la figura 1 que de todas las posibles asignaciones en el ejemplo 1, solo dos maximizan la función  $SW_u$ ,  $F$  y  $F^*$ .

Adicionalmente, si sobre el mismo conjunto de 81 asignaciones posibles se maximiza la función  $SW_{Nash}$ , se obtiene una única asignación que, en este caso, coincide con  $F^*$ . Por el teorema 1,  $F^*$  es óptimo de Pareto y EF1, y por lo tanto se tiene una asignación que es EF1 y también es  $MSW_u$ .

Desafortunadamente, que ocurra  $MSW_u \cap MSW_{Nash} \neq \emptyset$  no es común. En otras palabras, no necesariamente una  $MSW_{Nash}$  es transitoria. En la figura 2, encontramos un problema de asignar tres recursos en tres agentes. La matriz de transición  $T$  genera solo una asignación transitoria  $F$ , que por el teorema 2, es  $MSW_u$ . Se observa que, en este caso,  $F^*$  es  $MSW_{Nash}$  pero no transitoria.

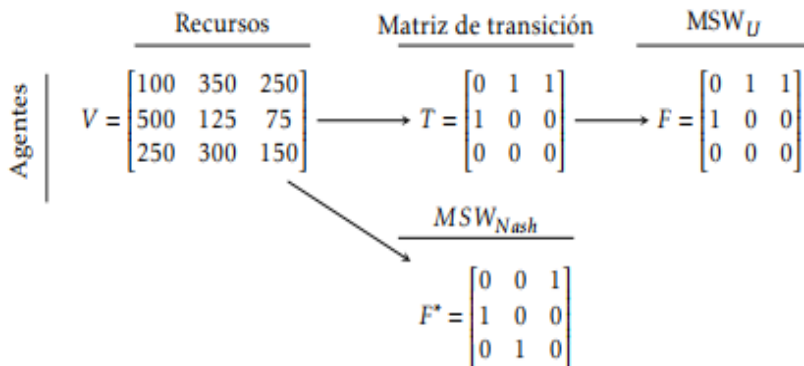


Figure 2 – Ejemplo con una matriz de valuaciones, donde  $MSW_u \cap MSW_{Nash} = \emptyset$ .

A continuación, se prueba que es posible encontrar asignaciones que maximizan, de manera global, el bienestar social utilitario y que, localmente, son libres de envidia en hasta un recurso. Esto lo resume el siguiente teorema.

**Teorema 3.** *Existe una asignación que maximiza el bienestar social utilitario y es libre de envidia de hasta un recurso, para los agentes que maximizan la utilidad.*

**Demostración:** Sea  $V$  la matriz de valuación del problema de distribuir los  $M$  recursos en los  $N$  agentes. Considerar la matriz  $V^*$  tal que para todo  $i \in N$  y todo  $r \in M$ ,  $[V^*]_{ir} = [V]_{ir}$  si  $[V]_{ir} \in \max\{[V]_{jr}; j \in N\}$  y  $[V^*]_{ir} = 0$  en otro caso. En otras palabras,  $V^*$  es igual a  $V$  en las posiciones donde un agente maximiza el recurso correspondiente y 0 en las otras posiciones. Notar que  $V^*$  es otra matriz de valuación. Claramente, las asignaciones transitorias en  $V$  y en  $V^*$  son las mismas y, por el teorema 2, ambas

maximizan el bienestar social utilitario. Denotar por  $\mathcal{T}$  el conjunto de todas las matrices transitorias. Usando  $SW_{Nash}$  con  $V^*$ , se clasifica  $\mathcal{T}$  a través de  $\succsim_{Nash}$ .

De acuerdo al teorema 1, al tomar una asignación  $G \in \mathcal{T}$  que maximiza el  $SW_{Nash}$  con  $V^*$ , y por la definición de  $V^*$ , se puede asegurar que  $G$  es libre de envidia de hasta un recurso para los agentes que maximizan los recursos y, por estar en  $\mathcal{T}$ , maximiza el bienestar social utilitario en  $V$ .

#### 4. Conclusiones y perspectivas

Este trabajo presenta una estrategia para hallar asignaciones que maximizan el bienestar social utilitario y que cumplen con las propiedades de eficiencia de Pareto y libre de envidia de hasta un recurso (débilmente justas). Para lograr este objetivo, se ha definido una asignación transitoria, demostrando que satisface la optimalidad de Pareto, y además que el conjunto de todas las asignaciones transitorias es exactamente igual a  $MSW_u$ .

La propuesta matricial permite determinar explícitamente cuando una asignación es  $MSW_u$ . Mas aún, genera en forma natural, mecanismos para visualizar las propiedades de eficiencia y justicia de una asignación. El próximo paso será investigar la posibilidad de hallar en forma explícita las asignaciones en  $MSW_{Nash}$ ; además, existen otras propiedades de justicia para  $MSW_u$  que sería interesante analizar.

Por otra parte, se ha observado que existe cierta relación entre las “asignaciones buenas”, asignaciones que maximizan el bienestar social cualitativo y las asignaciones transitorias. Aunque los supuestos iniciales en los problemas que definen estas asignaciones son diferentes, se cree que, en algún sentido, estos conjuntos son equivalentes. En ese caso, técnicas como las propuestas en este trabajo, podrán ser útiles para encontrar “asignaciones buenas”, en un marco cualitativo, que sean libre de envidia en al menos un recurso.

#### Referencias

- Brams, S. J. (1995). On envy-free cake division. *J. Comb. Theory, Ser. A*, 70(1), 170–173.
- Camacho, F., Chacón, G., y Pérez, R. P. (2019). A qualitative framework for resource allocation. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, E19, 121–133.
- Caragiannis, I., Kurokawa, D., Moulin, H., Procaccia, A. D., Shah, N., y Wang, J. (2019). The unreasonable fairness of maximum Nash welfare. *ACM Transactions on Economics and Computation (TEAC)*, 7(3), 1–32.
- Carvajalino, C. (2006). La eficiencia en la provisión de servicios públicos en salud y sus fallos de mercado. *Revista Equidad y Desarrollo*, 1(6), 51–66.
- Chevalere, Y., Endriss, U., Estivie, S., y Maudet, N. (2007). Reaching envy-free states in distributed negotiation settings. En *IJCAI 2007, proceedings of the 20th international joint conference on artificial intelligence, Hyderabad, India, January, 6-12, 2007* (pp. 1239–1244).

- Chevaleyre, Y., Endriss, U., y Maudet, N. (2017). Distributed fair allocation of indivisible goods. *Artif. Intell.*, 242, 1–22. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.artint.2016.09.005>.
- de Keijzer, B., Bouveret, S., Klos, T., y Zhang, Y. (2009). On the complexity of efficiency and envy-freeness in fair division of indivisible goods with additive preferences. En F. Rossi y A. Tsoukias (Eds.), *Algorithmic decision theory* (pp. 98–110). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Endriss, U. (2010). Lecture notes on fair division. CoRR, abs/1806.04234. Disponible en <http://arxiv.org/abs/1806.04234>
- Endriss, U., Maudet, N., Sadri, F., y Toni, F. (2006). Negotiating socially optimal allocations of resources. *J. Artif. Intell. Res.*, 25, 315–348. Disponible en <https://doi.org/10.1613/jair.1870> doi:10.1613/jair.1870.
- Pino Pérez, R., Varela Montilva, J., y Camacho, F. (2016). Resource allocation under uncertainty: First steps towards a qualitative approach. En *Avances y aplicaciones de sistemas inteligentes y nuevas tecnologías* (pp.399–412). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Ibarra y Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes.
- Thomson, W. (2011). Fair allocation rules. En A. S. K. J. Arrow y K. Suzumura (Eds.), *Handbook of social choice and welfare*, volume 2 (pp.393–506). Elsevier.

# Cómo los profesionales perciben la relevancia de las métricas de productividad para un equipo ágil de desarrollo de software

Giovanni Hernández<sup>1</sup>, Álvaro Martínez<sup>1</sup>, Robinson Jiménez<sup>1</sup>, Franklin Jiménez<sup>1</sup>

[gihernandez@umariana.edu.co](mailto:gihernandez@umariana.edu.co), [amartinez@umariana.edu.co](mailto:amartinez@umariana.edu.co),  
[amartinez@umariana.edu.co](mailto:amartinez@umariana.edu.co), [fjimenez@umariana.edu.co](mailto:fjimenez@umariana.edu.co)

<sup>1</sup> Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, San Juan de Pasto, Colombia.

**Pages: 596–609**

**Resumen:** Los métodos ágiles han sido adoptados de manera más frecuente en el desarrollo de software. Existe literatura sobre el uso de métricas de productividad para equipo de trabajo como herramienta para la mejora continua en el desarrollo ágil de software (ASD); sin embargo, trabajos sobre la relevancia que estas medidas pueden tener para los profesionales que hacen uso de métodos ágiles es muy limitada, el artículo contribuye en este sentido al dar respuesta a la pregunta ¿Cuál es el nivel de relevancia que tienen las métricas de productividad para los profesionales que desarrollan software y utilizan métodos ágiles?. La respuesta fue dada a partir de la realización de una encuesta que siguió el protocolo de Kitchenham y Pfleeger llamado Personal Opinion Surveys. Los profesionales calificaron con un alto nivel de relevancia dos aspectos: el primero, obtener información del esfuerzo requerido para desplegar un producto software y el segundo, medir los beneficios que acarrea para el cliente tener el software en funcionamiento mientras se lo fabrica. Además, se logra establecer un camino para el proceso de medición del esfuerzo requerido en la entrega temprana y frecuente de software, que agregue valor.

**Palabras-clave:** desarrollo ágil de software, personal opinion surveys, gestión del desarrollo de software, evaluación de rendimiento, productividad.

## *How practitioners perceive the relevance of productivity metrics for an agile software development team*

**Abstract:** Agile methods have been adopted more frequently in software development. There is literature on the use of productivity metrics for work teams as a tool for continuous improvement in agile software development (ASD); however, works on the relevance that these measures may have for professionals who use agile methods is very limited. This paper contributes to this regard by answering the question: What is the level of relevance of productivity metrics for professionals who develop software and use agile methods? The answer was given from a survey that followed the protocol of Kitchenham and Pfleeger called Personal Opinion Surveys. The professional collaborators rated two aspects with a high level of relevance: the first, information is obtained on the effort required to implement a software product

and the second is to measure the client benefits while the software is manufactured and it is operating. In addition, a path was established for the process of measuring the effort required in the early and frequent delivery of software, which adds value.

**Keywords:** agile software development, personal opinion surveys, software development management, performance evaluation, productivity.

## 1. Introducción

Un factor fundamental en un equipo de trabajo que desarrolla software está relacionado con medir y mejorar la productividad (Oliveira et al., 2016). Los equipos han venido incorporando métodos que se basan en los valores y principios propuestos en el manifiesto por el desarrollo ágil de software (ASD, por sus siglas en inglés) (Beck et al., 2001) (Ramirez-Mora & Oktaba, 2018). Estos fueron planteados en el año 2001 y han generado una serie de prácticas que, se cree, ofrecen mayor valor a quienes las utilizan (Dingsøyr et al., 2012).

Los métodos ágiles buscan profesionales de software motivados y capacitados, que confíen en la excelencia técnica y el diseño simple, que agreguen valor al negocio entregando software funcional a los usuarios en intervalos cortos y regulares de tiempo (Hernández et al., 2019b) (Dingsøyr et al., 2012). En el centro de estas prácticas se encuentra la idea de equipos auto-organizados cuyos miembros, no solo cumplen un rol, sino que también trabajan a un ritmo que mantiene su creatividad y productividad (Dingsøyr et al., 2012). Además, el principal objetivo del ASD es proporcionar rápidamente productos de software (Yamada & Kii, 2015) que solucionen problemas al cliente y, que a la vez, permitan realizar cambios frecuentes a las especificaciones.

El comportamiento de un equipo, como se expresa en Oliveira y otros (2016), se asocia principalmente con la productividad; y en la Ingeniería de Software se define con frecuencia, desde un punto de vista económico, entendiéndose como la efectividad del esfuerzo productivo, es decir, la tasa de producción por unidad de entrada (Oliveira et al., 2016). Generalmente, la unidad de entrada es el esfuerzo invertido en el desarrollo de software, y la salida es el producto software (Hernández et al., 2019a).

Para mejorar la productividad de un equipo, es necesario conocer cómo se comporta. Un elemento para recopilar datos sobre el desempeño de un equipo son las métricas. Una métrica de equipo es la forma de recopilar y analizar datos produciendo información objetiva que permita aprender sobre el mismo, aspecto que incluye medir ajustes que se decida hacer a su desempeño (Davis, 2015).

El uso de métodos ágiles se hace más frecuente en la industria de software (Rodríguez et al., 2012) (Kapitsaki & Christou, 2015) y las métricas pueden ser usadas para recopilar información relevante. Cuando se construye software desde un enfoque ágil, las personas involucradas desempeñan diferentes roles y poseen una variada experiencia (Davis, 2015). En este sentido, el significado de relevante puede cambiar según el rol. Por ejemplo, uno de los marcos de trabajo más utilizados en ASD es Scrum (Hernández et al., 2019b) (Hernández et al., 2015). Este método posee un conjunto de lineamientos para el desarrollo, despliegue y mantenimiento de software en equipo, que están categorizados en roles, eventos, artefactos y las reglas que los relacionan



(Schwaber & Sutherland, 2017). Al gestionar el proceso de hacer software utilizando Scrum, el rol de product owner, puede considerar importante el número de funcionalidades desplegadas. No obstante, un integrante del development team puede considerar relevante la complejidad que poseen las funcionalidades que se desarrollan. Los dos roles persiguen el mismo propósito, pero comprenden de manera diferente la manera de medir lo que están haciendo (Davis, 2015).

Por otra parte, cualquier medida utilizada para decidir obedece al criterio de bajo costo (Davis, 2015) y no deben tener mayor peso el recurso y esfuerzo invertido para generar información, que recolectar y analizar los datos, esta premisa es clave para definir lo relevante a medir.

En el trabajo realizado por (Hernández et al., 2019a) se identifica 21 métricas dentro de ASD para medir la productividad en equipos que construyen software. Estas medidas buscan reducir la ambigüedad y abstracción de los principios del manifiesto por el desarrollo ágil de software, pero se aproximan a las nuevas reflexiones sobre el agilismo. Sin embargo, las métricas identificadas carecen de un análisis sobre la relevancia que pueden tener para quienes las pueden utilizar.

La motivación de esta investigación surgió por el deseo de establecer la relevancia que puede tener para los profesionales que utilizan métodos ágiles, el uso de las métricas identificadas en (Hernández et al., 2019a) para evaluar la productividad de equipo en ASD.

Los principales aportes de este trabajo son: plantear un proceso sistemático a través de una encuesta para recopilar datos que permitan conocer la relevancia que tienen las métricas de productividad en equipo para los profesionales que utilizan métodos ágiles y presentar los resultados que tienen este tipo de métricas para un conjunto de profesionales que usan métodos ágiles, identificando un camino en la medición del esfuerzo requerido para la entrega temprana y frecuente de software, que agregue valor.

## **2. Trabajos relacionados**

Existen varios estudios, donde se analiza la relevancia que tienen las métricas para evaluar productividad en equipos ágiles. En relación con el marco del proyecto Q-Rapids (Horizonte 2020) (Ram et al., 2018), se realizó un estudio de caso múltiple en cuatro empresas ágiles, utilizando el enfoque Goal-Question-Metric (GQM) para investigar los motivos que explican la elección de métricas en ASD y los desafíos cuando se las operacionaliza. Los resultados reflejan que las empresas están interesadas en evaluar velocidad, desempeño en las pruebas y precisión de la estimación; y que prefieren elaborar medidas personalizadas para estas evaluaciones. Además, las empresas utilizan las métricas como un medio para acceder, e incluso, capitalizar los datos hasta ahora inaccesibles, debido a limitaciones técnicas o de proceso. Sin embargo, el contexto de desarrollo de una empresa puede obstaculizar la operacionalización de las métricas, manifestándose principalmente en la falta de disponibilidad de los datos.

En el estudio realizado por Hernández y otros (2019a), se hace una revisión sistemática de literatura con el fin de identificar métricas que evalúen la productividad de los equipos

que construyen software en ASD. Se encontraron 21 métricas de productividad en equipo, donde en su mayoría utilizan como escalas de medición numérica y comparativa, en una mayor proporción para medir la entrega temprana y frecuente de software, y el valor que agregan las tareas al producto software.

En el trabajo realizado por Kurnia, Ferdiana, Wibirama y Theory (2018), se discute las métricas de software y su papel fundamental en el ciclo de vida del desarrollo de software en Scrum. Se revisan 13 trabajos sobre métricas aplicadas en Scrum y se discute acerca de 34 métricas distribuidas en eventos Scrum, sprint planning, daily scrum meeting, sprint review and sprint retrospective. Además, se realiza una clasificación única y se proporciona un conjunto de medidas de software para implementar en Scrum en función de las perspectivas de gestión de proyectos con el fin de medir el desempeño.

Existen trabajos como el de Lo, Nagappan y Zimmermann (2015), donde se analiza la relevancia que tienen las ideas de investigación relacionadas con temas de Ingeniería de Software, contenidas en 571 documentos ICSE, ESEC / FSE y FSE que se publicaron durante un período de cinco años. La población fue un grupo de 3.000 profesionales de Microsoft, de los cuales participaron 512. Los resultados de la encuesta sugieren que los profesionales valoran positivamente los estudios realizados por la comunidad de investigación en Ingeniería de Software (el 71% de todas las calificaciones fueron esenciales). Además, durante el proceso de recopilación de información consiguieron elaborar un cuestionario que los profesionales responden en un tiempo promedio de 22 minutos.

Como puede apreciarse en los anteriores trabajos consultados, varios de ellos, si bien analizan las razones de la selección, uso y efectos de las métricas en ASD, aplicando encuestas y entrevistas, presentan un vacío en relación con conocer la percepción que tienen los desarrolladores sobre la relevancia que pueden presentar las métricas que evalúan la productividad de un equipo en ASD, siendo ellos quienes las implementarían y así obtener información que les permita tomar decisiones de manera informada y les posibilite mejorar.

### **3. Metodología**

Indagar la relevancia que posee, para profesionales de la Industria de Software, los diferentes factores que se investigan en un tema específico, se ha convertido en una actividad que viene creciendo con los años, como lo muestra Lo, Nagappan, & Zimmermann (2015), en esta búsqueda, la encuesta se ha convertido en una técnica frecuentemente utilizada en la Ingeniería de Software (Kitchenham & Pfleeger, 2008). Autores como Kitchenham y Pfleeger (2008) le dan sentido y significado a la encuesta en el ámbito de la Ingeniería de Software, como un método de investigación integral que tiene como fin recopilar datos que una vez analizados permiten describir, comparar o explicar conocimientos, actitudes y comportamientos.

Alineado con Kitchenham y Pfleeger (2008), este artículo utilizó el protocolo por ellos propuesto desarrollando las etapas de: definición de objetivos, diseño de la encuesta, elaboración y evaluación del instrumento, aplicación de la encuesta y análisis de datos. La fase de análisis de datos se presenta en los resultados descritos en este artículo.

### **3.1. Definición de objetivos**

El objetivo principal planteado en esta investigación fue establecer el nivel de relevancia que tienen las métricas de productividad de equipo en ASD para los profesionales que desarrollan software y utilizan métodos ágiles. Para lograr este objetivo principal, se identificó el nivel de relevancia que tienen las métricas de productividad de equipo en ASD identificadas por Hernández et al. (2019a) en tres aspectos fundamentales: la entrega temprana y frecuente de software, la agregación de valor y en aspectos relacionadas con el esfuerzo.

### **3.2. Diseño de la encuesta**

En el proceso de mejora continua, a través del uso de métricas, es básico y fundamental partir del modelo mental que poseen los profesionales que serán los encargados de recopilar y analizar datos; con el fin de generar información que permita modificar conductas en un equipo. Para Lo, Nagappan, & Zimmermann (2015), la encuesta es una técnica frecuentemente utilizada para recopilar las percepciones de los profesionales e identificar la relevancia que puede tener un conjunto de factores. Por esta razón, se diseñó una encuesta dirigida a los profesionales que desarrollan software y utilizan métodos ágiles. El muestreo utilizado para la selección de la población objeto de estudio fue no probabilístico de tipo intencional, donde los criterios de aceptación fueron: ser parte de un equipo de desarrollo de software, hacer uso de al menos un método de ASD, tener mínimo un año de experiencia trabajando con el método y manifestar el deseo explícito de participar de forma voluntaria en este estudio.

La encuesta se diseñó en dos partes. La primera, constó de un conjunto de preguntas para recopilar información sociodemográfica de los profesionales que desarrollan software y utilizan métodos ágiles. Los datos están relacionados con el género, edad, nivel de formación y métodos/técnicas en ASD que usan. La segunda parte correspondió a preguntas relacionadas con la importancia que tendría recopilar información en relación con las métricas de productividad de equipo en ASD identificadas en (Hernández et al., 2019a) donde las variables seleccionadas fueron: entrega temprana y frecuente de software, valor agregado, y esfuerzo por periodo y tarea.

### **3.3. Elaboración del instrumento**

Para la construcción del cuestionario se identifica la literatura relevante que soporta las métricas de productividad de equipo en ASD. En el trabajo realizado por Hernández y otros (2019a), se identifica a través de una revisión sistemática de literatura métricas que permiten medir la productividad de equipo de trabajo en ASD. Posteriormente, se clasificó las métricas en las categorías planteadas en el diseño de la encuesta. Para la construcción de las preguntas, se desarrolló las actividades propuestas por Fenton y Bieman (2015), quienes plantean que la medición es un proceso donde se realiza una abstracción del mundo empírico al mundo formal y relacional. Posteriormente, se identifica los atributos a medir, que para este estudio corresponden a las métricas de productividad de equipo en ASD. Una medida corresponde a un valor o un símbolo asignado a una entidad y caracteriza un atributo (Fenton & Bieman, 2015). Una forma

de asignar un valor o un símbolo, son los esquemas de valoración subjetiva (Fenton & Bieman, 2015). En este sentido, las métricas se convierten en los posibles atributos, y se pueden representar como:

$$\text{Atributo} = \{ \text{Atributo}_i / \text{Atributo}_i; i=1, \dots, 21 \}$$

Un atributo es susceptible de ser medido a través de un esquema de valoración subjetivo y se puede representar como:

$$\text{Esquema} = \{ \text{Esquema}_j / \text{Esquema}_j; j=1, \dots, m \}$$

A partir de la relación que se establece entre  $\text{Atributo}_i$  y  $\text{Esquema}_j$ , se crea una o un conjunto de preguntas para la medición y se representa:

$$\text{Pregunta} = \{ \text{Pregunta}_k / \text{Pregunta}_k; k=1, \dots, n \}$$

En la Figura 1, se puede observar la relación de los conjuntos Atributo y Esquema, para generar la pregunta.

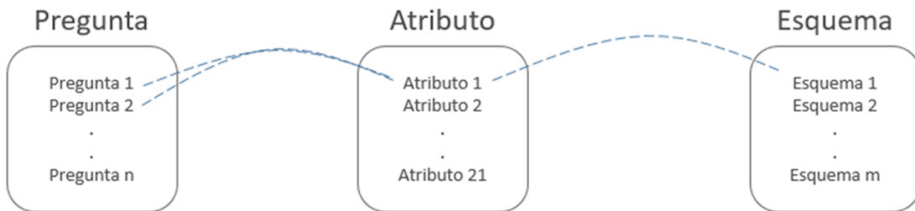


Figura 1 – Diagrama relacional para la construcción de preguntas.

Para medir la relevancia se utilizó la escala Likert como el esquema de valoración subjetiva (Fenton & Bieman, 2015).

En la Tabla 1, se muestra un ejemplo de la forma como se operacionalizó cada pregunta.

Pregunta	Atributo (Métrica)	Esquema de valoración	Medida
El nivel de relevancia que tiene el tiempo que el equipo necesita para finalizar el Sprint y desplegar el producto es:	Preparar a liberación (Tiempo que el equipo necesita para finalizar el Sprint y desplegar el producto.).	Likert	Muy Alto Alto Medio Bajo Muy Bajo

Tabla 1 – Ejemplo de operacionalización de una pregunta.

Una vez se elabora las preguntas, se procedió a unificarlas con base en cada categoría presentada en el diseño de la encuesta (Ver ejemplo en la Tabla 2).

<b>Categoría:</b> entrega temprana y frecuente de software					
<b>Descripción:</b> a continuación, se presenta un conjunto de métricas de desempeño de equipo de trabajo para el desarrollo ágil de software, donde se requiere su apreciación sobre el nivel de relevancia que tendría esta información para tomar decisiones que le posibiliten mejorar su desempeño, siendo Ma-Muy alto, A-Alto, M-Medio, B-Bajo y Mb-Muy bajo. Señale con una X su respuesta.					
<b>Descripción</b>	<b>Ma</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>Mb</b>
Tiempo que el equipo necesita para finalizar el Sprint y desplegar el producto.					
Tiempo utilizado en una tarea y la cantidad de tiempo en espera					

Tabla 2 – Unificación de preguntas por categoría.

Finalizada la unificación, se procedió a consolidar el cuestionario final, haciendo una inspección de redacción, reglas gramaticales y signos de puntuación.

### 3.4. Evaluación del instrumento

Para la validación del instrumento, se utilizó un panel de tres (3) expertos para juzgar la validez del contenido de cada pregunta. A partir de las recomendaciones hechas, se realizó ajustes a las preguntas y se desarrolla un estudio piloto con quince (15) profesionales que utilizan métodos en ASD. Con base en las novedades, se hizo ajustes a las preguntas y se consolidó el instrumento.

### 3.5. Documentación del instrumento

Para finalizar la construcción del cuestionario, se procedió a especificarlo incluyéndole objetivo del estudio, definición de los conceptos de métrica de productividad de equipo en ASD y método ágil. Posteriormente, se organizó la disposición de las preguntas por cada categoría descrita en el diseño de la encuesta, con esquemas y medidas.

### 3.6. Aplicación de la encuesta

La encuesta se aplicó a cincuenta y siete (57) profesionales que desarrollan software en el suroccidente colombiano, pero que trabajan con métodos ágiles. El tiempo usado para recopilar datos fue de cincuenta y dos (52) días, donde, se socializó el estudio y motivó a los profesionales.

## 4. Resultados

### 4.1. Métricas de productividad para trabajo en equipo

En el trabajo de Hernández y otros (2019a), se identifica un grupo de 21 métricas de productividad de equipo en ASD. Los autores las categorizan según la relación que presentan con los principios propuestos en el manifiesto por ASD propuesto por Beck y otros (2001).

En este trabajo, las métricas se las organizó por las categorías planteadas en Hernández y otros (2019a) a saber: entrega temprana y frecuente, valor agregado, y esfuerzo por periodo y tarea.

En la Tabla 3, se pueden apreciar las métricas que permiten medir productividad en equipo que se relacionan con la entrega temprana y frecuente de software.

ID	Métrica	Descripción
M1	Preparar a liberación	Tiempo que el equipo necesita para finalizar el Sprint y desplegar el producto.
M2	Velocidad	Razón entre puntos de historia de usuario terminada y la iteración. Sumatorio de los puntos de historia terminados en una iteración, por el número promedio de horas por punto de historia en proyecto.
M3	Eficiencia de flujo	Proporción entre cantidad de tiempo utilizado en trabajar y la cantidad de tiempo en espera.
M4	Entregables	Cantidad de trabajo realizada por un miembro del equipo.
M5	Desempeño en el despliegue	Razón entre el número de liberaciones del producto sobre el número de horas persona.
M6	Capacidad de trabajo	Horas de trabajo dedicadas durante un Sprint, para historias del usuario terminadas o no.
M7	Factor de enfoque	Razón entre las horas de trabajo dedicadas y la velocidad en horas.
M8	Aumento del valor objetivo	Razón entre puntos historia terminados de la iteración, y los puntos promedio de la historia de todas las iteraciones terminadas.

Tabla 3 – Métricas relacionadas con la entrega temprana y frecuente.

Otro aspecto a relevante a medir en ASD es el valor agregado (Hernández et al., 2019a), (Alahyari et al., 2017). Según el mapa de valor elaborado por Khurum, Gorschek y Wilson (2012) las métricas de productividad en equipo identificadas en Hernández y otros (2019a) (Ver Tabla 4) se orientan al cliente, proceso de negocio interno, y a medir la innovación y aprendizaje.

ID	Métrica	Descripción
M9	Retorno de la inversión.	Medida de la relación costo-beneficio. Razón entre el valor medido en puntos valor, sobre el tamaño, medido en puntos historia.
M10	Defectos externos	Número de defectos reportados por el cliente, usuario o personal externo al equipo, durante un periodo de tiempo.
M11	Densidad de defectos en pruebas	Cantidad de defectos encontrados en las pruebas unitarias.
M12	Calidad del código	Impacto de cambios en el código en la calidad del código fuente
M13	Capacidad de innovación de un equipo	Número de ideas clave de los stakeholders, número de ideas generadas por el equipo, número de ideas generadas por terceros.
M14	Defectos escapados	Cantidad de defectos que deja escapar un integrante del equipo en un producto liberado en un Sprint.

Tabla 4 – Métricas relacionadas con agregar valor.

El esfuerzo es otro aspecto a medir (Hernández et al., 2019a), y se puede determinar por métricas (Ver Tabla 5) relacionadas con: tareas del proceso y evaluación del cumplimiento de un fin.

ID	Métrica	Descripción
M15	Tiempo de ciclo.	Tiempo que toma completar una tarea específica de inicio a fin.
M16	Tiempo en estado.	Tiempo promedio que una tarea permanece en un estado (To do, In Progress, Block, Stopped Progress, In code review).
M17	Rendimiento de las pruebas.	Razón entre los puntos de prueba y el total de tiempo dedicado al desarrollo medido en horas persona.
M18	Esfuerzo de desarrollo y pruebas.	Esfuerzo requerido para desarrollar y probar un producto software.
M19	Tiempo de espera.	Tiempo que transcurre entre la solicitud de un cliente y la liberación del producto.
M20	Burndown.	Cantidad de trabajo por realizar o la cantidad de puntos historia por hacer, en un Sprint.
M21	Porcentaje de trabajo aceptado.	Horas de trabajo dedicadas a las historias de usuario terminadas durante un sprint entre el total de horas de trabajo dedicadas en el Sprint.

Tabla 5 – Métricas relacionadas con el esfuerzo.

#### 4.2.Relevancia de las métricas de productividad de equipo

La población participante en un 89.5% (51) corresponde al género masculino y un 10.5% (6) al género femenino. La mayoría de los desarrolladores son menores a 30 años con un 66.7% (38). En un nivel alto los desarrolladores tienen formación profesional con un 78.9% (45), un 14% (8) tienen especialización y un 7% (4) lograron el título de magister. Esta información permite identificar que existe un alto grado en el nivel de formación profesional y con postgrados.

El uso de métodos ágiles, se hace más frecuente en la industria de software (Rodríguez et al., 2012) (Kapitsaki & Christou, 2015). Uno de los marcos de trabajo más utilizados en ASD es Scrum (Hernández et al., 2019b) (Hernández et al., 2015). En un nivel alto los profesionales utilizan Scrum 89.5% (51) siguiendo los lineamientos, desempeñando roles, desarrollando los eventos y haciendo uso de los artefactos. Los encuestados, en menor medida 10.5% (6) manifiestan utilizar prácticas de XP para desarrollar software de manera ágil. Además de Scrum y XP, un 31.6% (18) manifiestan utilizar tablero Kanban para gestionar de manera visual las actividades realizadas en la fabricación de software.

En la figura 1, se puede observar el nivel de relevancia que, para los participantes de este estudio tienen las métricas de productividad de equipo asociadas con la entrega temprana y frecuente de software. Las medidas que mayor nivel de relevancia presentaron, es decir, existe una tendencia a estar por encima del nivel medio fueron: M1-Preparar a liberación, M2-Velocidad, M4-Entregables y M6-Capacidad de trabajo. Al revisar la descripción de las métricas, se observa una inclinación a encontrar relevancia en recopilar información



en relación con el tiempo requerido para dar respuesta a historias de usuario y la cantidad de trabajo necesario en este proceso, este hecho está en concordancia con la definición de historia de usuario en los métodos ágiles, que no es más que una técnica utilizada para recopilar requerimientos que son valiosos (Cohn, 2004).

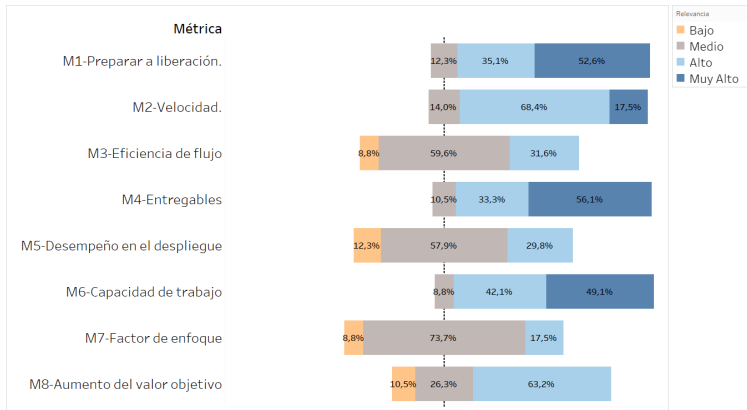


Figura 1 – Relevancia de las métricas relacionadas con la entrega temprana y frecuente.

Al medir el nivel de relevancia que tienen las métricas de productividad de equipo relacionadas con agregar valor (Ver figura 2), se identifica que el interés se orienta a medir el retorno a la inversión (M9) e identificar la calidad del código (M12). La agregación de valor, los profesionales la orientan a cuantificar los beneficios que trae el software funcionando como solución a un problema. Además, consideran importante la incidencia que tienen los cambios en el código, es decir, se desea conocer qué tan mantenible es el software.

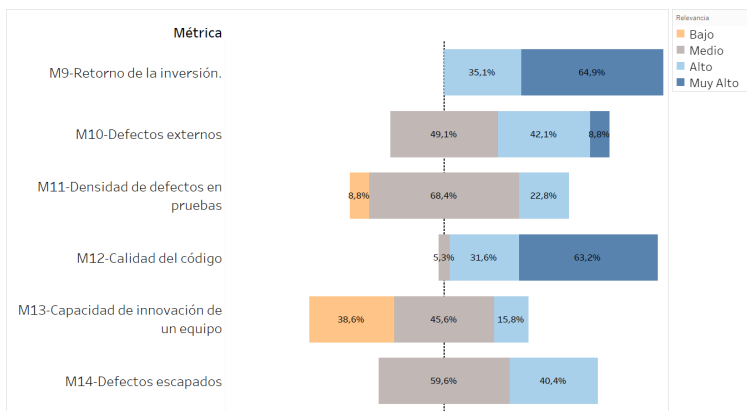


Figura 2 – Relevancia de las métricas relacionadas con agregar valor.

Finalmente, para las métricas de productividad en equipo relacionadas con esfuerzo (Ver figura 3), las que mayor nivel de relevancia presentan son: M15- Tiempo de ciclo, M16- Tiempo de estado, M18- Esfuerzo de desarrollo y pruebas, M19- Tiempo de espera y M21- Porcentaje de trabajo aceptado. Los profesionales perciben con un alto nivel de relevancia el esfuerzo requerido para desarrollar, probar y liberar un producto software como respuesta a la necesidad de un cliente. Las necesidades se especifican en historias de usuario, que luego se transforman en tareas. En este proceso es de interés acumular datos sobre el tiempo que se requiere para completar las actividades incluyendo información sobre su estado.

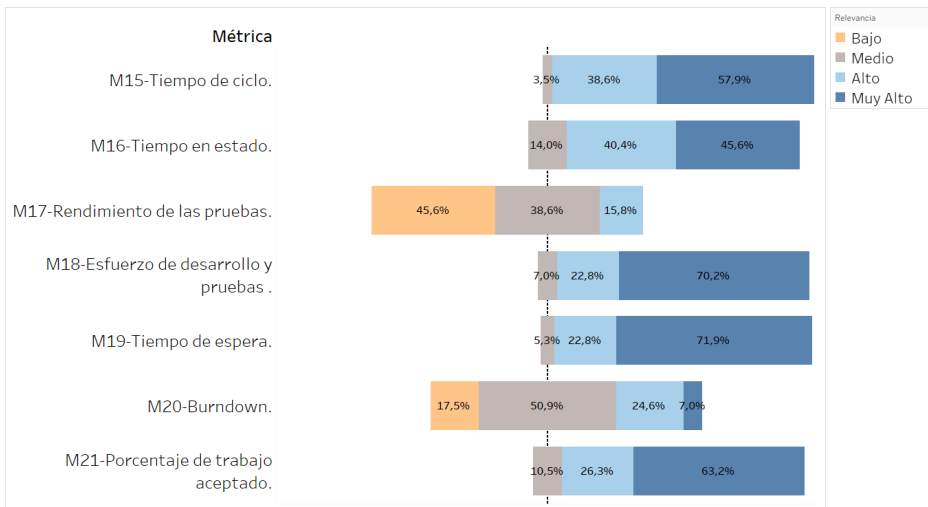


Figura 3 – Relevancia de las métricas relacionadas con el esfuerzo.

Los resultados de la encuesta sugieren que para profesionales es de una alta relevancia medir la productividad entregando software de manera temprana y frecuente. En este fin, el esfuerzo es altamente relevante para desplegar software que solucione problemas del cliente. De igual manera, el calcular de forma sistemática el retorno a la inversión, se aprecia como una forma muy relevante de medir la agregación de valor.

El 47.6% (10) de las métricas de productividad de equipo en ASD, no resultaron con un alto nivel de relevancia para los profesionales que desarrollan software y hacen uso de métodos ágiles. La principal razón que argumentaron coincide con Davis (2015) al considerar complejas las métricas para recopilar y obtener información, es decir, contemplan mayor el esfuerzo en recolectar y analizar los datos, que la misma información que pueden generar.

Las métricas que logran un bajo nivel de relevancia están asociadas principalmente con una baja comprensión y un alto nivel de complejidad en cuanto a la recopilación de datos y su posterior análisis. Los profesionales asumen que el uso de métricas trae beneficios

en el mejoramiento continuo; sin embargo, exige un esfuerzo adicional relacionado con su trabajo diario. Por lo tanto, se orientan a seleccionar aquellas que consideran agregarían valor a su trabajo.

## 5. Conclusiones

El análisis de la relevancia de las métricas de productividad de equipo para profesionales que utilizan métodos ágiles permitió clasificar las métricas de manera que se establezca un camino para el proceso de medición del esfuerzo requerido en la entrega temprana y frecuente de software, que agregue valor.

Al medir la relevancia que tienen las métricas de productividad de equipo para profesionales que utilizan métodos ágiles, se identificó un alto nivel de importancia relacionado con obtener información del tiempo y cantidad de trabajo requerido para desplegar un producto software como respuesta a las necesidades de un cliente; sin olvidar la mantenibilidad como atributo de calidad. Además, durante este proceso, para los profesionales tiene un alto nivel de relevancia establecer mediciones sobre los beneficios que acarrea para el cliente tener el software en funcionamiento.

El hecho de que el 47.6% (10) de las métricas de productividad de equipo en ASD no resultaron con un alto nivel de relevancia para los profesionales, evidencia una oportunidad de investigación que apunta a, de forma sistemática, lograr disminuir el esfuerzo en recolectar y analizar los datos para estas métricas mediante una herramienta que se integre al framework utilizado por los profesionales para la gestión del proceso.

La principal fortaleza de este estudio radica en proporcionar un protocolo que guía el uso de la encuesta como técnica para medir relevancia en el aseguramiento de la calidad y mejoramiento continuo en la Ingeniería de Software. Además, muestra como involucrar a los profesionales, indagando de manera sistemática sus apreciaciones como punto de partida para proponer estrategias de adopción de métricas en ASD dentro de la Industria de Software. Sin embargo, la principal limitación en este estudio obedece a la población, debido a que trabaja con métodos ágiles, pero en equipos pequeños. Sería interesante replicar esta investigación en una población de profesionales donde los equipos han sido escalados a nivel empresarial.

## Referencias

- Alahyari, H., Berntsson, R., & Gorschek, T. (2017). The Journal of Systems and Software A study of value in agile software development organizations. *The Journal of Systems & Software*, 125, 271–288. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.12.007>
- Beck, K., Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., & Kern, J. (2001). *Manifesto for agile software development*. <https://agilemanifesto.org/>
- Cohn, M. (2004). *User stories applied: For agile software development*. Addison-Wesley Professional.

- Davis, C. W. H. (2015). *Agile Metrics in Action* (D. Maharry, M. Smolyak, & L. Recktenwald (eds.); 1st ed.). Manning Publications Co.
- Dingsøyr, T., Nerur, S., Balijepally, V., & Moe, N. B. (2012). A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development. *Journal of Systems and Software*, 85(6), 1213–1221. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.02.033>
- Fenton, N. E., & Bieman, J. (2015). *Software metrics : a rigorous and practical approach* (3rd ed.). CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Hernández, G., Martínez, Á., Argote, I., & Coral, D. (2015). Metodología adaptativa basada en Scrum : Caso empresas de la Industria de Software en San Juan de Pasto - Colombia. *Revista Tecnológica ESPOL*, 28(5), 211–223.
- Hernández, G., Martínez, Á., Jiménez, R., & Jiménez, F. (2019a). Métricas de productividad para equipo de trabajo de desarrollo ágil de software: una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, 22, 63–81. <https://doi.org/10.22430/22565337.1510>
- Hernández, G., Martínez, Á., Jiménez, R., & Jiménez, F. (2019b). Scrum y Peopleware : elementos clave para la gestión en la construcción de software. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, E19, 265–277.
- Kapitsaki, G. M., & Christou, M. (2015). Learning from the Current Status of Agile Adoption. *International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering*, 551, 18–32. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27218-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27218-4_2)
- Khurum, M., Gorschek, T., & Wilson, M. (2012). *The software value map — an exhaustive collection of value aspects for the development of software intensive products*. <https://doi.org/10.1002/smr>
- Kitchenham, B., & Pfleeger, S. (2008). Personal Opinion Surveys. In F. Shull, J. Singer, & D. I. K. Sjøberg (Eds.), *Guide to Advanced Empirical Software Engineering* (p. 394). Springer.
- Kurnia, R., Ferdiana, R., Wibirama, S., & Theory, A. S. (2018). Software Metrics Classification for Agile Scrum Process : A Literature Review. *2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, 174–179. <https://doi.org/10.1109/ISRITI.2018.8864244>
- Lo, D., Nagappan, N., & Zimmermann, T. (2015). How Practitioners Perceive the Relevance of Software Engineering Research. In *Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*, 415–425. <https://doi.org/10.1145/2786805.2786809>
- Oliveira, E., Conte, T., Cristo, M., & Mendes, E. (2016). Software Project Managers' Perceptions of Productivity Factors: Findings from a Qualitative Study. *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 08-09-Sept. <https://doi.org/10.1145/2961111.2962626>

- Ram, P., Rodriguez, P., & Oivo, M. (2018). Software process measurement and related challenges in agile software development: A multiple case study. *Product-Focused Software Process Improvement 19th International Conference, PROFES 2018*, 11271, 272–287. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03673-7\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03673-7_20)
- Ramirez-Mora, S. L., & Oktaba, H. (2018). Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study. *Proceedings - 2017 5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation, CONISOFT 2017*, 44–53. <https://doi.org/10.1109/CONISOFT.2017.00013>
- Rodríguez, P., Markkula, J., Oivo, M., & Turula, K. (2012). Survey on agile and lean usage in finnish software industry. *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 139–148. <https://doi.org/10.1145/2372251.2372275>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). *2017 Scrum Guide - The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*.
- Yamada, S., & Kii, R. (2015). Software quality analysis for agile development. *2015 4th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization: Trends and Future Directions, ICRITO 2015*, 0–4. <https://doi.org/10.1109/ICRITO.2015.7359201>

# Reconfiguración en frecuencia de una antena tipo parche utilizando un circuito de control enlazado a una red inalámbrica

Juan Chafla Altamirano<sup>1</sup>, Damián Nicolalde Rodríguez<sup>1</sup>, Verónica Ati Sarango<sup>2</sup>,  
Gustavo Herrera Tonano<sup>2</sup>, Diana Navarro-Méndez<sup>2</sup>, Hernan Barba Molina<sup>2</sup>

[jchafla390@puce.edu.ec](mailto:jchafla390@puce.edu.ec), [danicolalde@puce.edu.ec](mailto:danicolalde@puce.edu.ec), [sheyla.ati@epn.edu.ec](mailto:sheyla.ati@epn.edu.ec),  
[gustavo.herrera01@epn.edu.ec](mailto:gustavo.herrera01@epn.edu.ec), [veronica.navarro@epn.edu.ec](mailto:veronica.navarro@epn.edu.ec), [hernan.barba@epn.edu.ec](mailto:hernan.barba@epn.edu.ec)

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 170143, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Escuela Politécnica Nacional, 170517, Quito Ecuador.

**Pages: 610–621**

**Resumen:** Este artículo presenta la implementación de una antena parche reconfigurable para dos frecuencias de trabajo: 850 MHz y 1,7 GHz. La reconfiguración se logra por medio de un circuito de control implementado con tecnología microstrip y circuitos integrados conmutadores de radiofrecuencia controlados por medio de una aplicación enlazada a una red inalámbrica. Se presenta una comparación entre resultados medidos y simulados con una aceptable concordancia entre ellos obteniéndose una adecuada adaptabilidad de la antena a ambas frecuencias de operación.

**Palabras-clave:** reconfigurabilidad en frecuencia; antena parche; conmutadores RF.

## *Frequency reconfiguration of a patch antenna using a control circuit linked to a wireless network*

**Abstract:** This paper shows the implementation of a frequency reconfigurable patch antenna for two operation frequencies: 850 MHz and 1,7 GHz. The reconfiguration is achieved by a control circuit realized in microstrip technology and IC RF switches controlled by an application linked to a wireless network. A comparison between measured and simulated results are shown with a well agreement which shows a suitable antenna adaptability for the two operation frequencies.

**Keywords:** frequency reconfigurability; patch antenna; RF switches.

## 1. Introducción

Las tecnologías inalámbricas en la actualidad demandan continuamente soluciones complejas tanto a nivel de hardware como de software (Barba-Molina, 2018). Uno de los puntos sensibles en los sistemas inalámbricos son los componentes del front-end

de dichos sistemas, específicamente en el diseño de antenas, así como del control de las mismas. Cada vez los avances tecnológicos apuntan a la utilización eficiente de los elementos radiantes, antenas, en términos de ocupación espacial y aprovechamiento de su apertura (Hesselbarth, Lopez-Cuenca, & Barba-Molina, 2016). En este contexto, las antenas reconfigurables se muestran como una solución atractiva (Christodoulou, Tawk, Lane, & Erwin, 2012). Si bien este concepto es amplio extendiéndose a la reconfiguración de frecuencia, polarización y patrón de radiación (Costantine, Tawk, Barbin, & Christodoulou, 2015), la reconfiguración de la frecuencia de trabajo aparece como la solución ideal para sistemas de comunicaciones en los cuales coexisten diferentes estándares trabajando a diferentes frecuencias (Matin, 2015). Asimismo, el concepto de reconfiguración encuentra su campo de acción en aplicaciones médicas que requieran radiación en el cuerpo humano (Pancera, Barba, Li, Jalilvand, & Zwick, 2011).

El presente trabajo muestra la implementación de una antena parche reconfigurable en frecuencia controlada por un circuito comandado por una aplicación enlazada a una red inalámbrica. En primer lugar, se presenta de manera general el concepto de reconfiguración en frecuencia basado en la modificación de la longitud eléctrica de un elemento radiante. Seguidamente, se detalla la implementación tanto de la antena, circuito de control y aplicación de control. Por último, se presenta un análisis comparativo entre resultados simulados y medidos. Este trabajo complementa los resultados simulados reportados en (Chafra-Altamirano et al., 2019).

## **2. Reconfigurabilidad en frecuencia**

Bajo el concepto de reconfigurabilidad, una antena reconfigurable se entiende como aquella que permite la variación de una de sus propiedades características (frecuencia de operación, patrón de radiación y polarización) o la combinación de éstas (Costantine et al., 2015). Específicamente, la reconfiguración de la frecuencia de operación, desde el punto de vista circuital, es la modificación del acoplamiento del elemento radiante (antena) a una u otra frecuencia de trabajo, a las cuales, de manera ideal (eficiencia de radiación = 1), toda la energía aceptada por la antena es radiada.

Al ser la antena un componente pasivo de radiofrecuencia, sus propiedades circuitales pueden ser modificadas en frecuencia mediante alteración mecánica de su estructura, básicamente, modificación física del tamaño del elemento radiante; o bien mediante alteración de la longitud eléctrica de la estructura. Ambas técnicas modifican la impedancia de entrada de la antena lo que permite la reconfigurabilidad de la frecuencia de operación de ésta.

Una alteración mecánica de la estructura de la antena, sin embargo, conlleva ciertas desventajas, por ejemplo, la utilización de elementos activos en la estructura radiante mismos que demandan técnicas de polarización para su funcionamiento. Estos elementos activos (MEMS, foto interruptores, diodos varactores) permiten la conmutación entre secciones de toda la estructura modificando físicamente la forma o el tamaño de la misma (Alam & Abbosh, 2016; Weedon, Payne, & Rebeiz, 2001). Este procedimiento, por consiguiente, demanda diseños novedosos y mucho más elaborados (Panagamuwa,



Chauraya, & Vardaxoglou, 2006; Ye & Gao, 2015). En cambio, la modificación de la longitud eléctrica de la estructura no requiere de elementos activos operando directamente en la parte radiante, únicamente puntos adecuados de alimentación y conformación de fases de alimentación (Barba-Molina & Hesselbarth, 2015).

La técnica de variación de la impedancia de entrada por medio de la modificación de la longitud eléctrica de una antena ha sido realizada en arreglos lineares conectados de antenas. Esta técnica aprovecha el fuerte acoplamiento mutuo que existe entre los elementos radiantes actuantes (Hansen, 2004).

La Figura 1 ilustra la técnica de modificación de la longitud eléctrica en un arreglo conectado de dipolos. Ambos dipolos tienen una longitud física  $L$ . El dipolo de la Figura 1a) está alimentado con una fuente de magnitud  $U_1$ . Para una longitud  $L = \lambda_1/2$ ,  $\Gamma_1 \approx 0$ , es decir, el dipolo está acoplado para una frecuencia de trabajo  $f_1$ . Este acoplamiento se mantiene invariable ante cualquier fase  $\phi_1$  (aplicada en la fuente) que alimente la estructura. Ahora, considérese el arreglo planteado en la Figura 1b). El esquema representa dos dipolos galvánicamente interconectados en un arreglo alimentado en dos localizaciones sobre la estructura con voltajes de magnitud  $U_a$  y  $U_b$ , y fases  $\phi_a$  y  $\phi_b$ , respectivamente, por medio de un divisor de potencia de magnitud equilibrada 1:2 con fase ajustable  $\Delta\phi$  y dotado con un punto de alimentación principal  $U_2$ .

Si bien la longitud física del arreglo de dipolos en la Figura 1b) es igual a la longitud física del dipolo en la Figura 1a), la longitud eléctrica del arreglo puede ser modificada al variar las fases de alimentación  $\phi_a$  y  $\phi_b$  (controladas por  $\Delta\phi$  en el divisor de potencia). De esta manera, se espera que  $\Gamma_2$  sea cero (o muy cercano a cero) para al menos dos frecuencias de trabajo,  $f_a$  y  $f_b$  con esquemas de alimentación  $\Delta\phi_a$  y  $\Delta\phi_b$ , respectivamente.

Se ha demostrado incluso, en una realización de un arreglo conectado de tres elementos (Barba-Molina & Hesselbarth, 2015), que cuando la longitud eléctrica del arreglo es aproximadamente media longitud de onda, un esquema de variación de fase en los tres puntos de alimentación produce variación de la orientación azimut del lóbulo de radiación. Este fenómeno sería imposible de conseguirlo con un solo elemento de dicha longitud.

Bajo este esquema de alimentación, es decir, control de la variación de fase en elementos radiantes fuertemente acoplados, se presenta un prototipo de antena tipo parche reconfigurable en frecuencia con dos alimentaciones controladas por un circuito externo comandado por una aplicación enlazada a una red inalámbrica.

### 3. Estructura del prototipo

La Figura 2 muestra el esquema de implementación de la antena con el circuito de control de reconfiguración de frecuencia para 850 MHz y 1,7 GHz. El elemento radiante es una antena tipo parche alimentada en dos localizaciones sobre la estructura mediante dos entradas coaxiales. El circuito de control está conformado por una entrada principal (MAIN) conectada a un circuito integrado HMC545 conmutador de radiofrecuencia (SWITCH 1). Este conmutador permita la conexión de la entrada principal hacia

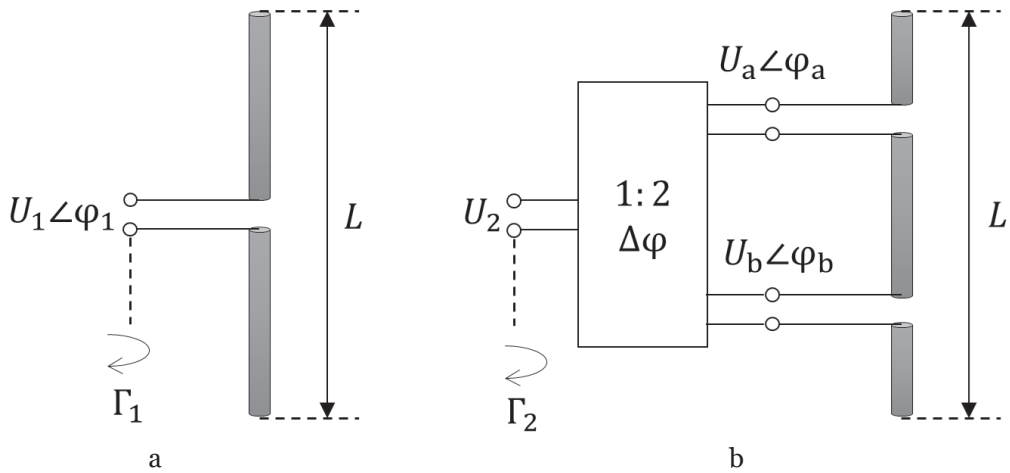


Figura 1 – a) Dipolo son alimentación única, b) Arreglo de dos dipolos conectados.

divisores de potencia conectados a redes de variación de fase según la frecuencia de trabajo a configurar en la antena  $\Delta\varphi_{f=850\text{ MHz}}$  y  $\Delta\varphi_{f=1,7\text{ GHz}}$ , respectivamente. Cada una de las redes de cambio de fase se conectan a su vez con dos conmutadores los que permiten que la señal, previamente modificada según el esquema de reconfiguración, alimente la antena. El control para la selección de los caminos hacia las redes cambiadoras de fase se lo realiza empleando la plataforma de Arduino misma que es comandada por un servidor a través de un módulo WiFi (ESP8266).

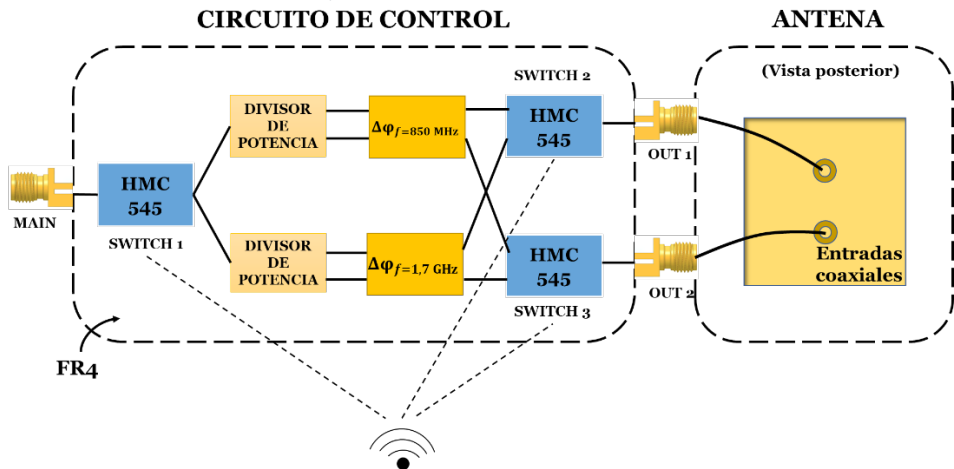


Figura 2 – Esquema de implementación de la antenna reconfigurable.

### 3.1. Antena parche

La Figura 3 ilustra la antena parche propuesta. La estructura está construida sobre sustrato FR4 cuyas propiedades dieléctricas han sido debidamente caracterizadas utilizando un método de comparación entre simulaciones y medidas de las propiedades de la onda de voltaje propagada en líneas microstrip impresas sobre el sustrato (espesor  $h = 1,5$  mm, permitividad caracterizada  $\epsilon_r = 4,25$ ). Las entradas coaxiales de  $50 \Omega$  alimentan el parche en los puntos FP-A y FP-B ubicadas a lo largo del eje de simetría magnético. Las dimensiones del parche  $W = 108,92$  mm y  $L = 84,13$  mm son obtenidas con fórmulas de diseño conocidas partiendo de un radiador operando a 850 MHz (Balanis, 2016).

Para la determinación de los puntos adecuados de alimentación se realiza un análisis paramétrico mediante el software de simulación electromagnética tridimensional CST Studio Suite utilizando el método de elementos finitos conjuntamente con su herramienta de simulación circuital de radiofrecuencia. La configuración esquemática circuital se muestra en la Figura 4. El elemento “Antena” corresponde a la estructura tridimensional propuesta (Figura 3) mientras que los elementos “Cambiador de fase  $\Delta\phi$ ” y “Divisor de Potencia 1:2” son componentes ideales que son configurados según los requerimientos del análisis.

El objetivo del análisis paramétrico es contrastar el coeficiente de reflexión combinado  $\Gamma$  obtenido para las dos frecuencias de operación requeridas al variar la posición de los puntos de alimentación FP-A y FP-B (determinados por la dimensión  $L_1$ ) y la diferencia de fase entre ellas  $\Delta\phi$ . La Figura 5 muestra el resultado del análisis paramétrico realizado.

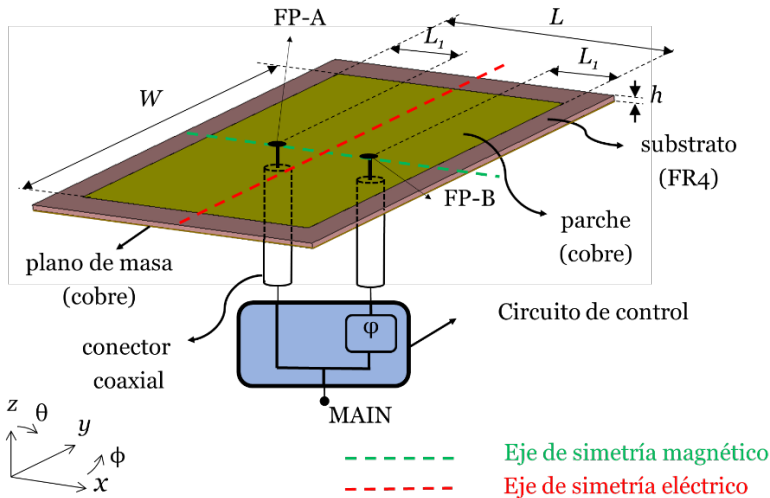


Figura 3 – Estructura de la antena parche (Chafla-Altamirano et al., 2019).

Como parámetro de diseño se determinó que una buena adaptación se consigue cuando las pérdidas por reflexión muestran al menos un valor de 15 dB. Se puede observar entonces que para obtener una buena adaptación en ambas frecuencias de operación con una única estructura la posición de los alimentadores varía entre  $L_1 = 19$  mm y  $L_1 = 39$  mm y la diferencia de fase entre éstos varía entre  $\Delta\phi = -82^\circ$  y  $\Delta\phi = -180^\circ$  para una frecuencia de operación de 850 MHz y entre  $\Delta\phi = 0^\circ$  y  $\Delta\phi = -100^\circ$  para la frecuencia de operación de 1,7 GHz.

En base a este análisis y considerando las factibilidades de manufactura, se determina que las alimentaciones FP-A y FP-B se localizarán en  $L_1 = 32,33$  mm misma que satisface una adecuada adaptación de la antenna a 850 MHz para una diferencia de fase de  $\Delta\phi = -104^\circ$  y a 1,7 GHz para una diferencia de fase de  $\Delta\phi = -50^\circ$ .

La Figura 6 muestra una fotografía del prototipo de antenna construido.

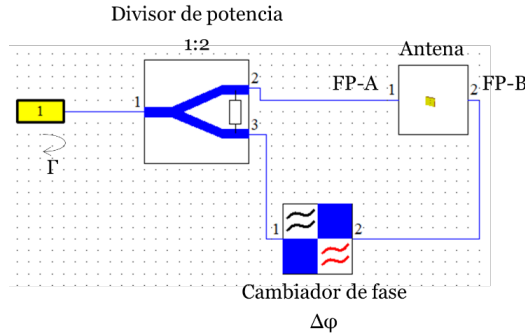


Figura 4 – Configuración circuital ideal para la determinación del coeficiente de reflexión combinado  $\Gamma$ .

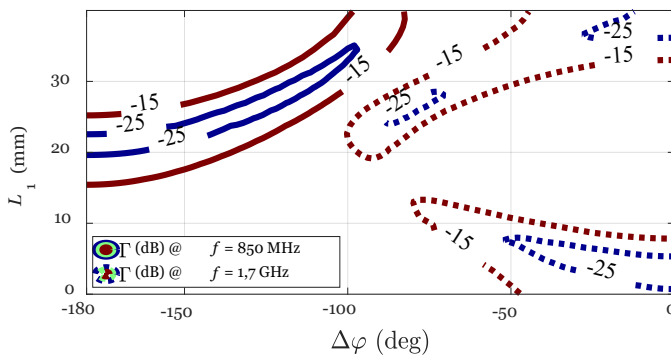


Figura 5 – Coeficiente de reflexión  $\Gamma$  combinado obtenido para dos frecuencias de operación 850 MHz y 1,7 GHz al variar la posición de las alimentaciones FP-A y FP-B ( $L_1$ ) y la fase de alimentación  $\Delta\phi$  (Chafla-Altamirano et al., 2019).



Figura 6 – Fotografía de la antena parche construida, a) vista frontal, b) vista posterior.

### 3.2. Circuito de control

El diseño del circuito de control se realizó utilizando la herramienta de simulación Keysight® Advanced Design System. La Figura 7 muestra una fotografía de la implementación del circuito en sustrato FR4 con tecnología microstrip. La alimentación principal (MAIN) y las salidas hacia la antena (OUT 1 y OUT 2) están provistas de conectores coaxiales SMA. Los divisores de potencia son del tipo Wilkinson con ramales de un cuarto de longitud de onda del tipo meander para optimizar el espacio de implementación. Las redes desfasadoras están implementadas con secciones de líneas de transmisión. Los circuitos integrados HMC545 están implementados conforme lo sugerido por el fabricante. Todos los elementos concentrados son del tipo SMD.

### 3.3. Aplicación de control

El control de los circuitos integrados conmutadores de radiofrecuencia se lo realiza por medio de una aplicación empleando la plataforma de Arduino para la selección de una de las pistas en la placa de control.

La Figura 8 muestra las pantallas del servidor implementadas. Al iniciar el circuito, se establece conexión con una red inalámbrica por medio del módulo WiFi y se informa la dirección IP del servidor para comandar los circuitos. La pantalla de inicio (Figura 8a)) presenta tres opciones: “850 MHz”, “1,7 GHz” y “APAGAR DISPOSITIVO”. En este estado, el usuario puede escoger una de las tres opciones. Al seleccionar “850 MHz” el servidor muestra la pantalla de la Figura 8b) y activa las pistas respectivas para la adaptación de la antena a la frecuencia de trabajo de 850 MHz. Asimismo, la selección “1,7 GHz” muestra la pantalla de la Figura 8c) y selecciona el otro camino en la placa de control. La opción “APAGAR DISPOSITIVO” muestra la pantalla ilustrada en la Figura 8d) y desconecta los conmutadores.

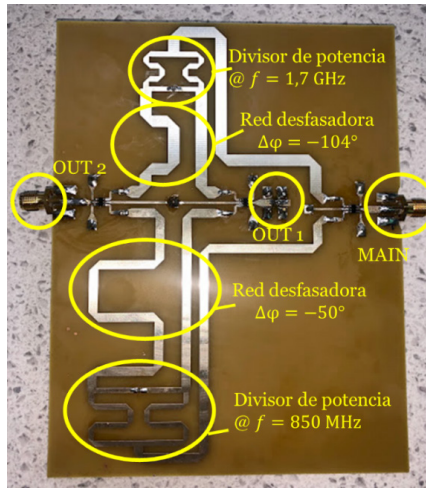


Figura 7 – Fotografia del circuito de control implementado.



a)



b)



c)



d)

Figura 8 – Capturas de pantalla del servidor para el comando de los conmutadores HMC545, a) pantalla de inicio, b) pantalla de selección 850 MHz, c) pantalla de selección 1,7 GHz, d) pantalla al desconectar dispositivo.

#### 4. Resultados

La Figura 9 muestra el montaje de medición implementado. Se realizaron medidas de los coeficientes de reflexión (parámetro  $S_{11}$ ) con un analizador vectorial de redes debidamente calibrado. Las salidas OUT 1 y OUT 2 están interconectadas con las entradas de la antena por medio de cables coaxiales de  $50 \Omega$  de igual longitud con el fin de mantener el desfase requerido.



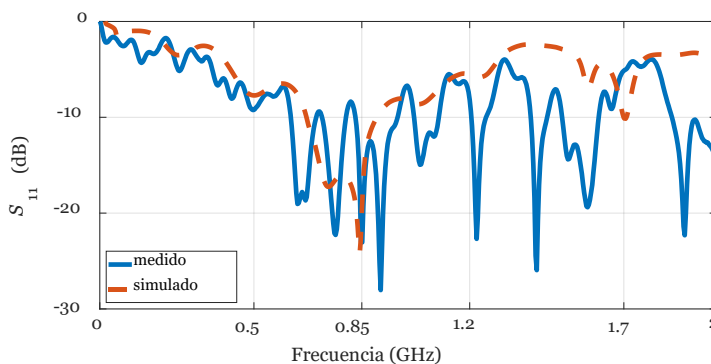
La Figura 10 muestra los resultados obtenidos en las mediciones comparados con los resultados simulados. Cualitativamente se observa una adecuada concordancia entre medidas y simulaciones.

En un análisis cuantitativo, se observa que cuando el circuito de control configura la antena para una frecuencia de trabajo de 850 MHz (Figura 10a)) las pérdidas de reflexión a esta frecuencia son de 23,1 dB mientras que a la frecuencia de 1,7 GHz las pérdidas son de 5,0 dB. De igual manera, cuando el circuito de control configura la adaptación de la antena a una frecuencia de trabajo de 1,7 GHz (Figura 10b)), las pérdidas de reflexión a esta frecuencia son de 18,8 dB mientras que a la frecuencia de 850 MHz las pérdidas son de 9,6 dB.

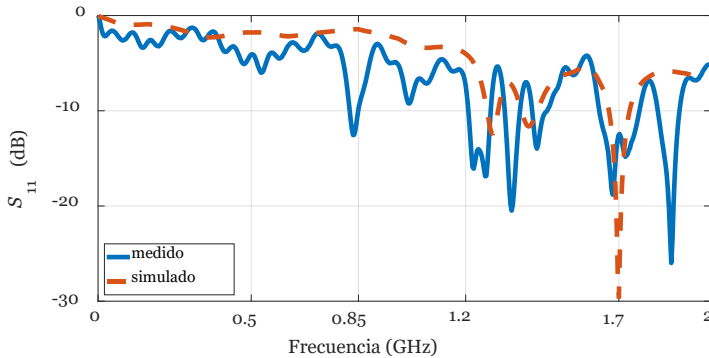
Estos resultados confirman el correcto funcionamiento de la antena reconfigurable en frecuencia.



Figura 9 – Montaje de medición de la antena reconfigurable.



a)



b)

Figura 10 – Coeficiente de reflexión obtenido en la reconfiguración de la antena con circuito de control configurado a: a) 850 MHz y b) 1,7 GHz.

## 5. Conclusiones

Se presenta la implementación de una antena parche reconfigurable para dos frecuencias de operación: 850 MHz y 1,7 GHz. En primer lugar, se aborda de manera general el concepto de reconfigurabilidad, en especial, en frecuencia al modificar la longitud eléctrica de un elemento radiante. Se presenta la estructura de cada una de las partes constitutivas del sistema de reconfiguración: la antena parche, el circuito de control y la aplicación para el control de reconfigurabilidad. Valores medidos y simulados son presentados en un análisis comparativo verificando efectivamente la capacidad de reconfiguración del sistema para las dos frecuencias en cuestión.

El prototipo es diseñado para dos frecuencias de operación. Sin embargo, el concepto puede ser escalado a varias frecuencias de operación interconectando varios elementos radiantes. Así, el concepto puede ser aplicado en diferentes tecnologías que busquen la reducción tanto espacial como de apertura en el front-end. De igual manera, el concepto puede ser aplicado en aplicaciones de telemedicina que requieran de reconfigurabilidad controlada remotamente.

## Referencias

- Alam, M. S., & Abbosh, A. (2016). Planar pattern reconfigurable antenna with eight switchable beams for WiMax and WLAN applications. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 10(10), 1030–1035.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons.
- Barba-Molina, H. (2018). *Shared-aperture Adaptive Microwave and Millimeter Wave Antennas*. Universität Stuttgart.

- Barba-Molina, H., & Hesselbarth, J. (2015). Reactively matched long slot linear connected array antenna. *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (pp. 1–5). IEEE.
- Chafra-Altamirano, J., Nicolalde-Rodríguez, D., Ati-Sarango, V., Herrera-Tonato, G., Navarro-Méndez, D., & Barba-Molina, H. (2019). Frequency Reconfigurable Antenna Using Double Phase-Shifted Feed. *2019 IEEE Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTTW)* (Vol. 1, pp. 27–29). IEEE.
- Christodoulou, C. G., Tawk, Y., Lane, S. A., & Erwin, S. R. (2012). Reconfigurable antennas for wireless and space applications. *Proceedings of the IEEE, 100*(7), 2250–2261.
- Costantine, J., Tawk, Y., Barbin, S. E., & Christodoulou, C. G. (2015). Reconfigurable antennas: Design and applications. *Proceedings of the IEEE, 103*(3), 424–437.
- Hansen, R. (2004). Linear connected arrays. *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett, 3*(1), 154–156.
- Hesselbarth, J., Lopez-Cuenca, D., & Barba-Molina, H. (2016). Millimeter-wave front-end integration concept using beam-switched lens antenna. *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (pp. 1–5). IEEE.
- Matin, M. A. (2015). *Wideband, multiband, and smart reconfigurable antennas for modern wireless communications*. IGI Global.
- Panagamuwa, C. J., Chauraya, A., & Vardaxoglou, J. (2006). Frequency and beam reconfigurable antenna using photoconducting switches. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 54*(2), 449–454.
- Pancera, E., Barba, H., Li, X., Jalilvand, M., & Zwick, T. (2011). UWB antennas optimization for in-body radiation. *2011 German Microwave Conference* (pp. 1–4). IEEE.
- Weedon, W. H., Payne, W. J., & Rebeiz, G. M. (2001). MEMS-switched reconfigurable antennas. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2001 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No. 01CH37229)* (Vol. 3, pp. 654–657). IEEE.
- Ye, M., & Gao, P. (2015). Back-to-back F semicircular antenna with frequency and pattern reconfigurability. *Electronics Letters, 51*(25), 2073–2074.

# Hacia un Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD) para las cooperativas de ahorro y crédito

Claudia Patricia González Múnera<sup>1</sup>, Lillyana María Giraldo Marín<sup>1</sup>,  
María Clara Gómez-Álvarez<sup>1</sup>

[claudiap.gonzalezmunera@gmail.com](mailto:claudiap.gonzalezmunera@gmail.com), [lmgiraldo@udem.edu](mailto:lmgiraldo@udem.edu), [co3mcgomez@udem.edu.co](mailto:co3mcgomez@udem.edu.co)

<sup>1</sup> Universidad de Medellín, 050026, Medellín, Colombia.

**Pages: 622–634**

**Resumen:** La formulación e implementación de una estrategia de transformación digital se ha convertido en una preocupación clave para muchas organizaciones predigitales. En consecuencia, existe una necesidad fundamental de apoyar a las empresas en la transición al uso de las tecnologías, y guiarlas para mejorar sus capacidades de una manera estandarizada, objetiva y repetible. El objetivo del presente artículo es presentar una primera propuesta de un Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD) que cumpla con las necesidades y desafíos que satisfagan la experiencia del cliente y que este alineado con las características de las Cooperativas de Ahorro y Crédito. La metodología utilizada está dividida en seis pasos, iniciando con una revisión sistemática de la literatura sobre la temática, continuando con una entrevista semiestructurada a expertos en transformación digital, y posteriormente realizando una recolección de información con expertos en el sector cooperativo, todo ello con el objetivo de validar la propuesta de las dimensiones y niveles de madurez que deben conformar el MMTD. Los resultados obtenidos es una estructura del MMTD para el sector cooperativo con siete dimensiones (1) Estrategia, (2) Organización, (3) Cliente, (4) Ecosistemas, (5) Operaciones, (6) Tecnología y (7) Innovación y sus respectivos componentes. Y además se propone cinco niveles para evaluar la madurez de cada una de las dimensiones, Pioneros (Nivel 5), Optimizado (Nivel 4), Integración (Nivel 3), Habilitación (Nivel 2), Iniciación (Nivel 1), y No iniciado (Nivel 0).

**Palabras-clave:** Innovación; transformación digital; estrategia digital; modelo de madurez de transformación digital.

## *Towards a Digital Transformation Maturity Model (DMTD) for Credit Unions*

**Abstract:** The formulation and implementation of a digital transformation strategy have become a key concern for many pre-digital organizations. Consequently, there is a fundamental need to support companies in the transition to the use of technologies and to guide them to improve their capabilities in a standardized, unbiased, and

repeatable manner. The paper goal is presenting the first proposal for a Digital Transformation Maturity Model (DTMM) that meets the needs and challenges of the customer experience and is aligned with the characteristics of the credit unions. The methodology used is divided into six steps, starting with a systematic review of the literature on the subject, continuing with a semi-structured interview with experts in digital transformation, and then carrying out an information gathering with experts in the cooperative sector. All the above to validate the proposal of the dimensions and maturity levels associated with the MMTD. The results obtained are an MMTD structure for the cooperative sector with seven dimensions (1) Strategy, (2) Organization, (3) Customer, (4) Ecosystems, (5) Operations, (6) Technology, and (7) Innovation and their respective components. Also, five levels are proposed to evaluate the maturity of each dimension, Pioneers (Level 5), Optimized (Level 4), Integration (Level 3), Enablement (Level 2), Initiation (Level 1), and Not initiated (Level 0).

**Keywords:** Innovation; digital transformation; digital strategy; digital transformation maturity model.

## 1. Introducción

La transformación digital es identificada como una de las principales tendencias de cambio lo cual influye en el desarrollo y supervivencia de las organizaciones contemporáneas. De esta manera puede ser considerada como la modificación o adaptación de los modelos de negocio, resultante del ritmo dinámico, del progreso tecnológico y de la innovación, lo cual desencadena cambios en los comportamientos de los consumidores y de la sociedad (Parviainen *et al.*, 2017).

Las tecnologías digitales se han sumergido en nuestras actividades diarias, influyendo en nuestra forma de trabajar, en nuestra comunicación y en el comportamiento con los consumidores (Piccinini *et al.*, 2015). Las innovaciones en las tecnologías de la información y la computación están impulsando tanto la globalización como el cambio de la creación de valor hacia los servicios. Es por esto que la innovación está impulsando a las empresas a adaptar su modelo de negocio, organización y cultura corporativa (Andal-Ancion *et al.*, 2003). Desde esta perspectiva existe una necesidad fundamental de apoyar a las organizaciones que están en esta transición digital y guiarlas para que mejoren sus capacidades.

Los MMTD tienen por objeto ayudar a las organizaciones proporcionando una orientación completa e introduciendo una hoja de ruta para el logro de objetivos estratégicos específicos. La noción de madurez se utiliza para definir, evaluar y formar una guía y una base para evaluar el progreso de los negocios, es decir a medida que el grado de madurez de un proceso o de una tecnología aumenta se logra un mejor progreso en diferentes aspectos que contribuyen a la maduración de la organización (Gökalp *et al.*, 2017).

No ajenas a esta realidad las cooperativas de ahorro y crédito colombianas, las cuales son un sector en pleno desarrollo en las economías emergentes, también manifiestan la necesidad de disponer de herramientas que permitan una transformación digital guiada y coherente con las necesidades y desafíos de sus clientes y además que cumpla con las características del sector, pues los MMTD resultan útiles para conocer el estado actual de

la empresa y tomar las acciones necesarias para realizar las respectivas transformaciones digitales. (Westerman, et al., 2011), (Leyh et al., 2017). Desde esta perspectiva, el objetivo del presente artículo es presentar una primera propuesta de un Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD) que cumpla con las necesidades y desafíos que satisfagan la experiencia del cliente y que este alineado con las características de las Cooperativas de Ahorro y Crédito.

La metodología utilizada para lograr el desarrollo del objetivo está dividida en seis pasos, iniciando con una revisión sistemática de la literatura sobre la temática, continuando con una entrevista semiestructurada a expertos en transformación digital, y posteriormente realizando una recolección de información con expertos en el sector cooperativo, todo ello con el objetivo de validar la propuesta de las dimensiones y niveles de madurez que deben conformar el MMTD.

Los resultados que se esperan obtener con el desarrollo de esta investigación son: una estructura del MMTD para el sector cooperativo con siete dimensiones (1) Estrategia, (2) Organización, (3) Cliente, (4) Ecosistemas, (5) Operaciones, (6) Tecnología y (7) Innovación y sus respectivos componentes; y además cinco niveles para evaluar la madurez de cada una de las dimensiones, Pioneros (Nivel 5), Optimizado (Nivel 4), Integración (Nivel 3), Habilitación (Nivel 2), Iniciación (Nivel 1), y No iniciado (Nivel 0) (Valdez-de-leon *et al.*, 2016)

La estructura del artículo es la siguiente: En la Sección 2, se presenta el marco teórico que sustentan el trabajo; en la Sección 3 se describe la metodología utilizada para la formulación del MMTD teniendo en cuenta la visión de los expertos; en la Sección 4 se presentan los resultados de aplicación del MMTD a una organización caso de estudio, y finalmente, en la Sección 5 se discuten las conclusiones y se proponen trabajos futuros.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Transformación digital

Parviainen y otros, define transformación digital como cambios en las formas de trabajo, roles y oferta de negocios causados por la adopción de tecnologías digitales en una organización, o en el entorno de operación de la organización. Esto se refiere a cambios en varios niveles, incluyendo los siguientes (Parviainen et al., 2017):

- **Nivel de proceso:** Adopción de nuevas herramientas digitales y racionalización de los procesos mediante la reducción de los pasos manuales.
- **Nivel de organización:** Ofrecer nuevos servicios y descartar las prácticas obsoletas y ofrecer los servicios existentes de nuevas maneras.
- **Nivel de dominio empresarial:** Cambio de roles y cadenas de valor en los ecosistemas.
- **Nivel de la sociedad:** cambiar las estructuras de la sociedad (Por ejemplo, el tipo de trabajo, los medios para influir en la toma de decisiones).

Para tener un viaje exitoso a la transformación digital se debe definir una estrategia digital (Catlin et al., 2015) A medida que los líderes de las grandes empresas reconocen las oportunidades creadas por las nuevas tecnologías digitales para integrar sus

capacidades empresariales existentes con las nuevas capacidades que hacen posibles las tecnologías, están definiendo las estrategias digitales de sus empresas. La estrategia digital, (Sebastian et al., 2017) es una estrategia de negocios, inspirada en las capacidades de las tecnologías poderosas y de fácil acceso, con la intención de ofrecer capacidades de negocio únicas e integradas de manera que respondan a las condiciones de mercado en constante cambio (Hess et al., 2016)

## 2.2. Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD)

Los MMTD apoyan el análisis de la situación actual y proporcionan instrumentos para planificar el escenario prospectivo “futuro” (Sebastian et al., 2017). Desde esta perspectiva los autores Sebastián y otros define que los componentes de los MMDT corresponden a los diferentes ámbitos presentes en el desarrollo del negocio de una organización. Se considera que cada componente involucra un conjunto de procesos que deben llevarse a cabo en las empresas. (*Centros de Transformación Digital Empresarial*, n.d.) El MMTD prioriza aquellos componentes y procesos que se han identificado como más estimulantes para la transformación digital de una organización, estos son:

- **Procesos internos de negocio:** Conjunto de tareas llevadas a cabo de manera articulada y estructurada con el fin de generar un producto o servicio, conocido como entregable. Dentro de los procesos de negocio de las empresas, el MMTD prioriza el área financiera, el área de recursos humanos y la planeación estratégica con la toma de decisiones.
- **Clientes y mercado:** Es la relación de la empresa con los clientes y su entorno externo. Dentro del ámbito de mercado y clientes de las empresas, el MMTD prioriza el marketing y las ventas.
- **Digitalización del modelo de negocio (canal virtual):** Se trata del cambio de paradigma en la forma de monetizar una idea de negocio. Busca que el empresario considere el canal virtual como la evolución en la forma de vender. Dentro del ámbito del modelo de negocio digital, el MMTD prioriza la monetización virtual, es el cambio en la forma de hacer dinero. Consiste en modificar los procesos para que la operación y administración de la empresa se alineen a los componentes de operaciones y ventas gestionados a través de mecanismos virtuales. (*Centros de Transformación Digital Empresarial*, n.d.) Desafíos: Falta de articulación de los procesos de logística y operación con las ventas en línea, desconocimiento de herramientas, costo de transacciones virtuales.
- **Productos y servicios:** Es el proceso mediante el cual se generan los productos y/o servicios de una empresa. Dentro del ámbito de Productos y servicios de las empresas, el MMTD prioriza: planeación dinámica de necesidades, necesidades de compra y generación de solicitudes, planeación de la producción y generación de órdenes, simulación de la producción, seguimiento y control de la producción, calidad.

## 2.3. Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD) y sus dimensiones

A partir de un MMTD se puede identificar el nivel de digitalización de los procesos, las capacidades y las debilidades de las empresas, se generan conceptos, criterios de análisis



y buenas prácticas lo que permite que se creen procesos de mejora continua. (Guarino et al., 2019)

Un MMTD es usado como herramienta de apoyo para definir los próximos pasos y prioridades en la transformación digital, así como un instrumento de evaluación comparativa. El modelo ayuda a identificar las deficiencias en un área que pueda afectar negativamente la eficacia general de los esfuerzos de transformación. El autor Guarino y otros proponen que un MMTD debe contemplar las siguientes dimensiones:

### **2.3.1. Dimensiones**

El MMTD está compuesto de siete dimensiones, las cuales se enfocan en cubrir las áreas vitales del negocio que son impactadas y a su vez impactan la estrategia digital y la estrategia del negocio (Ochoa, 2016)

Las siete dimensiones son: (1) Estrategia, (2) Organización, (3) Cliente, (4) Ecosistemas, (5) Operaciones, (6) Tecnología y (7) Innovación. (Estrategia, organización, centrado en el cliente, ecosistemas, operaciones, tecnología de información (TI) e innovación) están ordenadas a través del proceso de desarrollo del modelo y tienen igual grado de importancia para el MMTD. (Valdez-de-leon et al., 2016)

A continuación, se explican las siete dimensiones del MMTD:

**Estrategia:** Visión, gobernanza, planificación y gestión de procesos que apoyarán la ejecución de la estrategia digital.

**Organización:** Cambio de cultura, estructura, formación y gestión del conocimiento que le permita convertirse en un actor digital.

**Centrado en el Cliente:** Experiencia del cliente a través de cambios digitales en los viajes de los clientes.

**Ecosistemas:** El desarrollo y el mantenimiento de los ecosistemas de los socios como elemento clave para una empresa digital.

**Operaciones:** Capacidades que apoyan la prestación de servicios. una mayor madurez como resultado de una operación más digitalizada, automatizada y flexible.

**Tecnología de información (TI):** Planificación, implementación, integración y uso efectivos de la tecnología para apoyar el negocio digital.

**Innovación:** Nuevas formas de trabajo flexibles y ágiles que formarán la base de un negocio digital eficaz.

En la figura 1. Se muestran las siete dimensiones del MMTD para las Cooperativas de Ahorro y Crédito.

### **2.3.2. Niveles de madurez**

La madurez de cada dimensión se evalúa a través de cinco niveles (más un nivel cero por defecto que refleja un estado de inacción). En orden de madurez decreciente. Se busca tener un acercamiento a una medición más específica y no sólo calificaciones de alta, media y baja. Cada nivel se basa en el anterior. A medida que la organización vaya

implementando e integrando los diversos cambios que son pertinentes para su viaje de digitalización, el grado de madurez irá aumentando a través de las dimensiones aplicables (Valdez-de-leon et al., 2016).

Estos niveles incluyen:

**Pioneros (Nivel 5):** La organización está abriendo nuevos caminos y avanzando en el estado de la práctica dentro de la transformación digital.

**Optimizado (Nivel 4):** Las iniciativas digitales de la organización con en la dimensión están siendo afinadas y utilizadas para aumentar el rendimiento general.

**Integración (Nivel 3):** Las iniciativas de la organización están siendo integradas en toda la organización para apoyar las capacidades de todas las áreas.

**Habilitación (Nivel 2):** La organización está implementando iniciativas dentro de la dimensión que constituirá la base de la transformación digital.

**Iniciación (Nivel 1):** La organización ha decidido avanzar hacia la transformación digital y está dando los primeros pasos en esta dirección.

**No iniciado (Nivel 0):** La organización no ha tomado ninguna medida para transformarse.

#### **2.4. Sector cooperativo colombiano**

Una cooperativa puede definirse como una asociación autónoma de personas que se han unido voluntariamente para hacer frente a sus necesidades y aspiraciones económicas, sociales y culturales comunes por medio de una empresa de propiedad conjunta y democráticamente controlada”. (*Supersolidaria*, n.d.)

##### **Clasificación de las cooperativas**

Teniendo en cuenta el objeto para el cuál se constituyen las cooperativas y el desarrollo de sus actividades (*Supersolidaria*, n.d.), según la Ley 79 de 1988, éstas se clasifican en:

##### **Especializadas**

Son cooperativas especializadas (*Supersolidaria*, n.d.) las que se organizan para atender una necesidad específica, correspondiente a una sola rama de actividad económica, social o cultural. Dentro de estas cooperativas se encuentran las Cooperativas de Ahorro y Crédito, cuyo fin es únicamente captar ahorro de sus asociados para luego colocarlos a través de créditos.

##### **Cooperativas de Ahorro y Crédito.**

Son Cooperativas de Ahorro y Crédito (*Supersolidaria*, n.d.) los organismos cooperativos especializados cuya función principal consiste en adelantar actividad financiera exclusivamente con sus asociados. Su naturaleza jurídica se rige por las disposiciones de la Ley 79 de 1988 y se encuentran sometidas al control, inspección y vigilancia de la Superintendencia de la Economía Solidaria y requieren de su autorización previa para ejercer dicha actividad. Art. 41 – Ley 454 de 1998.

Estas cooperativas podrán ofrecer servicios diferentes a los establecidos en su objeto social, mediante la suscripción de convenios con otras entidades cooperativas.

Según el boletín financiero de la Supersolidaria el Consejo Mundial de Cooperativas de Ahorro y Crédito, existen 60.500 Cooperativas repartidas en 109 países distribuidas en 6 continentes, los cuales asocian alrededor de 223 millones de personas, representando un porcentaje de penetración de 9,38% (mercado) en el mundo (*Supersolidaria*, n.d.)

### **Integrales**

Son cooperativas integrales (*Supersolidaria*, n.d.) aquellas que, en desarrollo de su objeto social, realizan dos o más actividades conexas y complementarias entre sí., de producción, distribución, consumo y prestación de servicios.

### **Multiactivas**

Son cooperativas multiactivas (*Supersolidaria*, n.d.) las que se organizan para atender varias necesidades mediante concurrencia de servicios en una sola entidad jurídica. Los servicios deberán ser organizados en secciones independientes, de acuerdo con las características de cada tipo especializado de cooperativa.

A continuación, se describen las técnicas grupales usadas con los expertos en el sector cooperativo colombiano para conocer las diferentes necesidades y retos a nivel digital que enfrentan estas organizaciones.

## **3. Metodología**

La metodología utilizada para alcanzar la implementación del objetivo de artículo se desarrolló ejecutando seis pasos de manera coherente y rigurosa.

**Paso 1:** Se realizó una revisión de la literatura científica, explorando bases de datos científicas (*SCOPUS*, *Science Direct*, entre otras) sobre la temática utilizando la técnica de revisión sistemática.

**Paso 2:** se realizó una entrevista semiestructurada de manera presencial a cuatro expertos en el tema de transformación digital. A estos se les realizaron las siguientes preguntas:

1. ¿Conoce usted sobre MMTD para el sector cooperativo?
2. ¿Es viable desarrollar una investigación de un MMTD para el sector cooperativo?
3. ¿Qué componentes podrían conformar un MMTD para el sector cooperativo?

Una vez analizadas las respuestas de cada uno de los expertos entrevistados se obtiene que el Sector Cooperativo no dispone de un MMTD por lo tanto es una propuesta de investigación viable.

**Paso 3:** En esta fase se definió el lugar que serviría de estudio de caso, se seleccionó una cooperativa de ahorro y crédito ubicada en la ciudad de Medellín- Colombia. Los criterios definidos para su selección fueron:

- Cooperativa legalmente conformada.
- Área de TI bien conformada.

- Necesidad de llevar a cabo iniciativas de transformación digital.
- Se pudiera disponer del personal interno y externo experto en el sector cooperativo para realizar la recolección de información.

**Paso 4:** Recolección de información, los investigadores definieron el método Delphi para ejecutar la recolección de información, y se definieron diez expertos internos, y un experto externo. A los cuales se les envió vía correo electrónico una pregunta de investigación y las respectivas instrucciones para su diligenciamiento, por efectos de tiempo el Delphi solo se llevó en dos rondas, la primera de recolección de información y la segunda de validación del MMTD. Los instrumentos enviados a los expertos fueron:

- Pregunta: ¿Cuáles deben ser las dimensiones y los niveles de madurez que debe tener el (MMTD) que cumpla con las necesidades y desafíos que satisfagan la experiencia del cliente y que este alineado con las características de las Cooperativas de Ahorro y Crédito?
- Definición de cada una de las dimensiones acorde al modelo referente (Valdez-de-leon et al., 2016)
- Definición de cada uno de los niveles de madurez acorde al modelo referente (Valdez-de-leon et al., 2016).
- Y para mejorar la información recolectada se sugirió a los expertos hacer una clasificación de sus respuestas, teniendo como base las dimensiones propuestas por (Valdez-de-leon et al., 2016). Y además para motivar sus respuestas se llevó a cabo una lluvia de ideas. Ver Figura 1.



Figura 1 – Tablero: Clasificación necesidades y desafíos del sector cooperativo en dimensiones de transformación digital. Fuente: Elaboración propia.

**Paso 5:** Una vez clasificada y analizada la información recolectada se obtiene la siguiente propuesta del MMTD para el sector cooperativo colombiano, desde sus dimensiones y componentes de cada dimensión. Ver Figura 2.

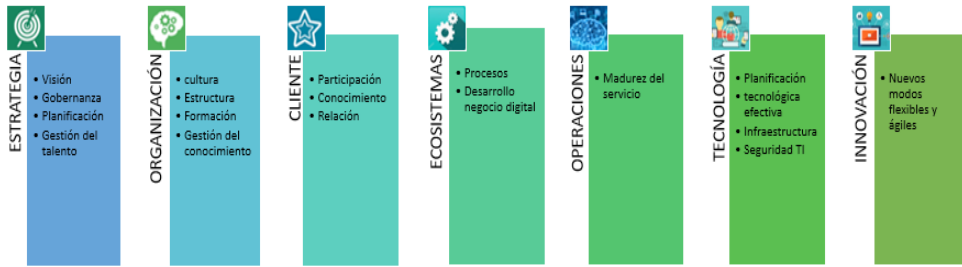


Figura 2 – Dimensiones y componentes del MMTD para las Cooperativas de Ahorro y Crédito.  
Fuente: Elaboración propia Adaptado (Valdez-de-leon et al., 2016).

**Paso 6:** Se obtiene una propuesta de los niveles de madurez que pueden evaluar la madurez de cada uno de los componentes de cada dimensión, propuesta en el paso 5. Ver figura 3.

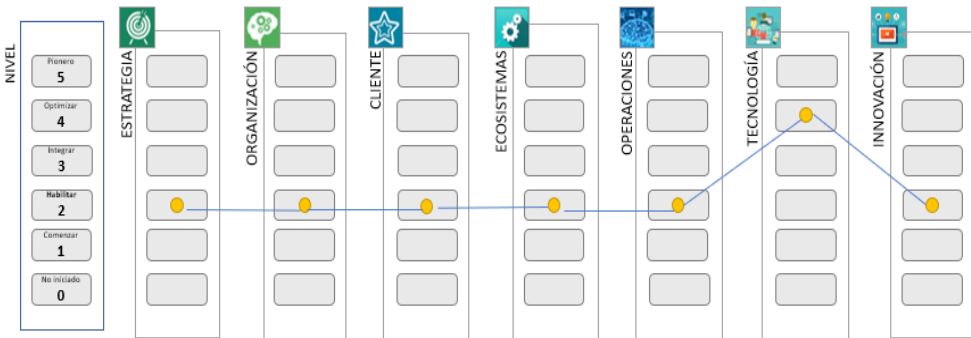


Figura 3 – Resultado propuesta niveles para evaluar la madurez en sector cooperativo.  
Fuente: Elaboración propia. Adaptado de (Valdez-de-leon et al., 2016).

Por último y en una segunda ronda de método Delphi con los expertos se enviaron los componentes de la propuesta MMTD – dimensiones y niveles de madurez para el sector cooperativo.

#### 4. Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentarán acorde a la metodología utilizada. La metodología de seis pasos utilizada para desarrollar esta investigación es un aporte importante para la comunidad científica, pues puede ser replicada en investigaciones similares.

La revisión sistemática de la literatura permitió identificar las siete dimensiones: (1) Estrategia, (2) Organización, (3) Cliente, (4) Ecosistemas, (5) Operaciones, (6)

Tecnología y (7) Innovación (Ochoa, 2016) y los cinco niveles para evaluar la madurez de cada una de las dimensiones: Pioneros (Nivel 5), Optimizado (Nivel 4), Integración (Nivel 3), Habilitación (Nivel 2), Iniciación (Nivel 1), y No iniciado (Nivel 0) (Valdez-de-leon et al., 2016), que sirvieron como base para la propuesta de MMDT para el sector cooperativo colombiano. Y además permitieron identificar los componentes de cada dimensión, ver Tabla 1.

TÍTULO	AUTOR	DIMENSIONES/NIVELES DE MEDICIÓN
Modelos de Madurez de Capacidades Digitales Capítulo 2, Digital Capability Framework: A Toolset to Become a Digital. (Uhl et al., 2016)	Uhl, A Born, M Koschmider, A Janasz, T	5 niveles de madurez. (Nivel 1: Inicial, Nivel 2: Reactivo, Nivel 3: definido, Nivel 4: administrado y Nivel 5: excelencia).
Modelo madurez Excelencia TI (Uhl et al., 2016)	Uhl, A Born, M Koschmider, A Janasz, T	5 niveles de madurez. (Nivel 1: Inicial, Nivel 2: Reactivo, Nivel 3: definido, Nivel 4: administrado y Nivel 5: excelencia).
Modelo Madurez Innovación (Uhl et al., 2016)	Uhl, A Born, M Koschmider, A Janasz, T	5 niveles de madurez. (Nivel 1: Inicial, Nivel 2: Reactivo, Nivel 3: definido, Nivel 4: administrado y Nivel 5: excelencia).
Modelo Madurez Transformación (Uhl et al., 2016)	Uhl, A Born, M Koschmider, A Janasz, T	5 niveles de madurez. (Nivel 1: Inicial, Nivel 2: Reactivo, Nivel 3: definido, Nivel 4: administrado y Nivel 5: excelencia).
Nuevo enfoque del Modelo de Madurez para la Transformación digital de Mintic – Innpulsa Colombia (Minitic, 2018)	Min TIC e INNpulsa Colombia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de procesos clave</li> <li>• 4 Niveles de Digitalización: 1.0; 2.0; 3.0, 4.0</li> <li>• 3 Habilitadores para la Transformación medidos en 5 niveles (1-5)</li> </ul> El sistema de evaluación permite ubicar a los procesos en 4 grupos: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Principiantes</li> <li>b. Actualizados</li> <li>c. Conservadores</li> <li>d. Transformados</li> </ol>
A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers (Valdez-de-leon et al., 2016)	Valdez-de-leon, Omar Christensen, Clayton Valdez-de-leon, Omar	Con siete dimensiones son: (1) Estrategia, (2) Organización, (3) Cliente, (4) Ecosistemas, (5) Operaciones, (6) Tecnología y (7) Innovación. Y cinco niveles de madurez más un nivel cero.

Tabla 1 – Modelos de Madurez de Transformación Digital

La información suministrada por los expertos en transformación digital en las entrevistas semiestructuradas dio como resultados la viabilidad de proponer un modelo estructurado de madurez y transformación digital, que cumpliera con las necesidades de los clientes y del sector cooperativo colombiano.

La recolección de información llevada a cabo en la cooperativa de ahorro y crédito ubicada en la ciudad de Medellín-Colombia, dio como resultados:

1. La propuesta de las dimensiones (Valdez-de-leon et al., 2016) y componentes de cada dimensión para el sector cooperativo colombiano. Entendiéndose como dimensión o procesos: estrategia, organización, cliente, ecosistemas, operaciones, tecnologías e innovación y como componentes: Visión, gobernanza, planificación, gestión del talento humano, entre otras. Ver Figura 2.
2. La propuesta de los niveles de madurez a través de los cuales se evalúan los componentes de cada dimensión. Ver Figura 4. La madurez de cada dimensión se evalúa a través de cinco niveles (más un nivel cero por defecto que refleja un estado de inacción). En orden de madurez decreciente. Se busca tener un acercamiento a una medición más específica y no sólo calificaciones de alta, media y baja. Cada nivel se basa en el anterior. A medida que la organización vaya implementando e integrando los diversos cambios que son pertinentes para su viaje de digitalización, el grado de madurez irá aumentando a través de las dimensiones aplicables. (Valdez-de-leon et al., 2016).

Por último, se realizó una ronda donde los expertos en transformación digital y del sector cooperativo colombiano, validaron la propuesta del MMTD para el sector cooperativo colombiano, como un modelo que cumple con algunos de los componentes (dimensiones y niveles de madurez) (Valdez-de-leon et al., 2016) que debe tener un modelo que permita desplegar una estrategia de transformación digital de una manera estandarizada, objetiva y repetible.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

La utilización del método Delphi y la técnica Lluvia de ideas permitió identificar las necesidades y los desafíos que tienen los clientes frente a la transformación digital en el sector cooperativo. El método Delphi se basa en la experiencia de los profesionales y representa un enfoque basado en datos. El estudio Delphi fue conducido de forma virtual. La relevancia de este estudio sobre las necesidades y desafíos en el sector cooperativo de Ahorro y Crédito se refleja en la participación de varios expertos que son líderes en la organización.

Como resultado de la presente investigación se obtuvo una primera versión del MMTD y sus componentes para las Cooperativas de Ahorro y Crédito validado por un conjunto de expertos. Este modelo pretende ser una herramienta para medir la madurez digital en un momento determinado y ayudar a desarrollar una visión y una hoja de ruta para la transformación digital.

Como trabajo futuro se sugiere: (1) Ampliar la comparación con otros MMTD para mejorar las dimensiones y niveles de madurez propuestos, dado que ha sido probado en solo un caso de estudio (2) Realizar el método Delphi definiendo una muestra más representativa para diferentes entidades del sector Cooperativo de Ahorro y Crédito (3) Ampliar la exploración a expertos a un mayor número de participantes para tener una muestra más representativa de diferentes entidades del sector cooperativo y de crédito (3) Realizar el método Delphi definiendo una muestra más representativa.



## Referencias

- Andal-Ancion, A., Cartwright, P. A., & Yip, G. S. (2003). The digital transformation of traditional businesses. *MIT Sloan Management Review*, 44(4), 34–41. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-17644403654&partnerID=40&md5=7dd6b4e1f9d3a005bda5cb7653940620>
- Catlin, T., Scanlan, J., & Willmott, P. (2015). Raising your Digital Quotient. *McKinsey Quarterly*, 3, 30–43. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946840674&partnerID=40&md5=42f00513ef8d871567e2f612f41d91fe>
- Centros de Transformación Digital Empresarial*. (n.d.). [www.centrosdetransformaciondigital.gov.co](http://www.centrosdetransformaciondigital.gov.co)
- Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM. In O. R.V., M. A., R. T., M. A., & D. A. (Eds.), *17th International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination, SPICE 2017* (Vol. 770, pp. 128–142). Springer Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10)
- Guarino, M., Di Palma, M. A., Menini, T., & Gallo, M. (2019). Digital transformation of cultural institutions: a statistical analysis of Italian and Campania GLAMs. *Quality and Quantity*. <https://doi.org/10.1007/s11135-019-00889-3>
- Hess, T., Benlian, A., Matt, C., & Wiesböck, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 123–139. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85011959099&partnerID=40&md5=6fb58c898148e5fa1970287aa0174399>
- Minitic, M. de T. de la I. y las C. (2018). *iNNpulsas Colombia – Desarrollo Empresarial MINTIC – Subdirección de Comercio Electrónico*.
- Ochoa, O. L. (2016). Modelos De Madurez Digital: ¿En Qué Consisten Y Qué Podemos Aprender De Ellos? Digital Maturity Models: What Are They and What Can We Learn From Them? *Boletín De Estudios Económicos*, December 2016, 219.
- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77. <https://doi.org/10.12821/ijispm050104>
- Piccinini, E., Hanelt, A., Gregory, R. W., & Kolbe, L. M. (2015). Transforming industrial business: The impact of digital transformation on automotive organizations. *2015 International Conference on Information Systems: Exploring the Information Frontier, ICIS 2015*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84964596864&partnerID=40&md5=a999f02e3572425f9c0403df979b9550>
- Sebastian, I. M., Moloney, K. G., Ross, J. W., Fonstad, N. O., Beath, C., & Mocker, M. (2017). How big old companies navigate digital transformation. *MIS Quarterly Executive*, 16(3), 197–213.
- Supersolidaria*. (n.d.). <http://www.supersolidaria.gov.co/>

- Uhl, A., Born, M., Koschmider, A., & Janasz, T. (2016). Digital capability framework: A toolset to become a digital enterprise. In *Digital Enterprise Transformation: A Business-Driven Approach to Leveraging Innovative IT* (pp. 27–60). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315577166>
- Valdez-de-leon, O., Christensen, C., & Valdez-de-leon, O. (2016). *A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers*. 6(8), 19–32.

# Diseño de sistema inteligente para la determinación de penas por homicidio en Venezuela

Sonia Zerpa Bonillo<sup>1,3</sup>, Francklin Rivas Echeverría<sup>2,3</sup>

[szzerpa@uotavalo.edu.ec](mailto:szzerpa@uotavalo.edu.ec), [frivas@inf.utfsm.cl](mailto:frivas@inf.utfsm.cl)

<sup>1</sup> Universidad de Otavalo, 100111, Otavalo, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica Federico Santa María, 2340000, Valparaíso, Chile.

<sup>3</sup> Universidad de Los Andes, 5101, Mérida, Venezuela.

**Pages: 635–649**

**Resumen:** En este trabajo se presenta el diseño de un sistema basado en conocimiento que permite conocer los delitos, las penas que pueden ser aplicadas tomando en cuenta las características del crimen cometido, y adicionalmente considerando sus agravantes y atenuantes. El sistema está diseñado para su utilización por estudiantes del área del Derecho o Jurisprudencia, abogados en ejercicio y operadores de justicia, que deseen conocer las posibles acciones de acuerdo con cada delito y el entorno bajo el cual fue cometido. Este sistema está basado en lo establecido en el Código Penal venezolano vigente, en lo que respecta a los delitos cometidos contra las personas y muy particularmente al homicidio.

**Palabras-clave:** sistema inteligente, inteligencia artificial, sistemas basados en conocimiento, delitos, penas.

## *Intelligent System Design for the determination of penalties in crimes against people in Venezuela*

**Abstract:** This paper presents the design of a knowledge-based system that allows knowing the penalties that can be sentenced for cases of criminal offenses against people taking into account the characteristics of the crime committed, its aggravating and mitigating conditions. This system is designed for being used by students in the area of Law or Jurisprudence or practicing lawyers who wish to know the possible actions according to each crime and the environment under which it was committed. This system is based on what is established in the current Venezuelan penal code. with regard to crimes committed against people and particularly homicide.

**Keywords:** artificial intelligence, knowledge-based systems, criminal offenses, decision support system.

## 1. Introducción

Las leyes o códigos penales de cada país establecen las penas que se deben aplicar de acuerdo con los delitos cometidos. Hay muchos países que han creado nuevos códigos o han reformado los tipos de delitos que pueden ser tipificados y las sanciones aplicables; otros están aún en ese proceso y algunos inclusive mantienen las mismas leyes que datan de muchos años.

En la antigüedad, la pena era un mal impuesto a una persona por un delito cometido, debía imponerse de acuerdo a una sentencia judicial previa existencia de una ley que tipificara en hecho como delito y su correspondiente procedimiento.

La pena para Bettiol (1965, pp.638), “*consistiría en una represión con fines de prevención*”, es decir, para evitar una situación futura. Sin embargo, doctrinalmente no existe acuerdo, pues para algunos la pena responde entonces a varios fines, ya sean aquellos destinados a realizar la retribución exigida por la justicia (teorías retributivas o absolutas) o a prevenir los futuros delitos atendiendo a las necesidades relativas y circunstanciales (teorías relativas o de prevención) (Roxin, Belloff, Margariños, Ziffer, Bertoni, y Rios, 1993).

El juez en su proceso de juzgamiento debe entonces analizar el tipo de delito perpetrado, las circunstancias en las cuales se produjo, las pruebas, testimoniales y demás elementos necesarios; para que durante las fases del proceso penal pueda determinar apropiadamente la pena que corresponde según el delito cometido. Esta actividad es muy compleja, de alta responsabilidad y debe tomar en cuenta muchos elementos para poder ser aplicada de la forma correcta y así garantizar el debido proceso.

En la actualidad hay un interés muy grande en los sectores académicos, industriales, organizacionales y cotidianos con relación a la Inteligencia Artificial (Davenport, Guha, Grewal y Bressgott, 2020; Bravo et al., 2014, Palma y Roque, 2008) por el uso de los principios de la inteligencia humana en sus tomas de decisiones. Una de sus técnicas son los Sistemas Basados en Conocimiento a través de los cuales se pueden obtener soluciones similares a las que serían proporcionadas por los expertos en las áreas temáticas a consultas específicas sobre diversos temas y utilizando la experticia o el conocimiento manejado previamente. Por ello, es una herramienta útil en el área del Derecho y muy particularmente en el área penal al momento de poder proporcionar indicaciones sobre las posibles sentencias (condenatorias o absolutorias) que se puedan aplicar de acuerdo a los delitos cometidos.

Dentro de los trabajos que se han realizado que integran el uso de los Sistemas inteligentes y el Derecho se puede mencionar el de Batista *et al* (2019) donde se analiza cómo los Sistemas Expertos y la evaluación lógico-filosófica pueden apoyar la toma de decisiones en contextos jurídicos. Por su parte, Martínez (2018) trata de integrar los conceptos de inteligencia artificial, institucional y emocional en el estudio de la inteligencia jurídica. Rivas, Asprino, Sarache y León (2019) presentan el desarrollo de un sistema inteligente para la creación de contratos en el marco de la Ley de Contrataciones Públicas.

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema inteligente que permita conocer de acuerdo al tipo del delito y las diversas circunstancias bajo las cuales fue cometido, la pena

que puede corresponder y las atenuantes y agravantes que pudieran ser aplicadas por el juez en el ejercicio de su jurisdicción y/o solicitadas por las partes, lo cual dependerá de acuerdo al rol que desempeñe: Fiscal, como parte acusadora, Defensor (en su condición de defensor público o defensor privado) y/o Querellante.

Esta herramienta puede servir de apoyo a los estudiantes de las carreras de Derecho o Jurisprudencia al igual que a los abogados en ejercicio y operadores de justicia, de forma tal, que puedan tener una primera apreciación sobre los casos, la penalidad aplicable, las agravantes y atenuantes del delito perpetrado y tener conocimiento sobre la posible sentencia que pudiera ser emitida por el juez competente luego de la aplicación del debido proceso.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presentarán los diversos tipos de homicidios como parte de los delitos contra las personas tipificados en la legislación venezolana, sus atenuantes, agravantes y características particulares que deben ser consideradas. La sección 3 contiene una introducción a la Inteligencia Artificial y los Sistemas Basados en Conocimiento. En la sección 4 se presenta el Diseño del Sistema Inteligente que contenga las penas y posibles atenuantes y agravantes a ser consideradas según la tipología del delito. Por último, en la sección 5 se presentarán algunas conclusiones y recomendaciones.

## **2. Delitos contra las personas en el Código Penal de Venezuela**

El Código Penal Venezolano vigente (Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 2005), en el Título IX detalla los delitos contra las personas en siete capítulos; sin embargo, en el presente trabajo como ya se enuncio, solo se hará referencia específicamente al homicidio. Efectivamente, en el Capítulo I se encuentra tipificado el homicidio en sus diferentes formas, en el Capítulo II se tienen tipificadas las lesiones personales, para luego referirse en el Capítulo III – A Disposiciones comunes a los Capítulos precedentes.

Ciertamente, desde el artículo 405 hasta el 410 se señalan los diferentes tipos de homicidios, clasificándolos de la siguiente forma: voluntario (art. 405), calificado (art. 406), parricidio (art. 406 letra a), magnicidio (art. 406 letra b), homicidio concausal (art. 408), homicidio culposo (art. 409), homicidio preterintencional (art. 410); hallándose en el *Capítulo II De las lesiones personales* un artículo que puede ser aplicado al homicidio, cuando el hecho punible se inició producto de una lesión y a consecuencia de la lesión, la persona fallece, así tenemos: las lesiones preterintencionales (art. 418); para finalizar con las Disposiciones Comunes a los capítulos precedentes en la cual se desarrollan los artículos 421 al 429 donde se encuentra: el duelo regular (art. 422), defensa de bienes contra el agresor nocturno, (art. 423), y la riña (art. 425).

Dentro de los tres capítulos mencionados anteriormente, se consiguen las atenuantes y agravantes propias de estos delitos, sin embargo, son también aplicables a ambas figuras jurídicas (homicidio y lesión) algunos de los apartados contenidos en el referido Código Penal venezolano, tales como: Disposiciones generales sobre los delitos y las faltas, las personas responsables y las penas contenidas en el Libro Primero;

Título I (De la aplicación de la Ley Penal); Título III (De la aplicación de las penas); Título IV (De la conversión y conmutación de penas); Título V (De la responsabilidad penal y de las circunstancias); Título VI (De la tentativa y del delito frustrado); Título VII (De la concurrencia de varias personas en un mismo hecho punible); Título VIII (De la concurrencia de los hechos punibles y de las penas aplicables); Título IX (De la reincidencia); Título X (De la extinción de la acción penal y de la pena); la cuales deben considerarse de forma conjuntal al momento de realizar cualquier solicitud por alguna de las partes o emitir sentencia por parte del juzgador.

### **3. Inteligencia artificial y sistemas basados en conocimiento**

La Inteligencia Artificial (Stuart y Norvig, 2009; Davenport, Guha, Grewal y Bressgott, 2020; Bravo et al., 2014) trata de emular el comportamiento inteligente de los seres humanos a través de un conjunto de técnicas que van desde la captura de la experticia diseñando los Sistemas Expertos y Sistemas Basados en Conocimiento (Berka, 2011; Rivas, Asprino, Sarache y León, 2019; Sajja, 2009; Hidalgo, 1997), la organización de las células en el cerebro humano con la estructura y conexiones apropiadas que permitan el aprendizaje con las Redes Neuronales Artificiales (Hagan, Demuth, Beale y De Jesús, 2014), la aplicación de criterios en donde la incertidumbre y los niveles de pertenencia a conjuntos (Todorov, Tersiyaska and Petrov, 2015) posee un papel trascendental la lógica difusa (Fuller, Giove y Masulli, 2018; Chen y Pham, 2001) creada por Lofti Zadeh (1965), entre otros.

Los sistemas basados en conocimiento (Akerkar y Sajja, 2009) son una técnica que busca desarrollar sistemas computacionales que recolecten el conocimiento existente sobre algún dominio en particular y si dicho conocimiento proviene de un experto humano, entonces se convierte en un Sistema Experto. Tiene la ventaja de que puede ser utilizado en diversos lugares de forma simultánea y permite tener acceso, a través de una base de conocimiento, a los análisis, relaciones e interpretaciones de los expertos a través de sistemas de fácil utilización y manejo. Son ideales para los casos donde la experticia es escasa, puede ser requerida en diferentes lugares al mismo tiempo y como herramienta de adiestramiento ya que proporciona las respuestas que darían los expertos humanos permitiendo enriquecer el proceso de aprendizaje por su nivel de precisión y calidad de respuestas.

El proceso de adquisición y estructuración del conocimiento se conoce con el nombre de Ingeniería de conocimiento y es la base del desarrollo de este tipo de sistemas.

Para el correcto diseño de un sistema basado en conocimiento deben considerarse los aspectos metodológicos apropiados para cuidar los detalles fundamentales que permitan asegurar su éxito y cumplir con las expectativas que se puedan tener con su desarrollo.

### **4. Diseño del sistema inteligente para determinar las penas y posibles atenuantes y agravantes a ser tomadas según el tipo de delito cometido**

Para el diseño del Sistema se utilizará la metodología presentada en (Rivas-Pérez, Dos Santos, Pardo, Rivas-Echeverría, 2013) la cual consta de seis etapas que serán descritas a continuación:

- Etapa 1: Análisis y descripción del problema: En esta primera etapa se debe estudiar a profundidad el problema que se desea resolver. Se debe verificar la idoneidad de desarrollar un Sistema Basado en Conocimiento y para ello se debe verificar la fuente de conocimiento, disponibilidad de expertos, vías regulares de solución del problema y los principales problemas para su resolución. En este caso, se verifica la idoneidad de desarrollar un sistema basado en conocimiento dada la complejidad que tiene la toma de decisión apropiada con relación a la determinación de la pena a un delito contra las personas, considerando que se debe conocer a fondo los marcos legales correspondientes para verificar las atenuantes, agravantes y otras condiciones asociadas al contexto en el que se cometió el delito. Adicionalmente, conocer de forma eficaz que pueden solicitar cada una de las partes según el delito cometido por el investigado y las características propias que rodean al hecho punible, hace que sean muchas las alternativas, en las cuales poseer un sistema que permita de forma sencilla determinar tanto la pena como las atenuantes, agravantes que se pueden aplicar, resulta una oportunidad interesante para el desarrollo de un Sistema Basado en Conocimiento.
- Etapa 2: Especificación de requerimientos: En esta etapa se deben revisar los requerimientos funcionales del sistema, el tipo de información que debe manejar, los perfiles de los usuarios, los requerimientos que dichos usuarios puedan tener y las necesidades de equipos y programas que se requieran para el desarrollo del Sistema Basado en Conocimiento. En el caso de estudio se establece que debe ser una aplicación web que admita su acceso de forma directa y que permita el aprendizaje a estudiantes de Derecho o Jurisprudencia de las diferentes variaciones que pueden presentarse en las sentencias en relación a los delitos contra personas. Igualmente debe servir también para abogados en ejercicio que deseen tener una herramienta de apoyo en sus solicitudes ante los casos que estén atendiendo o para tener un estimado de las sentencias que puedan recibir según las características de cada caso, pero incluso puede servir para los operadores de justicia en la aplicación de una justicia expedita e inequívoca al momento de dictar sentencia.
- Etapa 3: Análisis de costos, tiempo y recursos: Esta etapa en donde se cuantifica el costo del desarrollo del sistema, el tiempo que tomará su desarrollo y los recursos tanto humanos como tecnológicos requeridos para realizarlos. Por tratarse en este caso de un sistema de carácter académico y sin fines comerciales, los tiempos y costos pueden manejarse con los recursos propios de las instituciones participantes en el proyecto.
- Etapa 4: Ingeniería del Conocimiento: Esta etapa es la más importante en el desarrollo del Sistema Basado en Conocimiento ya que es donde se adquiere y estructura el conocimiento que manejará el sistema. Es la etapa donde se creará la base de conocimiento que posteriormente por medio de la utilización de un motor de inferencia, podrá proporcionar las respuestas a las consultas realizadas de forma similar a la que realizaría el experto humano.

Para el caso en estudio, se realizó la revisión detallada al Código Penal Venezolano (Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 2005) y con la ayuda de la experticia de una Ex-Fiscal del Ministerio Público se organizó la información para



poder crear las diversas reglas que serán incorporadas a la base de conocimiento, en esta oportunidad solo con los delitos relacionados Contra las Personas (homicidio) para en un futuro hacerlo extensivo a la totalidad de los delitos tipificados en el Código Penal venezolano y que servirá de modelo para otras legislaciones.

La forma de estructuración de la información es a través de una tabla que incluye las siguientes columnas:

- Artículo del Código Penal Venezolano (CPV)
- Delito
- Pena asociada al delito
- Agravantes
- Atenuantes

En la Tabla 1 se puede ver el formato utilizado para la organización de la información para los delitos tipificados en el Código Penal Venezolano.

Artículo del CPV	Delito	Pena	Agravantes	Atenuantes
<b>Artículo A1</b>	Delito tipificado en el <b>Artículo A1</b>	Pena asociada al Delito tipificado en el <b>Artículo A1</b>	Agravantes asociadas al Delito tipificado en el <b>Artículo A1</b>	Atenuantes asociadas al Delito tipificado en el <b>Artículo A1</b>
<b>Artículo A2</b>	Delito tipificado en el <b>Artículo A2</b>	Pena asociada al Delito tipificado en el <b>Artículo A2</b>	Agravantes asociadas al Delito tipificado en el <b>Artículo A2</b>	Atenuantes asociadas al Delito tipificado en el <b>Artículo A2</b>
...	...	...	...	...
<b>Artículo An</b>	Delito tipificado en el <b>Artículo An</b>	Pena asociada al Delito tipificado en el <b>Artículo An</b>	Agravantes asociadas al Delito tipificado en el <b>Artículo An</b>	Atenuantes asociadas al Delito tipificado en el <b>Artículo An</b>

Tabla 1 – Organización de la Información del Código Penal Venezolano para los homicidios.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta información sobre los insumos utilizados para llenar el formato ilustrado en la Tabla 1, donde A1, A2, ..., An corresponden a los diversos artículos del CPV utilizados para alimentar el formato.

El **artículo 405** del CPV, tipifica el **Delito**: Homicidio (El que intencionalmente haya dado muerte a alguna persona) y determina una **Pena** de Presidio de 12 a 18 años.

El **artículo 406** del CPV, tipifica el **Delito**: Homicidio Calificado y determina como **Agravante**:

En los casos que se enumeran a continuación se aplicarán las siguientes penas:

1. **15 años a 20 años de prisión** a quien cometa el homicidio por medio de veneno o de incendio, sumersión u otro de los delitos previstos en el Título VII de este libro, con alevosía o por motivos fútiles o innobles, o en el curso de la ejecución de los delitos previstos en los artículos 449, 450, 451, 453, 456 y 458 de este Código.

2. **20 años a 26 años de prisión** si concurren en el hecho dos o más de las circunstancias indicadas en el numeral que antecede.
3. **De 28 años a 30 años de prisión** para los que lo perpetren:
  - a. En la persona de su ascendiente o descendiente o en la de su cónyuge.
  - b. En la persona del Presidente de la República o de quien ejerciere interinamente las funciones de dicho cargo.

PARÁGRAFO ÚNICO. —Quienes resulten implicados en cualquiera de los supuestos expresados en los numerales anteriores, *no tendrán derecho a gozar de los beneficios procesales de ley ni a la aplicación de medidas alternativas del cumplimiento de la pena.*

El **artículo 407** del CPV, tipifica el **Delito**: Homicidio y determina como **Agravante**:

La pena del delito previsto en el artículo 405 de este Código, será de veinte años a veinticinco años de presidio:

1. Para los que lo perpetren en la persona de su hermano.
2. Para los que lo cometan en la persona del Vicepresidente Ejecutivo de la República, de alguno de los Magistrados o Magistradas del Tribunal Supremo de Justicia, de un Ministro del Despacho, de un Gobernador de estado, de diputado o diputada de la Asamblea Nacional, del Alcalde Metropolitano, de los Alcaldes, o de algún rector o rectora del Consejo Nacional Electoral, o del Defensor del Pueblo, o del Procurador General, o Fiscal General o Contralor General de la República, o de algún miembro del Alto Mando Militar, de la Policía, o de algún otro funcionario público, siempre que respecto a estos últimos el delito se hubiere cometido a causa de sus funciones.

PARÁGRAFO ÚNICO.—Quienes resulten implicados en cualquiera de los supuestos expresados en los numerales anteriores, no tendrán derecho a gozar de los beneficios procesales de ley ni a la aplicación de medidas alternativas del cumplimiento de la pena.

El **artículo 408** del CPV, tipifica el **Delito**: Homicidio concausal y determina como **Atenuante**:

En los casos previstos en los artículos precedentes, cuando la muerte no se hubiere efectuado sin el concurso de circunstancias preexistentes desconocidas del culpado, o de causas imprevistas que no han dependido de su hecho.

1. Pena de presidio de 07 a 10 años, en el caso del artículo 407;
2. Pena de 10 a 15 años, en el caso del artículo 408

El **artículo 409** del CPV, tipifica el **Delito**: Homicidio Culposo (El que por haber obrado con imprudencia o negligencia, o bien con impericia en su profesión, arte o industria, o por inobservancia de los reglamentos, órdenes e instrucciones, haya ocasionado la muerte de alguna persona), determina una **Pena** de prisión de seis meses a cinco años, y determina como **Agravante**:

En la aplicación de esta pena los tribunales de justicia apreciarán el grado de culpabilidad del agente.

Si del hecho resulta la muerte de varias personas o la muerte de una sola y las heridas de una o más, con tal que las heridas acarreen las consecuencias previstas en el artículo 414, la pena de prisión podrá aumentarse hasta ocho años.

El **artículo 410** del CPV, tipifica el **Delito**: Homicidio preterintencional (El que, con actos dirigidos a ocasionar una lesión personal, causare la muerte de alguno), determina una **Pena** de presidio de seis a ocho años, en el caso del artículo 405; de ocho a doce años, en el caso del artículo 406; y de siete a diez años, en el caso del artículo 407, y determina como **Atenuante**:

Si la muerte no hubiese sobrevenido sin el concurso de circunstancias preexistentes desconocidas del culpable, o de causas imprevistas o independientes de su hecho, la pena será la de presidio de cuatro a seis años, en el caso del artículo 405; de seis a nueve años en el caso del artículo 406; y de cinco a siete años, en el caso del artículo 407.

El **artículo 412** del CPV, tipifica el **Delito**: Inducción y ayuda al suicidio (El que hubiere inducido a algún individuo a que se suicide, o con tal fin lo haya ayudado), determina una **Pena** presidio de siete a diez años si el suicidio se consuma.

Por otro lado, considerando que son también aplicables algunas de las Disposiciones Generales sobre los delitos y las faltas, las personas responsables y las penas contenidas, en necesario crear otra tabla que contenga esta información para poder cruzarla con la anterior. Esta tabla contiene las siguientes columnas:

- Artículo del Código Penal Venezolano (CPV)
- Disposiciones Generales sobre los delitos y las faltas, las personas y las penas.
- Agravantes
- Atenuantes

En la Tabla 2 se ilustra el formato utilizado para la organización de la información contenida en las Disposiciones Generales del Código Penal Venezolano, donde B1, B2, ..., Bm corresponden a los diversos artículos del CPV utilizados para alimentar el formato.

Artículo del CPV	Disposiciones generales sobre delitos y faltas, personas responsables y penas	Agravantes	Atenuantes
<b>Artículo B1</b>	Disposiciones generales asociadas al <b>Artículo B1</b>	Agravantes tipificados en el <b>Artículo B1</b>	Atenuantes tipificadas en el <b>Artículo B1</b>
<b>Artículo B2</b>	Disposiciones generales asociadas al <b>Artículo B2</b>	Agravantes tipificados en el <b>Artículo B2</b>	Atenuantes tipificadas en el <b>Artículo B2</b>
...	...	...	...
<b>Artículo Bm</b>	Disposiciones generales asociadas al <b>Artículo Bm</b>	Agravantes tipificados en el <b>Artículo Bm</b>	Atenuantes tipificadas en el <b>Artículo Bm</b>

Tabla 2 – Organización de la Información del Código Penal Venezolano para las Disposiciones Generales. Fuente: Elaboración propia.

Los artículos que serán incorporados en el diseño realizado son los siguientes:

El **artículo 48** del CPV establece como **Disposiciones Generales**:

#### EDAD LÍMITE PARA LAS PENAS

A los setenta años termina toda pena corporal que hubiere durado por lo menos cuatro años y la que para entonces hubiere durado menos y estuviere en curso, se convertirá en arresto, si es de presidio, o prisión hasta que transcurran los cuatro años.

Las providencias del caso las dictará el juez de Primera Instancia en lo penal que hubiere conocido del proceso.

El **artículo 63** del CPV establece como **Atenuante**:

#### ATENUANTE DE RESPONSABILIDAD

Cuando el estado mental indicado en el artículo anterior sea tal que atenúe en alto grado la responsabilidad, sin excluirla totalmente, la pena establecida para el delito o falta se rebajará conforme a las siguientes reglas:

1. En lugar de la de presidio, se aplicará la de prisión, disminuida entre dos tercios y la mitad.
2. En lugar de la de prisión, se aplicará la de arresto, con la disminución indicada.
3. Las otras penas divisibles se aplicarán rebajadas por mitad.

El **artículo 64** del CPV establece como **Agravante**:

#### EN CASO DE EMBRIAGUEZ

Si el estado de perturbación mental del encausado en el momento del delito, proviniera de embriaguez, se seguirán las reglas siguientes:

1. Si se probare que, con el fin de facilitarse la perpetración del delito, o preparar una excusa, el acusado había hecho uso del licor, se aumentará la pena que debiera aplicársele de un quinto a un tercio, con tal que la totalidad no exceda del máximo fijado por la ley a este género de pena. Si la pena que debiere imponérsele fuere la de presidio, se mantendrá ésta.
2. Si resultare probado que el procesado sabía y era notorio entre sus relaciones que la embriaguez le hacía provocador y pendenciero, se le aplicarán sin atenuación las penas que para el delito cometido establece este Código.
3. Si no probada ninguna de las dos circunstancias de los dos numerales anteriores, resultare demostrada la perturbación mental por causa de la embriaguez, las penas se reducirán a los dos tercios, sustituyéndose la prisión al presidio.
4. Si la embriaguez fuere habitual, la pena corporal que deba sufrirse podrá mandarse cumplir en un establecimiento especial de corrección.
5. Si la embriaguez fuere enteramente casual o excepcional, que no tenga precedente, las penas en que haya incurrido el encausado se reducirán de la mitad a un cuarto, en su duración, sustituyéndose la pena de presidio con la de prisión.

El **artículo 70** del CPV establece como **Atenuante**:

MENOR DE QUINCE AÑOS

Si el mayor de doce años y menor de quince fuere declarado responsable, la pena correspondiente al hecho punible se convertirá en arresto, si fuere de presidio o prisión, con disminución de la mitad; asimismo se disminuirán por mitad las otras penas y todas las que estuviere sufriendo cesarán al cumplir.

El **artículo 71** del CPV establece como **Atenuante**:

MENOR DE DIECIOCHO AÑOS

El que cometiere un hecho punible siendo mayor de quince años, pero menor de dieciocho, será castigado con la pena correspondiente, disminuida en una tercera parte.

El **artículo 72** del CPV establece como **Atenuante**:

SORDOMUDOS. RESPONSABILIDAD

No se procederá en ningún caso contra el sordomudo que al cometer el hecho punible no hubiere cumplido los quince años; pero si fuere mayor de esta edad y menor de dieciocho años, se aplicarán las disposiciones del artículo anterior, si obró con discernimiento; si no, se le declarará irresponsable, pero el tribunal dictará las medidas que estime conducentes respecto a su educación hasta que cumpla los veintiún años.

El **artículo 74** del CPV establece como **Atenuante**:

Se considerarán circunstancias atenuantes que, salvo disposiciones especiales de la ley, no dan lugar a rebaja especial de pena, sino a que se las tome en cuenta para aplicar, ésta en menos del término medio, pero sin bajar del límite inferior de la que al respectivo hecho punible asigne la ley, las siguientes:

1. Ser el reo menor de veintiún años y mayor de dieciocho cuando cometió el delito.
2. No haber tenido el culpable la intención de causar un mal de tanta gravedad como el que produjo.
3. Haber precedido injuria o amenaza de parte del ofendido, cuando no sea de tal gravedad que dé lugar a la aplicación del artículo 67.
4. Cualquier otra circunstancia de igual entidad que a juicio del tribunal aminore la gravedad del hecho.

El **artículo 77** del CPV establece como **Agravante**:

Son circunstancias agravantes de todo hecho punible las siguientes:

1. Ejecutarlo con alevosía. Hay alevosía cuando el culpable obra a traición o sobre seguro.
2. Ejecutarlo mediante precio, recompensa o promesa.
3. Cometerlo por medio de inundación, incendio, veneno, explosión, varamiento de nave, avería causada de propósito, descarrilamiento de locomotora o por medio del uso de otro artificio que pueda ocasionar grandes estragos.

4. Aumentar deliberadamente el mal del hecho, causando otros males innecesarios para su ejecución.
  5. Obrar con premeditación conocida.
  6. Emplear astucia, fraude o disfraz.
  7. Emplear medios o hacer concurrir circunstancias que añadan la ignominia a los efectos propios del delito.
  8. Abusar de la superioridad del sexo, de la fuerza, de las armas, de la autoridad o emplear cualquier otro medio que debilite la defensa del ofendido.
  9. Obrar con abuso de confianza.
  10. Cometer el hecho punible aprovechándose del incendio, naufragio, inundación u otra calamidad semejante.
  11. Ejecutarlo con armas o en unión de otras personas que aseguren o proporcionen la impunidad.
  12. Ejecutarlo en despoblado o de noche. Esta circunstancia la estimarán los Tribunales atendiendo a las del delincuente y a los efectos del delito.
  13. Ejecutarlo en desprecio o en ofensa de la autoridad pública o donde ésta se halle ejerciendo sus funciones.
  14. Ejecutarlo con ofensa o desprecio del respeto que por su dignidad, edad o sexo mereciere el ofendido, o en su morada, cuando éste no haya provocado el suceso.
  15. Ejecutarlo con escalamiento. Hay escalamiento cuando se entra por vía que no es la destinada al efecto.
  16. Ejecutarlo con rompimiento de pared, techo o pavimento o con fractura, entendiéndose por ésta toda fuerza, rotura, descomposición, demolición, derribo o agujeramiento de paredes, terrenos o pavimentos, puertas, ventanas, cerraduras, candados u otros utensilios o instrumentos que sirvan para cerrar o impedir el paso o la entrada y de toda especie de cerraduras, sean las que fueren.
  17. Ser el agraviado cónyuge del ofensor, o su ascendiente o hermano legítimo, natural o adoptivo; o cónyuge de éstos; o ascendiente, descendiente o hermano legítimo de su cónyuge; o su pupilo, discípulo, amigo íntimo o bienhechor.
  18. Que el autor, con ocasión de ejecutar el hecho y para prepararse a perpetrarlo, se hubiere embriagado deliberadamente, conforme se establece en el numeral 1 del artículo 64.
  19. Ser vago el culpable.
  20. Ser por carácter pendenciero.
- Etapa 5: Diseño preliminar del Sistema Experto: Se debe desarrollar un sistema web que posea los siguientes módulos:
    - Pantalla de inicio: Donde se hace la presentación del sistema, se accede a cada uno de los módulos y se puede tener información general sobre las áreas asociadas al sistema. Igualmente debe tener enlaces a los sitios donde se puede conseguir información de interés para los usuarios.
    - Módulo de Gestión de usuarios: Donde se puede definir los perfiles de usuarios al sistema y los privilegios de acceso que tendrá cada uno de ellos.
    - Módulo de consulta: Entorno donde el usuario presentará los casos y podrá verificar las penas asociadas al caso presentado y las atenuantes y agravantes que pueden ser solicitadas o dictaminadas.

- Base de conocimiento: Es donde se guarda el conocimiento adquirido y estructurado según la herramienta computacional seleccionada. Es la parte más importante desde el punto de vista cognitivo del Sistema.
  - Editor de la Base de conocimiento: Entorno a través del cual las reglas obtenidas en la fase de ingeniería de conocimiento son incorporadas a la Base de Conocimiento. Este módulo sólo podrá ser modificado por el administrador del sistema.
  - Motor de Inferencia: Es el componente encargado de manipular la base de conocimiento para lograr conseguir las respuestas ante las consultas presentadas por el usuario a través del módulo de consulta. Este motor puede utilizar métodos de encadenamiento hacia adelante y hacia atrás para el tratamiento de la base de conocimiento.
  - Módulo de explicación: En este módulo se deben indicar el proceso de razonamiento desarrollado por el sistema para llegar a sus conclusiones. Para los casos de adiestramiento es un módulo fundamental ya que es lo que permitirá aprender de los casos presentados. En otros casos este módulo sería opcional cuando no se quiere que el usuario tenga acceso al conocimiento manejado por el sistema o del procedimiento de razonamiento utilizado.
- Etapa 6: Desarrollo e Implantación del Sistema Experto: Se debe proceder al desarrollo del prototipo del sistema basado en conocimiento, el cual deberá ser validado para corregir los errores y posibles fallas que presente. Al terminar la validación se proceder al desarrollo del modelo operacional, el cual antes de ponerse en funcionamiento debe pasar por una estricta fase de prueba y depuración para terminar de ajustar su funcionamiento. Posterior a esto quedaría la fase de mantenimiento y actualización del sistema.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un diseño establecido en una metodología para el desarrollo de sistemas basado en conocimiento que sirva de ayuda en el proceso de aprendizaje sobre las penas en los delitos contra las personas, delimitado por el homicidio para este estudio y que adicionalmente permita conocer las disposiciones generales que pueden ser aplicadas a cada caso.

En las leyes, códigos y demás documentos legales suele haber mucha información que se encuentra distribuida a lo largo de todo el documento, o complementada en otras leyes, y que no es fácil para un usuario inexperto poder visualizar de forma global, por lo cual el diseño y desarrollo de este tipo de sistemas basados en conocimiento en el cual la información se encuentra vinculada y que puede brindar las características aplicadas a cada caso, son un aporte importante al estudio de las Ciencias Jurídicas.

Es importante destacar la importancia de la etapa de Ingeniería de Conocimiento ya que es donde se logra adquirir el conocimiento y estructurarlo apropiadamente para posteriormente poder generar las reglas que se incorporarán en la base de conocimiento que permitirá la obtención de respuestas expertas ante los diversos escenarios presentados por los usuarios.



Como trabajo futuro se realizará el desarrollo del Sistema para su posterior puesta en funcionamiento como una aplicación web que pueda ser utilizada por estudiantes y profesionales del área del Derecho y la Jurisprudencia y operadores de justicia.

## Referencias

- Akerkar, A.R., y Sajja, P. (2009). *Knowledge-Based Systems*. Massachusetts, Estados Unidos: Jones & Bartlett Publishers.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2005). Código Penal de Venezuela. Gaceta Oficial N° 5.768, Ext. del 13 de abril de 2005.
- Batista, N., Navarrete, C., León, C., Real, M., Chiriboga, J., Estupiñán J. (2019). La toma de decisiones en la informática jurídica basado en el uso de los sistemas expertos. *Revista Investigacion Operacional*. Vol. 40 , No.1, 131-139.
- Berka, P. (2011). *NEST: A Compositional Approach to Rule-Based and Case-Based Reasoning*. *Advances in Artificial Intelligence*. Volume 2011.
- Bettiol, G. (1965). *Derecho Penal. Parte General*. Bogotá-Colombia: Editorial Temis, S.A
- Bravo, C.E., Saputelli, L., Rivas, F. Pérez, A.G., Nickolaou, M., Zangl, G., De Guzmán, N., Mohaghegh S.D., Nunez, G. (2014). State of the Art of Artificial Intelligence and Predictive Analytics in the E&P Industry: A Technology Survey. *SPE Journal*. Vol 19. Nro 4, pp. 547-563.
- Chen, G., Pham, T.T. (2001). *Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems*. CRC Press. USA.
- Davenport T., Guha A., Grewal D. y Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science* volume 48, pp. 24-42
- Fuller R., Giove, S., Masulli, F. (2018). *Fuzzy Logic and Applications*. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Springer. Alemania.
- García Serrano, A. (2012) *Inteligencia Artificial: Fundamentos, práctica y aplicaciones*. San Fernando de Henares, España: RC Libros.
- Hagan, M., Demuth, H., Beale, M & De Jesús, O. 2014. *Neural Networks Design*. 2da Edición. USA.
- Martinez, J. (2018). *Derecho inteligente*. Cuadernos Electrónicos de Filosofía del Derecho. España, 95-114.
- Palma, J., Roque, M (2008). *Inteligencia Artificial: Técnica, Métodos y Aplicaciones* McGraw Hill, España.
- Rivas-Pérez, F., Dos Santos, A., Pardo, V., Rivas-Echeverría, F. (2013). Expert System for appropriate actions to be taken before, during and after a Seismic event in Venezuela. *International Journal of Geology*. 3 (7), 80-87.

- Rivas, F., Asprino, M., Sarache, L. y León, F. (2019). Sistema Inteligente para la Generación Automática de Contratos en el marco de la Ley de Contrataciones Públicas. *Revista Politécnica*. Vol. 44, Nro. 1. 41-47.
- Roxin, C., Belloff, M., Margariños, M., Ziffer, P., Bertoni, E, y Rios, R. (1993). *Determinación Judicial de la pena*. Editores del Puerto s.r.l., Argentina.
- Sajja, P. (2009). *Knowledge-Based Systems*. Jones & Bartlett Publishers.
- Stuart, R. y Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd Edition. New York, USA: Pearson.
- Todorov, Y., Terziyska, M. and Petrov, M. *NEO-fuzzy State-Space Predictive Control*. IFAC Papers on line. Dec. 2015. pp. 99- 104. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.12.064>
- Zadeh, L., *Fuzzy Sets*, Information and control, Vol.8, 1965, pp.338-353.



## 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](mailto: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](mailto: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>

