



**TRACK
TÉCNICO**

**Soluciones TIC a desafíos emergentes
de la sociedad**



Guayaquil, Ecuador
Vol. 33, N° 2 (2021)
Noviembre, 30

DOI: 10.37815/rte.v33n2

Autoridades Institucionales

Rectora

Cecilia Alexandra Paredes Verduga, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Vicerrector

Paúl Herrera Samaniego, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Consejo de Editores (Editorial Board)

Directora General Editorial (Editor in Chief)

Nayeth I. Solórzano Alcivar, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: nsolorza@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5642-334X

Editor Invitado (Guest Editor)

Pablo Pérez-Gosende, Ph.D(c).
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: pperezg@ups.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-1734-0522

Coordinador de Producción (Production coordinator)

Fausto Enrique Jácome López, M.Sc.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: fjacome@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-6808-7294

Editores de Sección (Section Editors)

Santiago Berrezueta, M.Sc.
 Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la
 Investigación y la Academia (CEDIA), Ecuador
 e-mail: santiago.berrezueta@cedia.org.ec
 ORCID: 0000-0001-5559-2056

Diana Llamel Rodríguez Arteaga, M.Sc.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: dirodrig@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-3715-181X

Consejo Científico (Advisory Board)

Carlos Teodoro Monsalve Arteaga, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: monsalve@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9428-4360

Boris Xavier Vintimilla Burgos, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: bvintim@fiiec.espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-8904-0209

Carlos Alberto Ramos Galarza, Ph.D.
 Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
 e-mail: ps_carlosramos@hotmail.com
 ORCID: 0000-0001-5614-1994

Daynet Sosa Del Castillo, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: dasosa@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-5403-9072

Diana Carolina Coello Fiallos, Ph.D.
 Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
 e-mail: dc.coello@uta.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-3628-5004

Diego Fernando Avila Pesantez, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
 e-mail: davila@epoch.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-8394-5621

Elva Patricia Reyes Díaz, Ph.D.
 Universidad Autónoma de Coahuila, México
 e-mail: elva.reyes@uadec.edu.mx
 ORCID: 0000-0002-8854-0946

Ignacio Bladimir Cerón Guerra, Ph.D.
 Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
 e-mail: ignacio.ceron@epn.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-6373-9772

Isidro Fierro Ulloa, Ph.D.
 Universidad de Especialidades Espiritu Santo, Ecuador
 e-mail: isfierro@uees.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9000-6945

José Enrique Martínez-Pérez, Ph.D.
 Instituto Universitario de Tecnología del Estado Bolívar,
 Venezuela
 e-mail: josenriquemartinez@gmail.com
 ORCID: 0000-0003-3611-6390

Jorge Antonio Córdova Morán, Ph.D.
 Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
 e-mail: joranto205@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-2730-4755

Juan José Oliveira Maurera, Ph.D.
 Universidad de Oriente, Venezuela
 e-mail: juanjoseoli@hotmail.com
 ORCID: 0000-0002-8474-5872

Juan Humberto Avellaneda Cevallos, Ph.D.
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
 e-mail: juan_avellaneda@yahoo.com
 ORCID: 0000-0002-1805-4803

Manuel Raúl Peláez Samaniego, Ph.D.
 Universidad de Cuenca, Ecuador
 e-mail: manuel.pelaez@ucuenca.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-7618-9474

María Del Pilar Cornejo Rodríguez, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcornejo@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-4198-2904

María Fernanda Calderón Vega, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: mafercal@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5191-7527

María Genoveva Espinoza-Santeli, Ph.D.
 Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador
 e-mail: genoveva.espinoza@uasb.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-2347-9507

Paúl Cesar Carrión Mero, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcarrion@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9747-7547

Raquel Miroslava Tinoco Egas, Ph.D.
 Universidad Técnica de Machala, Ecuador
 e-mail: raqueltinocoegas@hotmail.com
 ORCID: 0000-0001-5979-8123

Stanislaus Albert-Georg Sonnenholzner, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: ssonnen@cenaim.espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5723-3994

Consejo Internacional de Revisores del Volumen (International Reviewers Board)

Andy Fabricio Vega León, M.Sc.
 Universidad Nacional de Loja, Ecuador
 e-mail: andy.vega@unl.edu.ec
 Orcid: 0000-0003-0106-6880

Carlos Alberto Bosquez Bosquez, MAE
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: cbosquez@ups.edu.ec
 Orcid: 0000-0002-8245-9610

Christian Miguel Pacheco Rodríguez, Ing.
 Univesidad Católica de Cuenca, Ecuador
 e-mail: cmpachecor31@gmail.com
 Orcid: 0000-0002-7036-8201

Christopher Reyes López, M.Sc.
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: creyesl@ups.edu.ec
 Orcid: 0000-0002-4500-6161

Dario Huilcapi Subia, M.Sc.
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: dhuilcapi@ups.edu.ec
 Orcid: 0000-0003-4603-0566

Edgar Italo Mendoza Haro, MAE
 Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
 e-mail: edgaritalo@gmail.com
 Orcid: 0000-0002-6492-6991

Edgar Rolando Morales Caluña, M.Sc.
 Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
 e-mail: moralesdoc@gmail.com
 Orcid: 0000-0001-9545-1282

Elier González Martínez, Ph.D.
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: egonzalez@ups.edu.ec
 Orcid: 0000-0003-3090-3756

Fernando Francisco Sandoya Sánchez, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: fsandoya@espol.edu.ec
 Orcid: 0000-0002-0011-4003

Gandy Rene López Fuertes, Ph.D.
 Ministerio de Inclusión Económica y Social, Ecuador
 e-mail: gandy.lopez@rocketmail.com
 Orcid: 0000-0001-9101-8932

Hugo Espinosa, Ph.D.
 Griffith University, Australia
 e-mail: h.espinosa@griffith.edu.au
 Orcid: 0000-0002-3974-6462

Jaime Eduardo Veintimilla, M.Sc.
 Universidad de Cuenca, Ecuador
 e-mail: jaimveintimilla@ucuenca.edu.ec
 Orcid: 0000-0003-0409-9602

Joe Llerena Izquierdo, M.Sc.
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: jllerena@ups.edu.ec
 Orcid: 0000-0001-9907-7048

Jorge Fabricio Freire Morán, Ph.D.
 Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
 e-mail: jfreirem@ups.edu.ec
 Orcid: 0000-0003-2497-9594

José Domingo Alviar Malabet, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: jalviar@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0001-9613-0675

José Oramas M., Ph.D.
University of Antwerp, Bélgica
e-mail: jose.oramas.m@gmail.com
Orcid: 0000-0002-8607-5067

Juan Manuel Chávez Mendoza, M.Sc.
Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, México
e-mail: jmanuel.chavez@utfv.edu.mx
Orcid: 0000-0002-6422-5079

Julita Inca, M.Sc.
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
e-mail: jinca@pucp.pe
Orcid: 0000-0001-6079-4373

Lissenia Isabel Sornoza Quijije, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: lsornoza@espol.edu.ec
Orcid: 0000-0002-2283-399X

Lorenzo Cevallos Torres, M.Sc.
Universidad de Guayaquil, Ecuador
e-mail: lorenzo.cevallost@ug.edu.ec
Orcid: 0000-0002-7211-2891

Maikel Yelandi Leyva Vázquez, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: mleyva@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0001-7911-5879

María Elena Villapol, Ph.D.
Western Institute of Technology at Taranaki,
Nueva Zelanda
e-mail: mariaelena.villapol@gmail.com
Orcid: 0000-0003-0762-5153

María Genoveva Espinoza-Santeli, Ph.D.
Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador
e-mail: genoveva.espinoza@uasb.edu.ec
Orcid: 0000-0002-2347-9507

Mariela Cerrada Lozada, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: mcerrada@ups.edu.ec

Máximo Giovani Espinoza, M.Sc.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: mtandazo@ups.edu.ec

Mayra Lorena Mahecha Guzmán, M.Sc.
Universidad Del Pacífico, Ecuador
e-mail: mmahecha@espol.edu.ec
Orcid: 0000-0001-9334-7246

Miguel Botto Tobar, M.Sc.
Universidad de Guayaquil, Ecuador
e-mail: mbotto@ieee.org
Orcid: 0000-0001-7494-5224

Miguel Quiroz Martínez, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: mquiroz@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0002-8369-1913

Mónica Gómez Ríos, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: mgomezr@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0003-4914-4905

Mónica María Miranda Ramos, M.Sc.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: mmiranda@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0002-7497-1593

Pablo Martí Méndez Naranjo, M.Sc.
Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador
e-mail: pmendez49@hotmail.com
Orcid: 0000-0002-3967-3718

Pedro Fabricio Zanzzi Diaz, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: pzanzz@espol.edu.ec

Pedro Luis González Rivera, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: pgonzalezr@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0003-3634-7690

Ricardo Naranjo Sánchez, M.Sc.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: rnanajo@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0001-9869-3551

Shirley Coque Villegas, M.Sc.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: scoque@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0002-2087-0316

Víctor Huilcapi Subia, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: vhuilcapi@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0001-6426-7116

Víctor Manuel Asanza Armijos, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: vasanza@espol.edu.ec
Orcid: 0000-0002-2786-4162

Vladimir Robles-Bykbaev, Ph.D.
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
e-mail: vrobles@ups.edu.ec
Orcid: 0000-0002-7645-8793

Washington Medina Moreno, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: wmedina@espol.edu.ec
Orcid: 0000-0002-2674-7255

Wilton Edixon Agila Galvez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: wagila@espol.edu.ec
Orcid: 0000-0002-8117-7777

Gestión de Comunicación, Publicación y Técnica

Difusión y Comunicación

*Gerencia de Comunicación Social y Asuntos
Públicos, ESPOL*

José Arturo Maldonado Moncayo, Ing.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Community Manager

Paola Ulloa López, Ph.D
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Diseño, Diagramación y Portada

Kleber José Avelino Mosquera
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Santiago Morales
Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la
Investigación y la Academia - CEDIA, Ecuador

Informática

Contacto Soporte Técnico
Kleber José Avelino Mosquera
rte@espol.edu.ec
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Indexadores / Directorios



e-revist@s

REDIB | Red Iberoamericana
de Innovación y Conocimiento Científico



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Identificadores



Sobre la revista

La **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** es una publicación digital, a la que se puede acceder de forma abierta y gratuita desde su sitio web <http://www.rte.espol.edu.ec>. Se encuentra registrada en varios indexadores y directorios de bases de datos y cuenta con un proceso de evaluación continua de nuevas formas de indexación que permiten dar mayor visibilidad a los artículos publicados y a sus autores.

RTE presenta llamadas programadas para envío de artículos a través de la plataforma Open Journal System, garantizando como mínimo la publicación de dos volúmenes al año. Sin embargo, cada año se producen y garantiza volúmenes adicionales sobre una temática específica (como un Monográfico o Dossier) o ediciones especiales relacionadas a un evento científico o tecnológico, que recogen artículos o ponencias revisadas y aceptadas por pares ciegos antes de su publicación.

About the journal

The **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** is a digital publication, which can be accessed freely and openly from its website <http://www.rte.espol.edu.ec>. It is registered in several indexers and database directories and has a continuous evaluation of new forms of indexing that give greater visibility to published articles and their authors.

RTE presents scheduled calls for article submission through the Open Journal System platform, guaranteeing the publication of at least two volumes per year. However, each year additional volumes are produced and guaranteed on a specific subject (such as a Monograph or Dossier) or special editions related to a scientific or technological event, which collects articles or papers reviewed and accepted by blind peers before publication.

Editorial

La omnipresencia de las TIC en la sociedad actual es evidente. Desde la agricultura de precisión, la monitorización global del medio ambiente y de la biodiversidad, la democracia participativa, la educación, el comercio, la telemedicina, las comunicaciones, la gestión de bases de datos globales, la medición de índices bursátiles, las relaciones comerciales, la robótica, las aplicaciones militares, la exploración del espacio, la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad y sectores vulnerables en general, entre otras muchas aplicaciones, dan muestra del trascendental aporte de estas tecnologías al desarrollo de la Humanidad. Sin embargo, la sociedad evoluciona, y al resolverse o mitigarse ciertos problemas, surgen otros que requieren de soluciones efectivas y sostenibles al menor costo.

En este contexto, las TIC continúan dando respuesta a muchos de los desafíos emergentes que plantea la sociedad moderna y es necesario difundir los avances que en este campo de conocimiento se producen de forma regional, para que puedan ser reproducidos en contextos de acción más amplios. Por ello, en esta edición especial de la Revista RTE, a la que hemos denominado "Soluciones TIC a desafíos emergentes de la sociedad", publicamos una selección de las contribuciones más actuales y relevantes de las TIC presentadas como parte del Track Técnico de la Conferencia de Tecnologías de la Información y Comunicación del Ecuador – TICEC 2021, el evento científico de mayor prestigio en Ecuador sobre esta temática.

Desde el año 2013, CEDIA, a través del Congreso TICEC, convoca a investigadores nacionales y extranjeros a exponer, compartir y diseminar los resultados que tienen un fuerte componente de innovación y de transferencia a la sociedad en el campo de las TIC. Con el paso de los años, la conferencia TICEC se ha convertido en el punto de encuentro preferido por catedráticos, profesionales y estudiantes, donde se crean y fortalecen relaciones de colaboración interinstitucionales en materia de investigación, innovación y transferencia hacia el sector empresarial. RTE se enorgullece de contribuir a la diseminación del conocimiento fresco y nuevo que fue presentado por los investigadores que se dieron cita en esta novena edición del TICEC, celebrada del 24 al 26 de noviembre de 2021 en modalidad híbrida en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana en su sede de Guayaquil.

En este número, nuestros lectores podrán enriquecerse del conocimiento plasmado en artículos técnicos que abordan temas tan importantes como los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica, la tecnología blockchain, las técnicas de minería de datos, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, los desafíos de la virtualización en la formación universitaria, los algoritmos para la detección de eventos sísmicos, entre otros temas de amplio interés para la comunidad científica nacional e internacional.

Es un honor para RTE contribuir a la difusión del conocimiento que nace desde la academia pero que tiene una fuerte proyección hacia la transformación del entorno en el contexto nacional, regional y global. Estamos seguros de que este número será de gran interés para nuestros lectores y, sobre todo, de nuestros autores, a quienes agradecemos su confianza y fidelidad al escogernos como el espacio idóneo para la publicación de sus resultados de investigación.

Los editores

Pablo Pérez-Gosende, PhD(c),

Editor invitado RTE,
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Santiago Berrezueta, MSc,

Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), Ecuador.

Nayeth Solórzano, PhD,

Editora en Jefe RTE,
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Profesor Principal - ESPOL, Ecuador.

Editorial

The omnipresence of ICTs in today's society is evident. From precision agriculture, global environment and biodiversity monitoring, participatory democracy, education, trade, telemedicine, communications, management of worldwide databases, measurement of stock market indexes, commercial relations, robotics, military applications, space exploration, improvement of the quality of life of people with disabilities and vulnerable sectors in general, among many other applications, demonstrate the transcendental contribution of these technologies to the development of humanity. However, society evolves, and while some problems get solved or mitigated, others arise that require effective and sustainable solutions at the lowest cost.

In this context, ICTs continue to respond to many of the emerging challenges posed by modern society, and it is necessary to disseminate the advances made in this field of knowledge in a regional scope so they can be replicated in broader contexts of action. Therefore, in this special edition of RTE Magazine, which we have called "ICT solutions to emerging challenges of society," a selection of the most current and relevant ICT contributions presented as part of the Technical Track of the Conference on Information and Communication Technologies of Ecuador - TICEC 2021, the most prestigious scientific event in Ecuador on this topic, is presented.

Since 2013, through the TICEC Conference, CEDIA summons national and foreign researchers to expose, share and disseminate results that have a solid component of innovation and transfer to society in the ICTs field. Over the years, the TICEC conference has become the preferred meeting point for professors, professionals, and students, where inter-institutional collaboration relationships in research, innovation, and transfer to the business sector are created and strengthened. RTE is proud to contribute to disseminating fresh and new knowledge presented by the researchers who gathered in this 9th edition of TICEC, held from November 24 to 26, 2021, in hybrid mode, at the facilities of Universidad Politécnica Salesiana at Guayaquil.

In this issue, our readers will be enriched by the knowledge embodied in technical articles that address important topics such as advances in wireless communication technologies, blockchain technology, data mining techniques, artificial intelligence, machine learning, the challenges of virtualization in university education, algorithms for the detection of seismic events, among other topics of broad interest to the national and international scientific community.

It is an honor for RTE to contribute to disseminating the knowledge that comes from academia but has a strong projection towards the transformation of the society in the national, regional, and global context. We are sure that this issue will be of great interest to our readers and, above all, to our authors, whom we thank for their trust and loyalty in choosing us as their preferred space to publish their research results.

The editors

Pablo Pérez-Gosende, Ph.D(c).

Guest Editor RTE,
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Santiago Berrezueta, M.Sc.

Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), Ecuador.

Nayeth Solórzano, Ph.D.

Editor-in-chief RTE,
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Profesor Principal - ESPOL, Ecuador.

Soluciones TIC a desafíos emergentes de la sociedad Volumen especial contribuciones del TICEC 2021

- 12 *Comparación de Modelos Empíricos de pérdida LPWAN por Propagación en el campus Prosperina de la ESPOL: Resultados derivados de un estudio empírico*
- 25 *Análisis comparativo de Métodos de Consenso sobre plataformas Blockchain*
- 43 *Análisis del rendimiento de los protocolos OLSR, DSDV y AODV en una Red MANET*
- 58 *Evaluación y comparación de algoritmos para la detección automática de eventos sísmicos*
- 75 *Análisis de métodos OMA para la extracción de parámetros modales sobre edificios existentes*
- 94 *Nativos digitales y desinformación: un acercamiento desde el sur de Ecuador*
- 109 *Aplicación de Fuzzy-AHP y COPRAS en la selección de la mejor alternativa para el maquinado a alta velocidad de estructuras delgadas en aleaciones de aluminio Al 5083*
- 122 *Virtualización de las asignaturas de estudios generales en la formación universitaria. Propuesta de concepción teórico-metodológica para su aplicación*
- 134 *Plataforma para Análisis de Mercado a través de Datos de Redes Sociales*
- 147 *Evaluación del reconocimiento de voz entre los servicios de Google y Amazon aplicado al Sistema Integrado de Seguridad ECU 911*
- 159 *Comparando técnicas de minería de datos en un centro de emergencias*
- 172 *Implementación del algoritmo K-means para clusterización de señales EEG durante la aplicación de una prueba Stroop*
- 189 *Artificial intelligence-controlled pole balancing using an Arduino board*
- 205 *Machine learning approach for multidimensional poverty estimation*
- 226 *Influencia emocional en árbitros de fútbol aplicando tecnologías de sensores*



Soluciones TIC a desafíos emergentes de la sociedad

Volumen especial
Contribuciones del TICEC 2021

RTE

Comparación de Modelos Empíricos de pérdida LPWAN por Propagación en el campus Prosperina de la ESPOL: Resultados derivados de un estudio empírico

LPWAN Empirical Propagation Path Loss Models comparison at Prosperina campus in ESPOL: Results based on an empirical study

Geovanny Arguello¹ <https://orcid.org/0000-0002-3486-8444>, Edison Del Rosario¹ <https://orcid.org/0000-0003-4573-2048>, Edison Boris Ramos¹ <https://orcid.org/0000-0002-0469-6135>

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL, Guayaquil, Ecuador
geomaarg@espol.edu.ec, edelros@espol.edu.ec, bramos@espol.edu.ec

Enviado: 2021/06/11
Aceptado: 2021/09/28
Publicado: 2021/11/30

Resumen

La tecnología de largo alcance LoRa, como parte de tecnologías de bajo consumo energético LPWAN, permite establecer comunicaciones inalámbricas a kilómetros de distancia con bajas tasas de transmisión. Sus características, inducen a la creación de nuevas líneas de investigación para comprender su comportamiento en diversos ambientes y diferenciarlas de otras tecnologías similares. En esta investigación, se caracteriza a la tecnología LoRa en contraste con Sigfox y NB-IoT. Se evalúa el efecto de pérdidas en la propagación que tiene la tecnología LoRa, con mediciones realizadas en ambientes tanto abiertos como cubiertos por vegetación, dentro de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), campus Gustavo Galindo Velasco o Prosperina. Se establece un modelo de pérdida por gradiente, utilizando regresión de mínimos cuadrados (LS). Se registra el parámetro RSSI en paquetes enviados a través de una topología punto a punto entre nodos, y se obtiene un valor de potencia promedio recibida en cada nodo. El modelo obtenido, es de gradiente múltiple y se lo compara con otros modelos de propagación como el modelo de pérdida en espacio libre (FSL), y tres modelos empíricos como son, modelo COST-231 Hata, modelo de la ciudad de Dortmund (Alemania) y el modelo de la ciudad de Oulu (Finlandia), siendo este último el que presenta menor error de dispersión con el modelo obtenido.

Palabras clave: gradiente, LoRa, LPWAN, modelo de propagación, regresión de mínimos cuadrados (LS).

Sumario: Introducción, Diferencias técnicas y factores IoT: LoRa, Sigfox y NB-IoT, Metodología, Modelos empíricos, Resultados y discusión y Conclusiones.

Como citar: Arguello, G., Del Rosario, E. & Ramos, E. (2021). Comparación de Modelos Empíricos de pérdida LPWAN por Propagación en el campus Prosperina de la ESPOL: Resultados derivados de un estudio empírico. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 12-24.

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/824>

Abstract

Long-range technology LoRa, as part of low power consumption technologies LPWAN, allows wireless communications within kilometers of distance using low data rates. Its characteristics induce the creation of new lines of research to have a better understanding of its behavior in different environments and differentiate it from other similar technologies. In this research, LoRa technology was characterized by the contrast of Sigfox and NB-IoT. It was evaluated the path loss effect in LoRa technology, using measurements in open environments and forest environments, at Prosperina Campus - ESPOL. A path loss gradient model using Least Squares Regression (LS) was found. RSSI parameter was registered, from sending packages through point-to-point node's topology and getting a mean power from each node. The multi-gradient model obtained was compared with other propagation models such as the Free Space Loss (FSL) model and three empiric models: COST-231 Hata model, model of Dortmund city (Germany), and model from Oulu city (Finland). Among these models, the latter presented the lowest dispersion error regarding the obtained model.

Keywords: gradient, LoRa, LPWAN, propagation model, least square regression.

Introducción

En la actualidad, junto con el desarrollo del Internet de las cosas (IoT), existen cada vez más dispositivos intercomunicados entre sí (Kais Mekki, 2018). Una de las tecnologías de comunicación que ha ganado popularidad en los últimos tiempos, son aquellas conocidas como LPWAN (Low Power Wide Area Network), debido a su largo alcance y bajo consumo energético. Lora, Sigfox y NB-IoT son tres de las tecnologías LPWAN más utilizadas para el desarrollo de aplicaciones IoT dependiendo las características que se requieran.

Los modelos de propagación ayudan en la planificación y despliegue de redes, particularmente para realizar estudios durante el despliegue inicial y la viabilidad del proyecto. También se los utiliza en estudios para calcular la medida de la interferencia conforme avanza el despliegue de la red. En las redes inalámbricas, se pueden caracterizar tres tipos de modelos; estos son: empíricos, determinísticos y estocásticos (V.S. Abhayawardhana, 2005). Los modelos empíricos son los que se basan únicamente en observaciones y mediciones. Estos modelos se utilizan principalmente para predecir la medida de pérdida por trayectoria, pero también existen modelos que predicen el desvanecimiento por lluvia y la trayectoria múltiple. Los modelos deterministas hacen uso de las leyes que gobiernan la propagación de ondas electromagnéticas para determinar la potencia de la señal recibida en una ubicación particular.

Los modelos deterministas, a menudo requieren un mapa completo en 3D de la propagación ambiente. Un ejemplo de modelo determinista es un modelo de trazado de rayos. Los modelos estocásticos, por otro lado, modelan el medio ambiente como una serie de variables aleatorias. Estos modelos son los menos precisos, pero requieren la menor información sobre el medio ambiente y utilizan menos potencia de procesamiento para la generación de predicciones. Los modelos empíricos se pueden dividir en dos subcategorías, disperso en el tiempo y no disperso en el tiempo. El primero, está diseñado para proporcionar información relacionada con las características temporales que sufre el canal de propagación usado; es decir, el retardo por múltiples trayectorias en la propagación del canal. Un ejemplo de este tipo son los que se desarrollaron en la Universidad de Stanford (SUI), con un grupo de trabajo conformado por personal del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) 802.16. Ejemplos de modelos empíricos no dispersivos en el tiempo son ITU-R, Hata y el modelo COST-231 Hata (Hendrik Linka, 2018). Todos estos modelos predicen la media de la pérdida por trayectoria en función de varios parámetros, por ejemplo, distancia, alturas de antena, etc.

Aunque los modelos de propagación empíricos para sistemas móviles se han validado de forma exhaustiva, su idoneidad para ser considerados estándares, no ha sido completamente establecida. Este artículo propone un modelo empírico de propagación basado en mediciones realizadas en el campus de la ESPOL, ayudado de análisis estadístico para calcular el gradiente-pendiente resultante, tanto en ambientes cubiertos con vegetación, como en ambientes abiertos. Luego, se compara con varios estudios empíricos presentados y expuestos en la comunidad científica. Se analiza el efecto de la línea de vista en la tecnología LoRa.

Diferencias técnicas y factores IoT: LoRa, Sigfox y NB-IoT

A pesar de que LoRa, Sigfox y NB-IoT son consideradas tecnologías LPWAN, cada una de ellas presenta características propias dadas por el fabricante:

LoRa

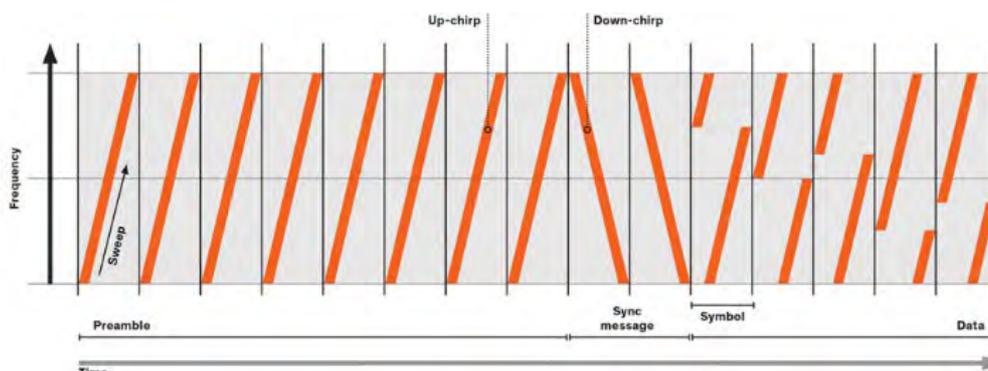
Es una tecnología de capa física, que utiliza una técnica de ensanchamiento del espectro, de origen propietario por la compañía SEMTECH, para la transmisión o recepción de datos. El rango de frecuencias para la modulación está comprendido entre 860-960 MHz para Europa y América, y frecuencias de 400 MHz para Asia. Admite comunicación bidireccional a través de la modulación por “chirp” chirrido de ensanchamiento del espectro (CSS), metiendo una señal mensaje en un ancho de banda angosto (Ayanle I. Ali, 2019).

Para el mejor entendimiento del CSS, se utilizan conceptos como chip y chirp. Un chip equivale a una medida de cantidad dentro de un tiempo fijo, equivalente al ancho de banda utilizado para transmitir símbolos; es decir, si se tiene un ancho de banda de 250kHz, entonces, se tiene 250000 chips por segundo. La cantidad de chips que pueden ser utilizados para la creación de un símbolo viene dada por el factor de esparcimiento (SF), y se rige a la siguiente fórmula: 2^{SF} , el SF también indica la cantidad de bits que se utilizarán para un símbolo. El SF va de 7 a 12, mientras mayor el SF, mayor es la distancia de cobertura y menor la tasa de transmisión; este efecto es debido a que aumenta la cantidad de chips por símbolo. Por otro lado, un chirp no es nada más que la rampa utilizada para la creación de símbolos, que puede ser ‘up-chirp’ o ‘down-chirp’.

La Figura 1 muestra diferentes símbolos de una trama LoRa, detallando características intrínsecas de esta tecnología.

Figura 1

Diferentes símbolos LoRa, la primera mitad con ‘up-chirp’ y el restante con ‘down-chirp’



Los conjuntos de todas estas características de la señal resultante permiten reducir las interferencias y llegar a largas distancias. LoRa adicionalmente utiliza un método de corrección

de errores (FEC) con tasas de codificación 4/5, 4/6, 4/7 y 4/8; para mejorar la sensibilidad en la recepción (Usman Raza, 2017).

Sigfox

Tecnología que usa modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) sobre una portadora muy angosta (UNB) de aproximadamente 100 Hz. El uso de UNB mejora la sensibilidad en el receptor ya que se utiliza de manera eficiente el espectro, generando poco consumo energético. Todo esto suma para tener una tasa de datos máxima de 100 bits por segundo. Una de las desventajas que presenta Sigfox es la limitación en el tamaño del mensaje a transmitir y la cantidad de veces por día tanto para subida como para bajada (Usman Raza, 2017).

NBIIoT

Tecnología que coexiste con la tecnología LTE, por lo tanto, depende de una infraestructura presente. Utiliza modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) junto con acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), ortogonal para descargas (DL) y única portadora para cargas (UL). Puede operar en 3 modos diferentes, único portador, en banda (compartiendo ancho de banda con portadora LTE) y banda de guarda (en una portadora ya existente). Puede alcanzar tramas hasta 1600 bytes con una tasa de transmisión de 20 kbps para subida y 200 kbps para bajada (Massimo Ballerini, 2020).

La Tabla 1 muestra un resumen de las características tecnológicas existentes en LPWAN.

Tabla 1

Características tecnológicas de tecnologías (Oratile Khutsoane, 2017)

	Lora	Sigfox	NBIIoT
Modulación	CSS	UNB DBPSK(UL), GFSK(DL)	QPSK
Frecuencias	430 MHz & 860-960 MHz	868 MHz & 902 MHz	Frecuencias LTE
Rango	< 20 km	< 40 km	< 10 km
Tasa de transmisión	0.3 – 37.5 kbps (LoRa), 50 kbps (FSK)	100 bps (UL), 600 bps (DL)	20 kbps (UL), 200 kbps (DL)
Número de canales	10 en EU, 64+8(UL) y 8 (DL) en US, diferentes SF	360 canales	Dependiendo el número de bloques LTE
Sincronismo	Sí	No	Sí
FEC	Sí	No	Puede usar
Tamaño de paquetes	Hasta 250 bytes	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	Hasta 1600 bytes
Topología	Estrella – Multi estrella	Estrella	SEA

Factores IoT

Los factores principales de una tecnología para pertenecer a una red LPWAN son la distancia en la cobertura y el bajo consumo energético. Sin embargo, para satisfacer las necesidades de una aplicación IoT adicionalmente debe comprender factores como la calidad de servicio (QoS), tiempo de vida de la batería, latencia, escalabilidad, tamaño de la trama, modelo de desarrollo y costo.

Rango y cobertura

A nivel de rangos Sigfox tiene ventaja sobre las demás, debido a que una sola estación base puede llegar a cubrir alrededor de 40 km a la redonda; por otro lado, Lora ofrece alcances de hasta 20 km, mientras que NBIoT depende mucho de donde se encuentre una red LTE y sus alcances son menores a 10 km (Elmustafa Sayed Ali Ahmed, 2019).

Tiempo de batería y latencia

El consumo energético de las tres tecnologías es bajo, sin embargo, al tener una comunicación sincrónica, los picos de consumo de la tecnología NBIoT son mayores que las otras dos. La compensación para esto, es la latencia. Lora, a pesar de que posee dispositivos de clase C que son especializados para reducir la latencia aumentando el consumo energético, no llega a reducir la latencia tanto como con dispositivos NBIoT. Por lo tanto, para aplicaciones de poco envío de datos es recomendable usar Lora o Sigfox, pero para aplicaciones donde la latencia juega un papel importante se recomienda NBIoT.

Calidad de servicio

Lora y Sigfox utilizan bandas no licenciadas y protocolos de comunicación asíncronos, los mismos que son utilizados para mitigar los efectos de interferencias como co-canal, caminos múltiples y desvanecimiento. Sin embargo, no llegan a brindar la misma calidad de servicio que da NBIoT, la misma que utiliza una banda licenciada y un protocolo síncrono basado en LTE. Para el uso de una banda licenciada, se tiene que tener en cuenta el costo para la adquisición/alquiler de la misma, que depende de la región donde se la utilice (Gutierrez, 2019).

Escalabilidad y longitud de trama

LoRa, Sigfox y NBIoT soportan una gran cantidad de nodos conectados a una estación base; no obstante, NBIoT permite mayor escalabilidad ya que teóricamente admite hasta 100 mil usuarios por celda en comparación con LoRa y Sigfox que admiten hasta 50 mil. Así mismo, la longitud de trama es mayor para aplicaciones con tecnología NBIoT, hasta 1600 bytes, seguidos por LoRa, hasta 243 bytes y finalmente Sigfox con un máximo de 12 bytes para transmisión, lo que limita mucho en el uso de aplicaciones.

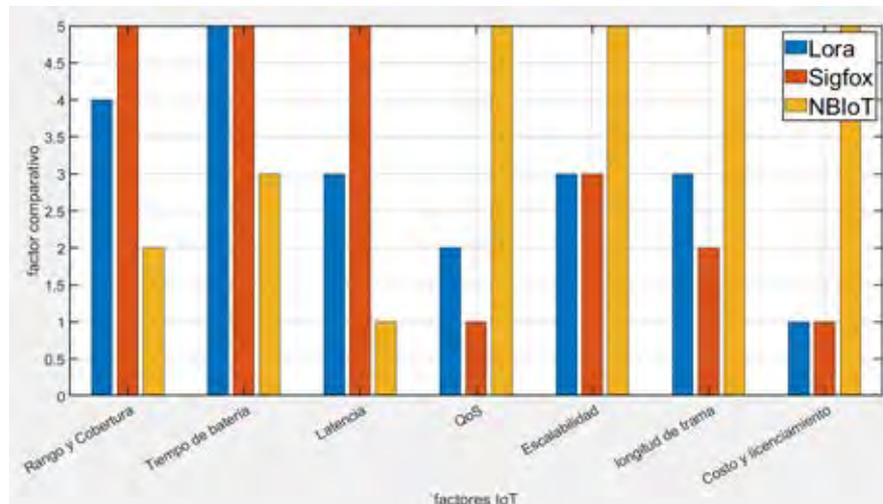
Costo y licenciamiento

NBIoT no tiene un modelo de red establecido, ya que utiliza o comparte infraestructura de red LTE, mientras que Sigfox y LoRa son tecnologías actualmente en comercialización y que poseen diferentes aplicaciones alrededor del mundo. Una de las ventajas significativas de los ecosistemas LoRa es la flexibilidad, ya que admiten desarrollos locales, utilizando Gateways LoRa, y desarrollos públicos usando estaciones bases. Este modelo híbrido permite tener mejor acogida en campos industriales. Para proyectar el costo en una red LPWAN, es necesario entender la necesidad de pagar o no por el espectro donde se usa, la estación base a utilizar y el costo de un nodo en particular. NBIoT utiliza el espectro licenciado, el mismo que tiene un costo dependiendo la cantidad de ancho de banda a utilizar en su respectivo país. LoRa y Sigfox utilizan una banda no licenciada por lo que no hay costos por la utilización del espectro. Adicionalmente, el costo por estación base o Gateway Sigfox es mayor a un Gateway Lora, ya que existen en la actualidad gateways de bajo presupuesto para desarrollo que se conectan con hardware ya existente como la Raspberry Pi. Finalmente, están las estaciones base NBIoT, cuyo costo excede a otras tecnologías debido a la necesidad de establecer una red celular LTE para su uso. En cuanto a los nodos o dispositivos finales, el costo entre LoRa o Sigfox es muy similar, siendo los dispositivos NBIoT los más costosos en el mercado (Luis F. Ugarte, 2019) (Juha Petäjärvi, 2015).

Figura 2 muestra una sinopsis de cada tecnología versus su factor IoT mencionado. La tecnología LoRa es presentada en color azul, Sigfox en color naranja y NBloT en amarillo. Cada uno de estos parámetros permiten tener una mejor imagen global con respecto a la aplicación que se desee realizar.

Figura 2

Comparación entre factores IoT



Metodología

Una red basada en dos nodos fue establecida dentro del campus Gustavo Galindo Velasco o Prosperina de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Uno de estos fue colocado de forma estática en la parte superior del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC). Para la identificación del nodo estático, se atribuyó un nombre conforme a la ubicación de la facultad donde se encuentra. Nodo FIEC fue el nombre elegido, y su ubicación geográfica viene referenciada con -2.144914 de latitud y -79.967758 de longitud. La Figura 3 muestra en vista aérea las instalaciones de la ESPOL, georreferencia la ubicación del nodo estático FIEC y de los puntos donde fueron tomadas las pruebas.

La altura del Gateway FIEC, con respecto a la superficie del terreno de la universidad, es de 22 metros.

El otro nodo fue utilizado como un nodo móvil, con movimiento dentro del área de cobertura del nodo estático tanto en ambientes abiertos, como en ambientes cubiertos por vegetación, esto debido al entorno encontrado durante el recorrido y toma de mediciones, el mismo que empezaba en un lugar denso y cubierto por vegetación, hasta un lugar más abierto, en ciertos casos obstruido por edificios. La elevación del nodo móvil fue de 0.70 metros sobre la superficie de la universidad, para simular un ambiente real.

Para cada punto de medición móvil, se utilizó una unidad de GPS diferencial para establecer la correcta ubicación del punto. Todas las mediciones se realizaron a una frecuencia de 915 MHz, con un ancho de canal de 20 kHz y un factor de esparcimiento de 10. Para esta investigación se tomaron mediciones en 22 puntos diversos, diferenciados por circuitos, uno llamado FIEC (dentro de la vegetación) y el otro circuito llamado FCNM, por la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la ESPOL, en campo abierto/suburbano mostrado en las Figuras 4(a) y 4(b), respectivamente. En cada punto de medición georreferenciado se

establecieron 100 muestras, de las cuales se calculó el RSSI promedio y el SNR. Las ganancias utilizadas para las antenas fueron de 3 dBi para el nodo estático y 0 dBi para el nodo móvil. El valor de la intensidad de señal recibida (RSSI) fue utilizado para hallar el gradiente (pendiente) del modelo, mientras que el valor de potencia recibida fue utilizado para la estimación de la pérdida por propagación (pathloss) en cada punto de medición.

Figura 3

Ubicación en mapa del nodo estático FIEC

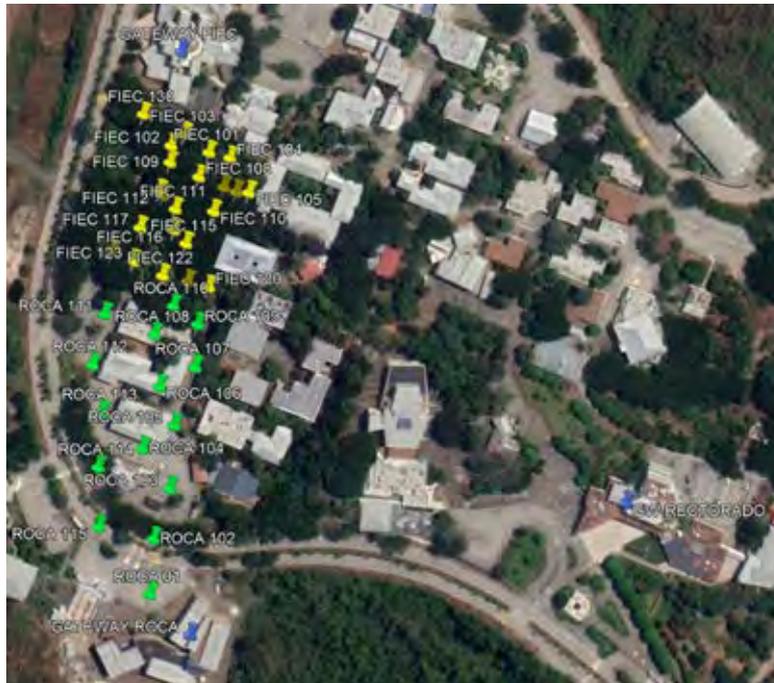
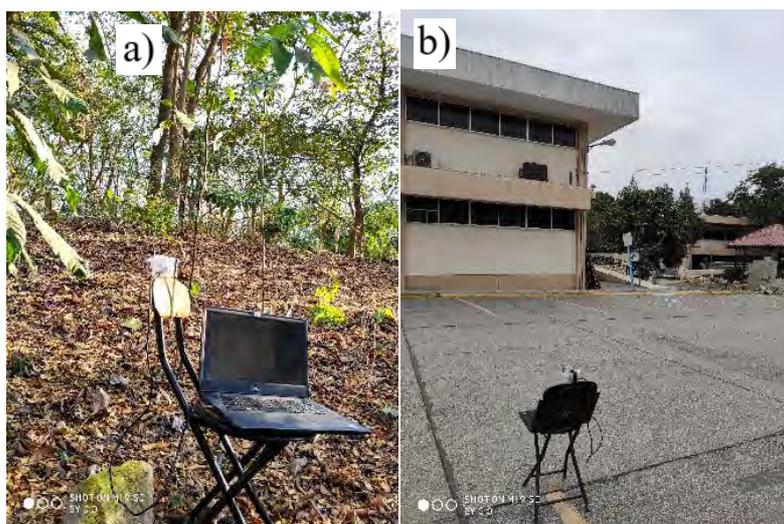


Figura 4

Ambientes de medición: a) Circuito FIEC (con vegetación) b) Circuito FCNM (abierto/suburbano)



La pérdida por propagación puede ser definida como la distancia entre la potencia transmitida en función de la recibida, usualmente expresada en decibelios. La ecuación para el análisis de regresión de los mínimos cuadrados (LS) es:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

Donde, d_0 es el punto de referencia a 1 metro de distancia del nodo, y n es conocido como el exponente de pérdida de propagación. Los valores de PL son expresados en decibelios. Para el cálculo de la pérdida en espacio libre (FSL) n es igual a dos. La importancia del valor de n es la rapidez con la que decae la potencia con respecto a la distancia.

Para la obtención de un modelo estadístico significativo utilizando el método de regresión de los cuadrados mínimos, se juntaron mediciones con ambientes similares. No se incluye una discriminación con los puntos que tienen línea de vista y los que no (LOS & NLOS).

Modelos empíricos

Los resultados del modelo gradiente obtenido, utilizando el método de regresión de los mínimos cuadrados, será comparado con otros modelos empíricos aceptados en la actualidad. Se evaluarán tres modelos conocidos, modelo COST-231 Hata, modelo Oulu y el modelo Dortmund (V.S. Abhayawardhana, 2005). Adicionalmente se tomará como guía la pérdida en espacio libre (FSL).

Modelo por pérdidas en espacio libre (FSL)

Modelo que sirve como guía para nuestro análisis, basado en un cálculo puramente analítico, el FSL (ecuación de Friis) se calcula:

$$PL(FSL) = 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) + 32.45 \quad (2)$$

Donde d es la distancia en km, f es la frecuencia de operación del sistema expresada en MHz, y las unidades del modelo son en decibelios (dB).

Modelo Cost-231 Hata

Modelo altamente usado para predecir pérdidas por propagación en sistemas inalámbricos. Es un modelo basado en el modelo Okumura-Hata (Commission), 1999), pero con un factor de corrección indicado para trabajar en un rango de frecuencias entre 500 MHz y 2000 MHz. Este factor de corrección se aplica para ambientes urbanos, sub-urbanos y rurales, dependiendo el caso. La ecuación básica para la pérdida de propagación con este modelo, viene dada por:

$$PL(Cost) = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - ah_r + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + cm \quad (3)$$

Donde, f es la frecuencia en MHz, d es la distancia en km y h_b es la altura de la antena estática sobre el nivel del suelo, en metros. El parámetro cm es igual a 0 dB para ambientes sub-urbanos o abiertos; mientras que toma el valor de 3 para ambientes urbanos. El parámetro ah_r , viene definido para ambientes urbanos (Hata, 1980), como:

$$ah_r = 3.20(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97; f > 400MHz \quad (4)$$

Y para ambientes abiertos o sub-urbanos,

$$ah_r = (1.1\log_{10}(f) - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}(f) - 0.8) \quad (5)$$

Donde, h_m es la altura de la antena del nodo móvil sobre el nivel del suelo (Anderson, 2003).

Coefficiente de Regresión

Basados en la ecuación 1, se derivan dos modelos que son el modelo de la ciudad de Oulu (Finlandia) y el modelo de la ciudad de Dortmund. Para el modelo Oulu se tiene un $PL(d_0) = 128.95$ dB con un valor de $n = 2.32$. Para el modelo de Dortmund se tiene $PL(d_0) = 132.25$ dB con un valor de $n = 2.65$, donde n corresponde al gradiente distancia-potencia.

Resultados y discusión

Figura 5 muestra cada punto medido dentro de las instalaciones de la ESPOL, se los ha referenciado con nombres pertenecientes a circuitos tomados en las facultades correspondientes como son FIEC (color verde) y FCNM (color rojo). Se ha propuesto un modelo de pendientes múltiples debido a los diferentes ambientes que presenta el área de medición. Los puntos FIEC representan un ambiente cubierto por vegetación, mientras que los puntos FCNM representan un ambiente abierto/suburbano. Basado en estos resultados, el valor de la pendiente de los puntos FIEC es -45.623 dBm/m; mientras que, la pendiente de los puntos FCNM es -58.264 dBm/m.

Figura 5

Mediciones del RSSI

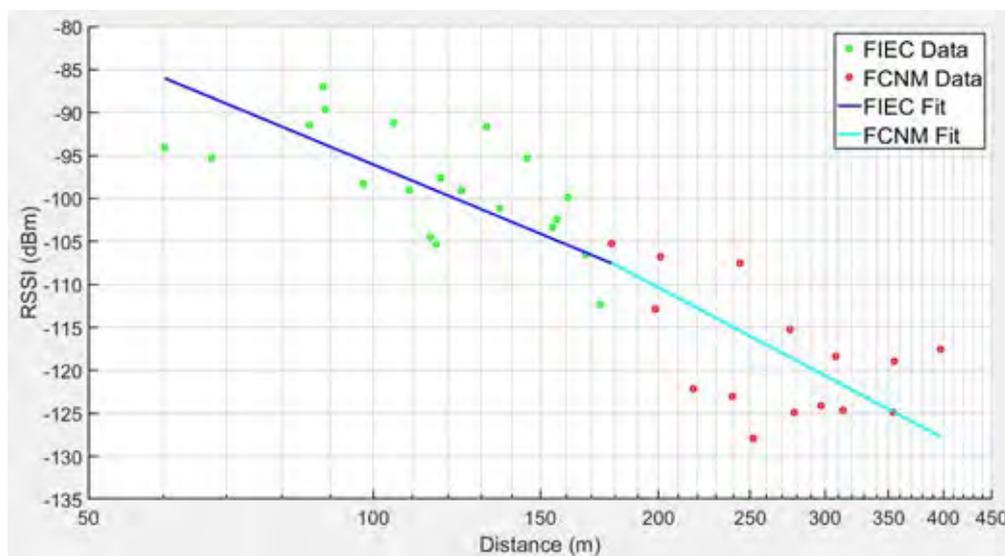
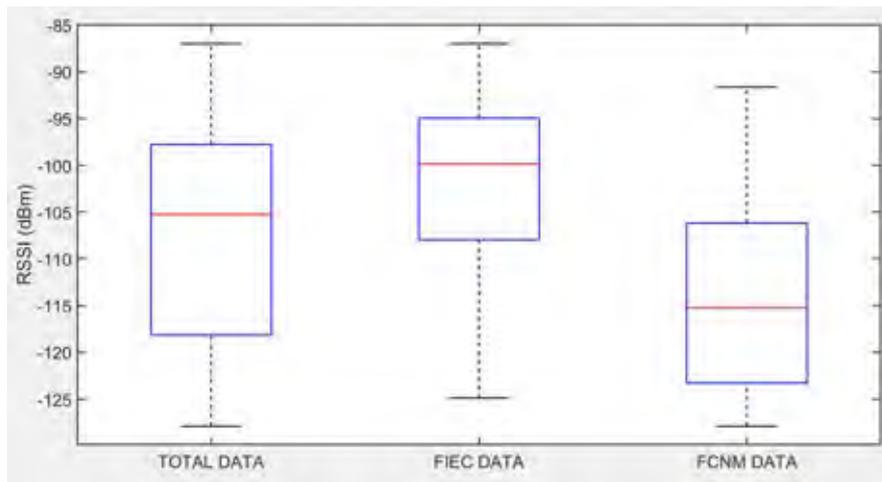


Figura 6 muestra la dispersión entre los datos, a través de un diagrama de cajas, donde se observa la variabilidad debido a los ambientes donde fueron tomados. Se observa que la media del RSSI de los datos FIEC se encuentra en -98 dBm, con una predominancia de valores en el rango de -93 a -103 dBm. Para los datos FCNM se tiene una media del RSSI igual a -120 dBm, con un rango de datos comprendidos entre -114 a -125 dBm. Con este antecedente, se opta por la obtención de un modelo de gradiente múltiple para las pérdidas por propagación del modelo LoRa.

Figura 6

Dispersión de datos según el ambiente



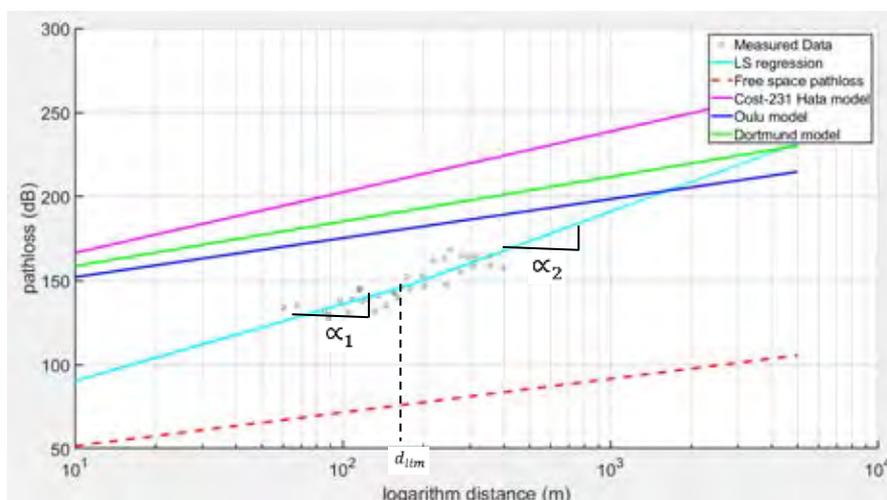
Basado en la intensidad de la señal recibida (RSSI), el cálculo de la pérdida por propagación viene dada por la fórmula:

$$PL(RSSI) = |RSSI| + SNR + P_{TX} + G_{RX} \quad (6)$$

Donde, SNR representa la medida señal-ruido captada por el dispositivo, P_{TX} es la potencia efectiva isotrópica irradiada, G_{RX} representa la ganancia de la antena usada en la recepción (Juha Petäjäjärvi, 2015). Figura 7 muestra el modelo de pérdida por propagación obtenido de las mediciones (línea cian), junto con sus dos gradientes $\alpha_1 = 4.56$ para zonas cubiertas con vegetación y $\alpha_2 = 5.83$ para espacios abiertos y/o suburbanos. Adicionalmente, se presenta en línea entrecortada roja el modelo de espacio libre, para tenerlo como referencia. Es importante recalcar que los resultados mostrados corresponden a la conexión de bajada (downlink) del nodo móvil, dada por el intercambio de paquetes entre nodos. También se muestran los modelos de Cost-231 (línea rosa), modelo Oulu (línea azul) y modelo Dortmund (línea verde).

Figura 7

Comparación de modelos por pérdidas en propagación



El modelo resultante obtenido viene dado por la ecuación:

$$PL_M = PL_0 + \begin{cases} 10 \alpha_1 \log_{10}(d); & d < d_{lim} \\ 10 \alpha_2 \log_{10}(d); & d > d_{lim} \end{cases} \quad (7)$$

Donde, PL_0 corresponde a la pérdida de propagación de la señal recibida, dada por (6). α_1 y α_2 son los gradientes obtenidos, d es la distancia en metros y $d_{lim} = 178.5$ metros.

Basado en el resultado del modelo obtenido, se calculó la desviación estándar σ_M que existe, debido al debilitamiento por sombra (SF) para cada ambiente.

La Tabla 2 muestra el valor del gradiente obtenido para cada ambiente junto con su desviación estándar por debilitamiento de sombra.

Tabla 2

Desviación estándar de modelos para ambientes diferentes

Ambiente	“n” o “α”	σ_M (dB)
Con vegetación (FIEC)	4.56	5.1046
Abierto (FCNM)	5.83	6.5246

Se puede observar que el modelo empírico adoptado para comunicaciones inalámbricas COST-231 posee un mayor gradiente que el resto de modelos empíricos. El modelo obtenido en la ESPOL posee una divergencia con respecto a los modelos Oulu y Dortmund, debido a las condiciones físicas en que fueron tomados, ya que los dispositivos móviles se encontraban a diferentes alturas; adicionalmente, la presencia de edificios, zonas verdes que provocaban la ausencia de línea de vista en la mayoría de las mediciones y la variación del terreno.

Para la obtención de una métrica de comparación de las mediciones adquiridas, se calculó el error porcentual promedio “e”, de los métodos en estudio de este artículo, mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3

Error porcentual medio con respecto a modelo obtenido para distancias entre 10 a 5000 metros

Modelo	$e = \frac{1}{N} \sum_{d=10}^{5000} \frac{ PL_M(d) - PL_{modelo}(d) }{PL_M(d)} \times 100$
FSL	52.90 %
Oulu	6.02 %
Dortmund	6.85 %
Cost-231	21.03 %

Conclusiones

Este artículo propone un modelo empírico de propagación que se evalúa con mediciones realizadas dentro del campus Prosperina de la ESPOL. Se obtiene un modelo de gradiente múltiple debido a la presencia de zonas con vegetación y zonas abiertas.

Con los resultados obtenidos a través de mediciones y comparación de modelos, el modelo Oulu presenta menor error porcentual medio “e”, con respecto al modelo de gradiente múltiple obtenido, como se muestra en la Tabla 3, en un rango de distancias comprendido entre 10 a 5000 metros.

La variación en las mediciones con los demás modelos se atribuye a la irregularidad que se tiene en el campus de la ESPOL y a la línea de vista existente o no al momento de realizarlas. Para futuras investigaciones se recomienda la utilización de circuitos en otras direcciones para tener un modelo más preciso sobre la pérdida de propagación dentro de este campus, y complementar el modelo gradiente para un ambiente cubierto de vegetación y otro al aire libre.

El ambiente cubierto por vegetación presenta un gradiente (pendiente) menor a las mediciones realizadas en espacio abierto en la FCNM, esto es debido a que existe mayor distancia, y la mayoría de puntos no poseen línea de vista.

Los modelos propuestos se desarrollan empleando una frecuencia de 915 MHz, que es la que utiliza el estándar LoRa, para futuras investigaciones se puede establecer un modelo con otra tecnología LPWAN como Sigfox, ya que trabaja en la misma banda no licenciada, para establecer diferencias y comparación entre modelos.

Otro aspecto importante de esta investigación es que se realiza en la estación climática de invierno, con días soleados, por lo que posiblemente otros factores como la temperatura, horario e incluso estación de verano, podrían afectar el modelo propuesto.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por CEDIA, a través del Grupo de Trabajo de IoT y Ciudades Inteligentes.

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) por la prestación y pronta gestión de permisos para acceder y hacer uso de sus instalaciones.

Referencias

- Anderson, H. R. (2003). *Fixed Broadband Wireless System Design*. Wiley.
- Ayanle I. Ali, S. Z. (2019). *ZigBee and LoRa based Wireless Sensors for Smart Environment and IoT Applications*. Global Power, Energy and Communication Conference. Cappadocia.
- Commission), D.-G. f. (1999). *Digital mobile radio towards future generation systems*: Final Report. EUR.
- Elmustafa Sayed Ali Ahmed, M. E. (2019). Internet of things in Smart Environment: Concept, Applications, Challenges, and Future Directions. *World Scientific News*.
- Gutierrez, S. M. (2019). *Smart Mobile LoRa Agriculture System based on Internet of Things*. IEEE 39th Central America and Panama Convention.
- Hata, M. (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. En *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (págs. 317-325). IEEE.
- Hendrik Linka, M. R. (2018). *Path Loss Models for Low-Power Wide-Area Networks: Experimental Results using LoRa*. VDE ITG-Fachbericht Mobilkommunikation. Osnabrück.

- Juha Petäjäjärvi, K. M. (2015). *On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology*. 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST). Copenhagen, Denmark.
- Kais Mekki, E. B. (2018). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT. En *ICT Express*.
- Luis F. Ugarte, M. C. (2019). *LoRa Communication as a Solution for Real-Time Monitoring of IoT Devices at UNICAMP*. International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST).
- Massimo Ballerini, S. T. (2020). *NB-IoT vs. LoRaWAN: An Experimental Evaluation for Industrial Applications*. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- Oratile Khutsoane, B. I.-M. (2017). *IoT Devices and Applications based on LoRa/LoRaWAN*.
- Philip J. Basford, F. M.-C. (2020). LoRaWAN for Smart City IoT Deployments: A Long Term Evaluation. En *Sensors*.
- Usman Raza, P. K. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- V.S. Abhayawardhana, I. W. (2005). *Comparison of empirical propagation path loss models for fixed wireless access systems*. 2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference. Stockholm, Sweden.
- Wael Ayoub, A. E.-C. (2020). Media Independent Solution for Mobility Management in Heterogeneous LPWAN Technologies. *Computer Networks*.

Análisis comparativo de Métodos de Consenso sobre plataformas Blockchain

Comparative analysis of Consensus Methods on Blockchain platforms

Ximena Campaña Iza¹ <https://orcid.org/0000-0001-5929-2085>, Xavier Zumba Sampedro¹ <https://orcid.org/0000-0002-8292-5490>, Mario Raúl Morales³ <http://orcid.org/0000-0002-7493-8072>, Santiago Morales Cardoso¹ <http://orcid.org/0000-0002-3833-9654>

¹*Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador*
xmcampana@uce.edu.ec, wxzumba@uce.edu.ec, smorales@uce.edu.ec

³*Universidad de Alicante, Alicante, España*
mrmml17@alu.ua.es

Enviado: 2021/06/29
Aceptado: 2021/09/28
Publicado: 2021/11/30

Resumen

En la presente investigación se plantea realizar un análisis comparativo entre los diferentes métodos de consenso existentes, los cuales son los encargados de registrar, validar y realizar transacciones dentro de la tecnología Blockchain. Se identifica la presencia de propiedades consideradas como esenciales para su aplicabilidad y eficacia. Se considera características relevantes que permitan determinar cuál o cuáles de los diferentes métodos de consenso ayudan a mejorar problemas de escalabilidad o seguridad que tiene, hasta el momento, esta tecnología en cada plataforma. Se determina el valor de cada una de las características y posteriormente se asigna ponderaciones. Cada una de las características consideradas para la comparación no poseen la misma relevancia, por lo cual, se realiza una nueva ponderación que permite obtener resultados de acuerdo al valor e importancia de éstas en cada uno de los protocolos. Finalmente, se determina que los protocolos con mejores características son Tolerancia Delegada de Fallas Bizantinas, Prueba de Participación Delegada y Prueba de Trabajo; siendo Tolerancia Delegada de Fallas Bizantinas el mejor método por realizar 10.000 transacciones por segundo con baja latencia y un bajo consumo de recursos, entre las características más relevantes.

Palabras clave: criptomoneda, cadena de bloques, tecnología primaria, métodos de consenso, minería.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Campaña, X., Zumba, X., Morales, M., & Morales, S. (2021). Análisis comparativo de Métodos de Consenso sobre plataformas Blockchain. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 25-42. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/articulo/view/828>

Abstract

A comparative analysis between different existing methods for registering, validating, and carrying out transactions within Blockchain technology was performed in this research. Properties considered essential because of their applicability and efficacy were identified. Relevant characteristics to determine which of the different consensus methods help improve scalability or security problems that this technology has, so far, in each platform, were considered. These characteristics do not have the same importance. Therefore, a new score that allows obtaining results according to the value and relevance of its protocols was introduced. The protocols with the best characteristics were: Delegated Tolerance of Byzantine Faults, Delegated Proof of Participation, and Proof of Work; being Delegated Tolerance of Byzantine Faults, the best method to, among the most relevant characteristics, carry out 10000 transactions per second with low latency and low resource consumption.

Keywords: criptocurrency, blockchain, primary technology, consensus methods, mining.

Introducción

Blockchain (BC) o cadena de bloques es considerada una tecnología primaria (Conti, Kumar, Lal, & Ruj, 2018) y, definida como la aplicación principal de las criptomonedas que permite la inmutabilidad e integridad de los datos (Mora et al., 2021). Se conoce como un libro de contabilidad distribuido para registrar transacciones, mantenido por varios nodos sin autoridad central mediante un método criptográfico distribuido (Cachin & Vukolić, 2017).

BC tiene numerosos beneficios como descentralización, persistencia, anonimato y auditabilidad. Varios estudios se centran en el uso de la tecnología Blockchain en diversos aspectos de aplicación que va desde las criptomonedas, servicios financieros, gestión de riesgos, internet de las cosas (IoT) hasta servicios públicos y sociales. BC fundamenta la validez de las transacciones mediante mecanismos conocidos como Métodos de Consenso. La presente investigación tiene como objetivo comparar los Métodos de Consenso sobre Plataformas Blockchain a través de la identificación de sus principales características para garantizar el aprovechamiento óptimo de los mismos. Adicionalmente, la novedad que presenta este trabajo radica en la evaluación de Métodos de Consenso de acuerdo con la eficiencia que presentan y su aplicabilidad en distintos campos.

En los siguientes párrafos se revisan varios conceptos utilizados a lo largo del presente trabajo.

Criptomoneda

Conocidas como una clase de activos en crecimiento (Grobys et al., 2019) o monedas digitales que dependen de algoritmos criptográficos para proporcionar a los usuarios un medio de intercambio seguro, creación de dinero y transacciones. Definidas legalmente como "monedas digitales convertibles" o como un "equivalente digital de efectivo" (Papadopoulos, 2015).

Bitcoin es la criptomoneda más conocida que registra sus transacciones monetarias en tecnología BC (Swan, 2018); se trata de un sistema de pago electrónico criptográficamente seguro, basado en el esquema de clave pública (Conti et al., 2018). Es la primera aplicación desarrollada con tal tecnología y se piensa que fue creada en 2008 por Satoshi Nakamoto (Islam et al., 2019). La escalabilidad es una de sus desventajas, lo que ocasiona que se torne lenta (Mora et al., 2019); no obstante, usa un mecanismo conocido como *Lightning Network* que proporciona pagos ágiles fuera de la cadena (Zhang & Lee, 2019).

Actualmente es la criptomoneda más exitosa y ha impulsado la creación de nuevas monedas digitales que mantienen el concepto de descentralización (Conti, Kumar, Lal, & Ruj, 2018) tal como Ethereum, Ripple, Litecoin, Dash, NEM, Stellar y NEO (Ruozhou et al., 2019).

Cadena de bloques

BC permite la inmutabilidad e integridad de los datos en los que se mantiene un registro de las transacciones (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018). Es una base de datos distribuida o libro de contabilidad distribuido controlado por múltiples entidades (Cachin & Vukolić, 2017) y es resistente a la manipulación (Salimitari & Chatterjee, 2019), lo cual brinda resistencia a la censura, es decir, ninguna autoridad central puede impedir que una de las partes realice negocios en la red (Swan, 2018) y, todas las personas pueden compartir y acceder (Salimitari & Chatterjee, 2019). Las transacciones son registradas cronológicamente en el libro mayor (Swan, 2018); mientras más larga sea la cadena, más complicado será falsificarla (Tahar et al., 2018).

Se resume a BC como un sistema que ofrece servicios confiables a un conjunto de nodos o mineros que no confían plenamente entre sí o, como un protocolo distribuido seguro (Cachin & Vukolić, 2017) basado en un método de consenso para ponerse de acuerdo sobre los nuevos datos (Salimitari & Chatterjee, 2019) como la transferencia segura de instancias únicas de valor mediante internet para mantener la integridad y autenticidad de documentos (Swan, 2018).

Una característica principal de BC es la intervención de mineros o nodos que validan y agrupan transacciones en bloques y posteriormente los agregan a la cadena (Islam et al., 2019). En la actualidad BC tiene mayor apertura (Morales et al., 2020) y conduce a una gran cantidad de nuevos métodos de consenso (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018). Existen tres tipos de BC: i) públicos, que son descentralizados, ii) privados, el acceso depende de un tercero, iii) consorcio, son cadenas híbridas entre las dos anteriores (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Mineros

Son personas o grandes empresas que poseen poder de cómputo limitado (Islam et al., 2019), no necesitan de una autenticación previa para unirse a la red (Conti et al., 2018) y son los encargados de efectuar métodos de consenso en un sistema BC (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018). Cada uno de los mineros almacena una copia local de BC y reciben recompensas para garantizar que la cadena se mantenga con honestidad (Conti et al., 2018). El proceso de registrar un nuevo bloque a la cadena se denomina minería (Fairley, 2017). Un bloque obtiene más credibilidad cuando se construyen sobre él más bloques (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Los nodos o mineros pueden comportarse de manera maliciosa originando el Problema del General Bizantino (Swan, 2018) y pueden afectar la comunicación en la red (Cachin & Vukolić, 2017). Estos nodos maliciosos reciben el nombre de fallas bizantinas (Gramoli, 2017). Para evitar este comportamiento y garantizar un servicio continuo, los mineros ejecutan un protocolo o método de consenso tolerante a fallas (Cachin & Vukolić, 2017).

Método de consenso

BC se actualiza cuando hay un acuerdo utilizando un método de consenso (Swan, 2018). Los métodos o protocolos de consenso son la columna vertebral o núcleo de cualquier aplicación BC (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018). Un sistema basado en BC es tan seguro y robusto como su método de consenso y, la elección de un método está basada en los requisitos que un sistema necesita para ser implementado (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Los protocolos de consenso aseguran que el libro mayor sea compartido e inalterable durante toda su vida (Nawari & Ravindran, 2019), evita eliminar registros o agregar información que no haya sido validada, garantizando de esta forma su integridad; verifica la continuidad del servicio siendo tolerante a fallas para asegurar que los mineros estén de acuerdo con el orden que se agregan las entradas en la BC (Conti et al., 2018), siendo el orden único los mineros incorporan bloques a la cadena actualizando de esta manera el libro mayor distribuido (Cachin & Vukolić, 2017).

El consenso se determina como un acuerdo general entre todos los nodos del estado actual del libro mayor (Swan, 2018) y la efectividad de un protocolo de consenso depende también del rendimiento y estabilidad de la red, comúnmente necesitan de altos cálculos computacionales y capacidades de comunicación (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Según (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018) existen propiedades claves para definir la aplicabilidad y eficacia de los protocolos de consenso:

- Seguridad: garantiza que no suceda algo anormal. Un algoritmo de consenso es seguro si por lo menos un minero honesto produce una salida válida, luego los demás mineros reciben la misma salida.
- Validez: un algoritmo de consenso confirma la validez si todos los mineros honestos que intervienen en un acuerdo generan un valor y todas las peticiones válidas se procesarán eventualmente.
- Tolerancia a fallas: un método de consenso ofrece tolerancia a fallas si es resistente a errores que producen algunos nodos que intervienen en un consenso en un momento dado.

En los siguientes párrafos se describen los principales métodos de consenso analizados.

Prueba de trabajo

Proof of Work (PoW) está basado en un complejo y criptográfico rompecabezas matemático (Conti et al., 2018), difícil de calcular pero fácil de verificar por un patrón de poder (Nawari & Ravindran, 2019); es descentralizado por lo cual los participantes no necesitan autenticación para unirse a la red (Conti et al., 2018). Asegura la continuidad de la red y tolerancia a fallas (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018), brindando así transparencia, robustez, incorruptibilidad de la red (Nawari & Ravindran, 2019) y un alto nivel de seguridad (Young, 2019) a los usuarios contra ataques Sybil que podrían dañar el funcionamiento del método de consenso y conducir a un posible ataque de doble gasto (Conti et al., 2018).

La mayor desventaja de PoW es el consumo de energía al realizar los cálculos hash para la verificación en el proceso de minería, la que a su vez depende de la potencia de los recursos informáticos de un minero. Es susceptible a sufrir ataques del 51%, una situación en la que un adversario aparta a los mineros honestos del proceso minero, lo cual debilita el protocolo de consenso (Conti et al., 2018). Es el algoritmo más conocido utilizado por Bitcoin que posee 1 MB de tamaño de bloque, tiempo promedio para resolver cada bloque de 10 minutos (Salimitari & Chatterjee, 2019), es computacionalmente costoso y permite realizar 7 transacciones por segundo (TPS) (Frumkin, 2019). También es usado por las monedas virtuales Ethereum y Litecoin (Fairley, 2017). Existen métodos de consenso basados en PoW que son mencionados a continuación (Salimitari & Chatterjee, 2019):

- **Prueba de capacidad**

Proof of Capacity (PoC) es similar a PoW, fue presentado como un protocolo básico de la criptomoneda Burst. En lugar de depender de la potencia informática de los mineros, se basa en su capacidad de disco duro, lo cual lo convierte en un método de consenso más eficiente energéticamente. La función hash que utiliza este método de consenso es Shabal, donde, los hash son complejos y lentos de calcular y, además están precompuestos y almacenados en la unidad de disco duro (Porta, 2019).

- **Prueba de tiempo transcurrido**

Proof of Elapsed Time (PoET), es propuesto por Intel y funciona de forma parecida a PoW pero con un consumo de energía menor. Los mineros deben resolver un hash, pero a diferencia de una competencia entre mineros por resolver el siguiente bloque, el minero ganador o líder es elegido de manera aleatoria en función de un tiempo de espera obligatorio y cuyo temporizador expira primero (Cachin & Vukolić, 2017). Posee una baja latencia y un alto rendimiento. Su desventaja es la dependencia de Intel (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Prueba de participación

Proof of Stake (PoS), es el segundo método de consenso más frecuente en BC. A diferencia de PoW no genera una competencia entre nodos, la lotería selecciona un nodo para que sea el encargado de resolver el siguiente bloque (Salimitari & Chatterjee, 2019). Este nodo es conocido como falsificador y es elegido de manera determinista, conforme a su participación en la red (Debus, 2017) o conforme a su riqueza en términos de esa criptomoneda (Swan, 2018). El nodo seleccionado usa una firma digital para demostrar su propiedad sobre la participación en lugar de resolver un problema de hash complejo, de esta forma no necesita altos recursos computacionales (Debus, 2017) y lo convierte en un método de consenso seguro (Young, 2019).

Es un protocolo de consenso de ahorro de energía al aprovechar un incentivo monetario; sin embargo, al requerir mayor cantidad de participación de nodos, ocasiona que la cadena de bloques esté centralizada (Salimitari & Chatterjee, 2019) y no necesariamente lo convierte en más eficiente que PoW (Swan, 2018). Además, se origina un problema conocido como “nada en juego” que consiste en que un nodo seleccionado no tiene nada que perder si se comporta de manera maliciosa, de forma que podría crear dos conjuntos de bloques nuevos para obtener más recompensas por las tarifas de transacción (Salimitari & Chatterjee, 2019).

En este protocolo de consenso no existe minería (Fairley, 2017) y, por lo tanto, no hay recompensa minera. Los mineros son recompensados únicamente con una tarifa de transacción (Salimitari & Chatterjee, 2019). Criptomonedas como Peercoin, Shadowcash, Nxt, Blackcoin, Cardano, entre otros, usan PoS como método de consenso (Fairley, 2017). Peercoin puede realizar 8 TPS con una latencia de 8,5 minutos; al igual que Bitcoin, posee un tamaño de bloque de 1 MB (peercoinDocs, s.f.). Cardano puede realizar hasta 250 TPS con un retardo de 10 minutos (Frumkin, 2019). Este método también presenta variaciones que se analizan seguidamente:

- **Prueba de participación delegada**

Delegated Proof of Stake o DPoS, es un método de consenso democrático representativo, es decir, todas las partes interesadas votan para elegir algunos nodos como testigos y delegados. Los nodos testigos son los responsables de crear nuevos bloques y son recompensados, mientras que los nodos delegados son los encargados de mantener la red y sugerir cambios tales como el tamaño de los bloques, tarifas de transacciones o monto de

recompensa (Salimitari & Chatterjee, 2019); si los testigos no pueden generar bloques en sus turnos, serán despedidos y reemplazados (Zhang & Lee, 2019).

DPoS mejora el rendimiento y latencia en comparación a PoS, convirtiéndolo en un protocolo de consenso de bajo costo (Zhang & Lee, 2019) y con un nivel de seguridad bajo (Young, 2019). Cuenta con mecanismos incorporados para detectar y descartar a un delegado o testigo malicioso (Larimer, 2014). Bitshares y EOS son criptomonedas que utilizan este método de consenso (Zhang & Lee, 2019). EOS puede realizar 5.000 TPS y posee una latencia de 1.5 segundos (Frumkin, 2019).

- **Prueba de participación alquilada**

Leased Proof of Stake o LPoS, pretende solucionar el problema de centralidad de PoS. Permite que los nodos con bajos saldos participen en la verificación de bloques al agregar una opción de arrendamiento permitiendo a los poseedores de riqueza con saldos más altos alquilar sus fondos a nodos con saldos bajos por un período de tiempo específico (Salimitari & Chatterjee, 2019); mientras mayor sea la cantidad arrendada a un nodo, las posibilidades de que ese nodo sea elegido para crear el siguiente bloque son mayores (CoinsTelegram, 2018). Una vez que los nodos resuelven un bloque, dividirán proporcionalmente la recompensa con los poseedores de riqueza (WavesDocs, s.f.).

- **Prueba de importancia**

Proof of Importance (PoI) se encuentra en criptomonedas como NEM (Option Finance, s.f.). Además de considerar los saldos de los nodos para resolver el siguiente bloque, toma en cuenta más factores como la reputación de un nodo que es determinado por una función definida por el sistema particular y el número de transacciones ocurridas hacia o desde ese nodo (Salimitari & Chatterjee, 2019). De esta forma todos los nodos tienen la oportunidad de ser recompensados en función de su lealtad y esfuerzo (Option Finance, s.f.). En consecuencia, este protocolo de consenso considera la actividad productiva de la red de los nodos, que es más eficiente que solo el equilibrio de los nodos (Nem, s.f.).

- **Prueba de actividad**

Proof of Activity (PoA), es un método de consenso híbrido basado en PoW y PoS, además es robusto contra ataques DDoS (Salimitari & Chatterjee, 2019). Los mineros intentan solucionar una función hash en una carrera para encontrar el siguiente bloque como se realiza en PoW; sin embargo, el bloque resuelto únicamente contendrá un encabezado y la dirección del minero sin ninguna transacción. Posteriormente, usando PoS, se agregan las transacciones al bloque y conforme con el encabezado del bloque resuelto, se selecciona un grupo de nodos validadores o mineros para firmar el nuevo bloque con el fin de llegar a un acuerdo (Zheng et al., 2018).

PoA aumenta la defensa contra los ataques del 51% debido a que el atacante requerirá tener el 51% o más del poder minero total de la red y el 51% o más de las monedas insertadas en la red para concluir con éxito el ataque (Seth, 2018).

- **Prueba de quemadura**

Proof of Burn (PoB) es un método basado en la quema de monedas o envío de monedas a una dirección irrecuperable (Salimitari & Chatterjee, 2019). Al quemar monedas los usuarios pueden mostrar su interés en la red obteniendo, de esta forma, el poder de minar y verificar las transacciones (Prasanna, 2019); los mineros tienen prioridad para resolver el siguiente bloque acorde con la cantidad de monedas que han quemado (Debus, 2017). Slimcoin es una criptomoneda que usa este método (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Métodos de acuerdo bizantino

A continuación, se presentan algunos métodos basados en el problema de los generales bizantinos:

- **Tolerancia práctica de fallas bizantinas**

Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) es un método en el que todos los nodos o mineros son confiables y conocidos (Fairley, 2017) y deben intervenir en el proceso de votación para agregar el siguiente bloque; el consenso se logra cuando más de dos tercios de los nodos están de acuerdo con ese bloque (Salimitari & Chatterjee, 2019). Para cada bloque de transacciones, el algoritmo selecciona al azar un conjunto pequeño de usuarios únicos de manera segura y justa; además oculta la identidad de estos usuarios hasta confirmar el bloqueo para protegerlos de los atacantes (Swan, 2018).

PBFT es capaz de tolerar el comportamiento malicioso de hasta un tercio de todos los nodos para permitir la continuidad de las operaciones del sistema (Fairley, 2017). En comparación con PoW, este método alcanza el acuerdo de manera más rápida y económica, no necesita tener activos similares a PoS para participar en el proceso de consenso (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Este método es apropiado para ser usado en BC privadas como Hyperledger. Debido a su escalabilidad limitada y su tolerancia relativamente baja frente a actividades maliciosas no lo hacen adecuado para BC públicas (Debus, 2017). PBFT posee un alto rendimiento, baja latencia, bajo uso de recursos computacionales y brinda seguridad (Salimitari & Chatterjee, 2019); sin embargo, puede ser vulnerable frente ataques Sybil cuando la red no posee muchos nodos (Blagojevic, 2019). Zilliqa es una criptomoneda que utiliza este protocolo y realiza 2.828 TPS (Frumkin, 2019).

- **Tolerancia delegada de fallas bizantinas**

Delegated Byzantine Fault Tolerance (dBFT) se diferencia de PBFT al no necesitar la participación de todos los nodos para agregar un nuevo bloque. En este método, algunos nodos son seleccionados como delegados de otros nodos (Salimitari & Chatterjee, 2019), cualquier nodo puede ser delegado siempre y cuando posea equipos de computación adecuados, una identidad validada y 1.000 GAS que es la recompensa que reciben por su participación en la red (Comben, 2019).

Conforme a determinadas reglas es similar al protocolo PBFT, por ejemplo, ambas admiten únicamente un tercio de nodos maliciosos. Además, dBFT puede eliminar nodos maliciosos o poco confiables de la cadena (Salimitari & Chatterjee, 2019). Una de sus características es la finalidad absoluta, es decir, al final de la última confirmación un bloque no puede ser bifurcado y, por lo tanto, una transacción no puede ser revertida. Para que un bloque sea agregado a la cadena, más de un tercio de delegados alcanzan un acuerdo y validan (Comben, 2019).

PBFT presenta una latencia promedio entre 15 y 20 segundos para la creación de bloques (Comben, 2019). NEO es una criptomoneda que utiliza este algoritmo (Zheng et al., 2018) y actualmente realiza 10.000 TPS con una latencia de 15 segundos (Frumkin, 2019).

- **Protocolo de consenso estelar**

Stellar Consensus Protocol (SCP) Se basa en una variación de PBFT conocida como tolerancia de falla bizantina federada (FBFT) y brinda servicios de microfinanzas en plataformas BC. Sus nodos llamados federados, ejecutan un protocolo de consenso local entre sus integrantes. Es descentralizado, abierto al público y tiene una latencia muy baja, unos

segundos como máximo, haciéndola similar a las transacciones web (Salimitari & Chatterjee, 2019); es el primer protocolo basado en Acuerdos Bizantinos Federados (FBA) que proporciona a los usuarios la libertad para seleccionar entre diferentes combinaciones de otros nodos en los que puede confiar para llegar a un acuerdo (Koller, 2017).

Posee un alto rendimiento, baja latencia, uso de recursos computacionales relativamente bajo (Dinh et al., 2018) y brinda seguridad aun cuando los nodos fallan o nodos maliciosos se unen a la red (Blockchain Support, 2019).

Materiales y Métodos

Esta investigación usó un método exploratorio de carácter secundario (QuestionPro, 2020). En función de los métodos de consenso existentes, se identificaron sus principales características para posteriormente realizar una comparación y determinar aquel protocolo que posee las mejores propiedades. El proceso de estudio se conformó de los siguientes pasos:

- Selección de métodos de consenso: Permitió reducir el número de protocolos de consenso analizados previamente mediante la identificación de información que sustenten las propiedades Seguridad, Validez y Tolerancia a fallas.
- Definición de criterios de análisis: Además del cumplimiento de las tres propiedades principales, se determinaron otros aspectos a evaluar para su comparación.
- Comparación de los protocolos: Se determinó cada uno de los valores para los parámetros correspondientes a los Método de Consenso.

En este último paso, adicionalmente se realizaron otras tareas:

- Estandarización de datos a valores cualitativos: Algunas características lograron mostrar valores numéricos en diferentes escalas; de tal manera, mediante criterios se transformaron los datos numéricos a valores cualitativos.
- Ponderación de características: Mediante la escala Likert se cambiaron los valores cualitativos a valores numéricos en la escala de 1 a 3, lo que permitió sumar sus valores y determinar aquel método que posee mejores características.
- Ponderación por convenio: Se consideró si todas las características tienen la misma relevancia, para lo cual, se hizo uso de ponderación por convenio, cuyo objetivo fue asignar pesos a los parámetros de acuerdo a un criterio.

Selección de Métodos de Consenso

Las principales propiedades que debe cumplir un protocolo de consenso para su aplicabilidad y eficiencia son seguridad, validez y tolerancia a fallas (Viriyasitavat & Hoonsopon, 2018), por lo cual, se descartaron los métodos en los que no se pudo validar tales propiedades.

Al analizar los protocolos para definir la presencia o ausencia de las características antes mencionadas, se determinó que los métodos que cumplieron con las tres condiciones principales fueron: Prueba de trabajo, Prueba de participación, Prueba de participación delegada, Tolerancia práctica de fallas bizantinas y Tolerancia delegada de fallas bizantinas. Para los parámetros Seguridad y Tolerancia a Fallas, se consideró la presencia de estas características aun cuando sus niveles sean bajos.

Selección de Criterios de Análisis

Existen otras características consideradas relevantes al momento de utilizar un algoritmo de consenso. En la Tabla 1 se describen las principales cualidades mencionadas en varios artículos científicos:

Tabla 1

Características de los Métodos de Consenso

CARACTERÍSTICAS	CONCEPTO
Rendimiento	Número de transacciones que se pueden procesar por unidad de tiempo.
Escalabilidad	Tamaño de una red blockchain, es decir, el número de usuarios que puede aceptar.
Disponibilidad	Muestra la accesibilidad de los mineros a la red.
Latencia	Indica la cantidad de tiempo que tardan los mineros en llegar a un acuerdo, es decir, el tiempo de transacción.
Consumo energético	La cantidad de recursos computacionales usados por los métodos de consenso.
Descentralización	Nivel de acceso a la información para todos los nodos o mineros.
Tamaño de bloque	Su valor depende de la estructura de la cadena de bloques.
Generación de bloques	Persona encargada de agregar el siguiente bloque a blockchain.
Nivel de seguridad	Garantía que los datos no sean alterados o modificados.
Tolerancia a fallas	Resistencia a errores producidos por nodos maliciosos.

Comparación de los Métodos de Consenso

En características tales como rendimiento, latencia, tamaño de bloque y tolerancia a fallas se identificó su valor real; sin embargo, el resto de cualidades únicamente fueron representadas por una valoración cualitativa como Alto, Medio o Bajo como es el caso de escalabilidad, consumo energético, descentralización y nivel de seguridad. En el caso del parámetro disponibilidad se consideró la facilidad de acceso al libro mayor que puede ser público o privado. En la característica generación de bloque los valores posibles fueron: cualquier persona, elección de representante y miembro autorizado. En la Tabla 2 se detalla cada una de las propiedades mencionadas con sus respectivos valores por cada método de consenso:

Tabla 2

Estandarización de Datos a Valores Cualitativos

CARACTERÍSTICA	PoW	PoS	DPoS	PBFT	dBFT
Rendimiento	7 TPS	250 TPS	5.000 TPS	2.828 TPS	10.000 TPS
Escalabilidad	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
Disponibilidad	Pública	Pública	Pública	Privada	Privada
Latencia	10 min.	10 min.	1.5 seg.	No disponible	15 seg.
Consumo Energético	Alto	Medio	Medio	Bajo	Medio
Descentralización	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
Tamaño de bloque	1 MB	1 MB	No disponible	No disponible	No disponible
Generación de Bloques	Cualquier persona	Cualquier persona	Elección de representante	Miembro Autorizado	Miembro Autorizado
Nivel de seguridad	Alto	Alto	Relativamente bajo	Relativamente bajo	Medio
Tolerancia a fallas	<51% de mineros maliciosos	<51% de mineros maliciosos	<51% de mineros maliciosos	1/3 de mineros maliciosos	1/3 de mineros maliciosos

Estandarización de datos a valores cualitativos

A base de los valores cuantitativos obtenidos en las variables rendimiento, latencia, tamaño de bloque y tolerancia a fallas, se transformaron a valores cualitativos Alto, Medio o Bajo simulando una escala de Likert (McLeod, 2019).

En el caso de la variable tamaño de bloque, se ha mostrado su valor únicamente en Prueba de Trabajo y Prueba de Participación, siendo en ambos casos 1 MB, por lo tanto, su valoración cualitativa está dado por la ausencia o presencia de esta característica.

En la Tabla 3 se observa los valores cualitativos asignados para su posterior comparación. En las características que no ha podido determinarse su valor se visualizará “No disponible”.

Tabla 3

Valores Cualitativos

CARACTERÍSTICA	ESCALA	VALOR CUALITATIVO
Rendimiento	$\geq 5.000 - < 10.000$	Alto
	$\geq 2000 - < 5000$	Medio
	$> de 1 - < 2000$	Bajo
Latencia	$\geq 5 \text{ min}$	Alto
	$\geq 15 \text{ seg.} - < 60 \text{ seg}$	Medio
	$< 15 \text{ seg}$	Bajo
Tolerancia a Fallas	$< de 51\%$ de nodos maliciosos	Bajo
	$1/3$ de nodos maliciosos	Alto
Disponibilidad		Público
		Privado
Tamaño de Bloque		Valor Presente
		Valor no Disponible

Ponderación de características

Para analizar de mejor manera los resultados e identificar qué protocolos son aquellos que cumplen con los mejores estándares en cada una de las características, conforme a la escala de Likert se puede asignar más o menos puntos (Palacios, 2002) de acuerdo a la descripción cualitativa que poseen; por lo tanto, en la Tabla 4 se determina la siguiente ponderación:

Tabla 4

Valores Cuantitativos

VALOR CUALITATIVO	PONDERACIÓN
Alto	3
Medio	2
Bajo	1
Público	2
Privado	1
Valor Presente	1
Valor no Disponible	0
Cualquier persona	3
Elección representante	2
Miembro autorizado	1

Nota: Para las variables latencia y consumo de energía estos valores varían, mientras menor tiempo o consumo posea, es mejor. Alto equivale a 1, Medio 2 y Bajo 3.

Ponderación por convenio

De acuerdo a (Palacios, 2002), los autores consideran que cada una de las características analizadas no poseen la misma relevancia; los pesos asignados se observan en la Tabla 5:

Tabla 5

Ponderación por Convenio

CARACTERÍSTICA	PONDERACIÓN
Rendimiento	15%
Escalabilidad	18%
Disponibilidad	10%
Latencia	10%
Consumo Energético	5%
Descentralización	5%
Tamaño de bloque	2%
Generación de Bloques	1%
Nivel de seguridad	18%
Tolerancia a fallas	18%
TOTAL	100%

De los valores recopilados en la investigación, el valor cualitativo asignado a cada uno, el peso asignado a cada métrica cualitativa y, finalmente los resultados luego de realizar la ponderación por convenio se visualizan en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados Análisis

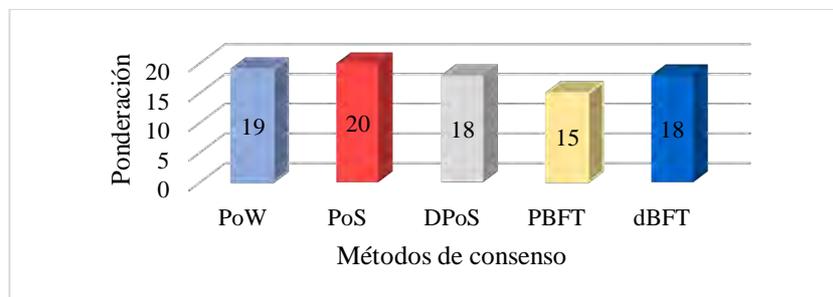
Característica	PoW			PoS			DPoS			PBFT			dBFT		
	Valor Cualitativo		Val. Pond	Valor Cualitativo		Val. Pond	Valor Cualitativo		Val. Pond	Valor Cualitativo		Val. Pond	Valor Cualitativo		Val. Pond
Rendimiento	Bajo	1	0,15	Bajo	1	0,15	Alto	3	0,45	Medio	2	0,3	Alto	3	0,45
Escalabilidad	Alto	3	0,54	Alto	3	0,54	Medio	2	0,36	Medio	2	0,36	Medio	2	0,36
Disponibilidad	Pública	2	0,2	Pública	2	0,2	Pública	2	0,2	Privada	1	0,1	Privada	1	0,1
Latencia	Alto	1	0,1	Alto	1	0,1	Bajo	3	0,3	No disponible	0	0	Medio	2	0,2
Consumo Energético	Alto	1	0,05	Medio	2	0,1	Medio	2	0,1	Bajo	3	0,15	Medio	2	0,1
Descentralización	Alto	3	0,15	Alto	3	0,15	Medio	2	0,1	Medio	2	0,1	Medio	2	0,1
Tamaño de bloque	Valor presente	1	0,02	Valor presente	1	0,2	No disponible	0	0	No disponible	0	0	No disponible	0	0
Generación de Bloques	Cualquier persona	3	0,3	Cualquier persona	3	0,3	Elección de represent.	2	0,2	Miembro Autorizado	1	0,1	Miembro Autorizado	1	0,01
Nivel de seguridad	Alto	3	0,54	Alto	3	0,54	Bajo	1	0,18	Bajo	1	0,18	Medio	2	0,36
Tolerancia a fallas	Bajo	1	0,18	Bajo	1	0,18	Bajo	1	0,18	Alto	3	0,54	Alto	3	0,54
Total Ponderación	19		1,96	20		2,01	18		1,89	15		1,74	18		2,22

Resultados y Discusión

Considerando únicamente la suma de las ponderaciones asignadas se obtiene los siguientes resultados de la Figura 1:

Figura 1

Posicionamiento de los Métodos de Consenso por su Ponderación

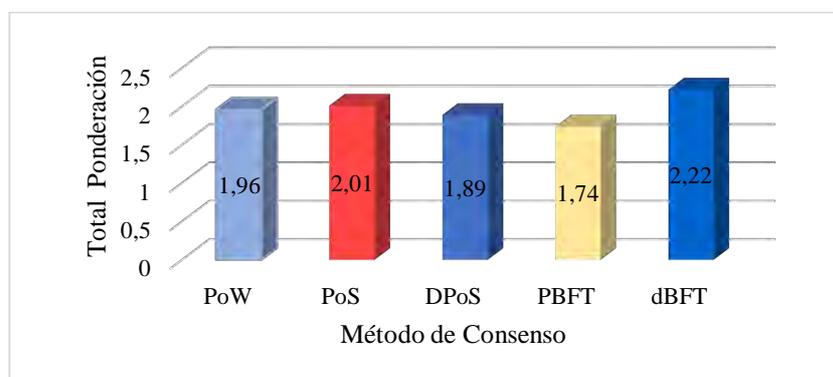


Por las características que presenta Prueba de Participación (PoS) obtiene la mejor puntuación con un total de 20 puntos. Seguido se encuentra Prueba de Trabajo (PoW) con 19 puntos. En la tercera posición está Tolerancia Delegada de Fallas Bizantinas (dBFT) con 18 puntos. Con la misma puntuación se ubica Prueba de Participación Delegada (DPoS). Finalmente, Tolerancia Práctica de Fallas Bizantinas (PBFT) obtiene 13 puntos.

Luego de asignar los pesos correspondientes considerando la relevancia de cada variable en los métodos de consenso (ver subsección Ponderación por Convenio), la Figura 2 muestra que el posicionamiento de los protocolos difiere:

Figura 2

Posicionamiento de los Métodos de Consenso por Convenio y Ponderación



En primer lugar, se ubica dBFT con un valor de 2,22 puntos. Seguido está PoS con 2,01. Con un valor no muy lejano, 1,96, se encuentra PoW. En la cuarta posición se observa a DPoS con 1,89 puntos. Por último, se visualiza que el único protocolo que no ha variado su ubicación es PBFT alcanzando un puntaje de 1,74.

En este trabajo se ha procurado obtener la mayor cantidad de información sobre los Métodos de Consenso que permita identificar su aplicabilidad en los diferentes campos. Sin embargo, existen protocolos que debido a sus características son muy usados en varias áreas como es el caso de Prueba de Trabajo que es utilizado como algoritmo criptográfico por varias plataformas como Bitcoin y Ethereum.

Una vez que se ha determinado los pesos a cada una de las características dependiendo de la importancia de las mismas en el funcionamiento de los protocolos de consenso, se identifica que el mejor resultado lo obtiene dBFT que ha incrementado significativamente las transacciones por segundo, permitiendo realizar 10.000 transacciones con una latencia de 15 segundos (Frumkin, 2019), tiene un bajo consumo de recursos; sin embargo, es un protocolo usado generalmente en BC privadas, por lo cual no todas las personas tienen acceso. Presenta mejoras en tolerancia a fallas, admitiendo únicamente un tercio de nodos maliciosos dentro de la red (Salimitari & Chatterjee, 2019).

PoS se ubica en la segunda posición, el mejoramiento que presenta es con respecto al número de transacciones que realiza por segundo en comparación a PoW y al no generar una competencia entre nodos, el consumo energético es menor; no obstante, su latencia no presenta una reducción relevante. De la misma forma mantiene la descentralización, por lo tanto, su tolerancia a fallas es baja pero su nivel de seguridad garantiza la inmutabilidad de los datos. Por otro lado, se conoce que Peercoin fue la primera criptomoneda en usar este protocolo de consenso, muestra una capitalización de mercado baja (Criptonario, 2019).

PoW es el método de consenso más utilizado; sin embargo, se posiciona en el tercer lugar al poseer un alto consumo de recursos computacionales. Entre sus principales características se conoce que brinda un alto nivel de seguridad y mantiene la descentralización que es una característica fundamental en la tecnología Blockchain. A pesar de que su latencia se encuentra en un nivel alto y su tolerancia a fallas es más baja frente a los otros métodos, es un algoritmo que posee una buena escalabilidad (Zhang & Lee, 2019). Su uso en criptomonedas ha colaborado para que éstas se encuentren en las tres primeras posiciones de la capitalización de mercado.

En la cuarta posición se encuentra DPoS. Este protocolo ha presentado mejoras con respecto al número de transacciones y su tiempo de latencia ha disminuido significativamente (Frumkin, 2019). La incorporación de un bloque a la BC está determinada por la elección a un representante reduciendo así la descentralización. Su nivel de seguridad se mantiene siendo alto con respecto a PoW pero aún los nodos pueden comportarse de manera maliciosa. Su nivel de escalabilidad no es igual que en PoS pero con referencia al consumo energético si presenta mejoras.

Finalmente, en última posición se encuentra PBFT. Aunque siendo del mismo grupo de protocolos junto con dBFT, se observa que en este método de consenso no ha sido posible determinar su valor de latencia, pero se visualiza que ha presentado mejoras en el parámetro de rendimiento (Frumkin, 2019). Este método, comúnmente es aplicado en BC con lo cual admite el comportamiento malicioso de solo un tercio de los nodos y su escalabilidad es limitada debido a que es adecuada para una red de alto rendimiento con un pequeño número de nodos (Zhang & Lee, 2019). Además, al ser usada en cadenas privadas pierde su valor de descentralización.

La primera aplicación de la tecnología Blockchain fue la moneda virtual y, la fiabilidad y seguridad de sus transacciones están determinadas por los Métodos de Consenso usados para validarlas y lograr un acuerdo para agregar un nuevo bloque a la cadena. BC brinda transparencia en la supervisión de las operaciones; sin embargo, esta transparencia puede comprometer la privacidad en particular cuando se refiere a datos personales y puede resultar beneficiosa para aquellas personas dedicadas a realizar actividades ilícitas como el lavado de dinero, venta de mercancías ilegales, delitos informáticos, etc. Actualmente, existe una carencia generalizada de leyes que regulen el comercio de criptomonedas y carteras digitales,

lo cual causa vulnerabilidades en los derechos legales de los consumidores y población en general (Mora et al., 2019).

En un futuro, es probable que la seguridad de los métodos de consenso pueda ser vulnerada debido a los avances computacionales. La intervención de la computación cuántica en este ámbito puede descubrir un método que permita vulnerar un cifrado debido a que tal tecnología podría resolver problemas que ahora resultan imprácticos con la computación tradicional (Mora et al., 2021).

Conclusiones

Se han identificado las principales características que constituyen un método de consenso, entre ellas están rendimiento, escalabilidad, latencia, seguridad y tolerancia a fallas. La fortaleza de cada una de estas características determina el mejor aprovechamiento de los protocolos de consenso.

Con el crecimiento actual de nuevas tecnologías basadas en BC, se puede aplicar en ámbitos más allá de las criptomonedas. Esta tecnología provee una forma segura y encriptada para que las transacciones no puedan ser modificadas, garantizando así la inalterabilidad e inmutabilidad de los datos. Si bien la primera aplicación de BC fue las criptomonedas, su uso se ha extendido hacia los contratos inteligentes y últimamente ha llamado la atención en ámbitos como la industria, salud, IoT, bienes raíces, entre otros.

Para que un nuevo bloque pueda ser incluido en la cadena es necesario que los nodos lleguen a un acuerdo único dentro de la red y, este acuerdo lo consiguen a través del uso de métodos o protocolos de consenso. Usualmente estos métodos de consenso son conocidos como el núcleo de cualquier aplicación basada en la tecnología *Blockchain* y su seguridad depende de estos protocolos. La importancia de estos métodos es que los diferentes nodos o mineros que participan en la red, deben poseer la capacidad de enviar mensajes entre sí con altos niveles de confianza para garantizar una comunicación segura y efectiva entre pares.

Los métodos de consenso usados con mayor frecuencia son PoW y PoS. PoW es el algoritmo usado por Bitcoin y a pesar de realizar un número bajo de transacciones por segundo posee una buena escalabilidad y un alto nivel de descentralización; además asegura la tolerancia a fallas y brinda seguridad en la red; es el protocolo de consenso que usa gran cantidad de energía al realizar complejos cálculos para la verificación en el proceso de minería. PoS a diferencia de PoW, no genera una competencia entre nodos; al contrario, un nodo es seleccionado de acuerdo a su participación en la red y será el encargado de resolver el siguiente bloque. En lugar de resolver un hash criptográfico, el nodo usa una firma digital para demostrar su participación.

En los protocolos de consenso existen características como rendimiento, escalabilidad, latencia, entre otras, que ayudan a determinar qué protocolo de consenso posee las mejores cualidades. Como resultado de analizar cada una de éstas, se concluye que Tolerancia Delegada de Fallas Bizantinas (dBFT), con 2,22 puntos, es el método de consenso que brinda los valores más altos en cada uno de los parámetros analizados. Este protocolo de consenso ha incrementado el número de transacciones que se pueden realizar por segundo con una latencia relativamente baja en comparación al tiempo que posee tanto PoW como PoS. Además, tiene una baja tolerancia a fallas. No obstante, este protocolo de consenso es usado generalmente en redes privadas, con lo cual se pierde la descentralización.

Por las características que presenta, en segundo y tercer lugar se posicionan los métodos de consenso más utilizados, Prueba de Participación con 2,01 puntos y Prueba de Trabajo con 1,96 respectivamente. En la cuarta posición se observa a DPoS con 1,89 pese a ser una variación de PoS, se diferencia por presentar niveles bajos de escalabilidad, descentralización y seguridad. En última posición se muestra PBFT alcanzando un puntaje de 1,74 que posee un rendimiento y nivel de seguridad bajo.

La centralización es el principal problema por el cual los sistemas actuales no logran garantizar la transparencia de las transacciones. *Blockchain* por su lado, proporciona la descentralización, es decir, ninguna autoridad controla la información y la misma se encuentra distribuida en todos los nodos o computadores pertenecientes a la red. Los nodos son los encargados de realizar transacciones, validarlas y agregarlas a la cadena de bloques brindando de esta manera una mejora significativa a este inconveniente.

En la investigación realizada se identifican estudios similares que se enfocan en el uso de métodos de consenso en distintos ámbitos como cadenas de suministro o IoT. En cada campo de implementación las características de interés difieren; en el caso de redes de IoT, por ejemplo, la baja latencia es una de las variables más importante. Entre los métodos de consenso aptos para este uso están PoET y PBFT y, aquellos parcialmente aptos son PoS, DPoS o dBFT (Salimitari & Chatterjee, 2019).

Este estudio resume los componentes más importantes desarrollados en su totalidad en el trabajo de (Campaña & Zumba, 2020).

Referencias

- Algorand. (2019). *Algorand*. 12 de enero de 2020, <https://www.algorand.com/what-we-do/technology/algorand-protocol>
- Blagojevic, D. (21 de marzo de 2019). *Captainaltcoin.co*. 24 de enero de 2020, <https://captainaltcoin.com/what-is-practical-byzantine-fault-tolerance-pbft/>
- Blockchain Support. (30 de noviembre de 2019). 12 de enero de 2020, <https://support.blockchain.com/hc/en-us/articles/360019105391-Stellar-consensus>
- Buterin, V., & Griffith, V. (2019). Casper the Friendly Finality Gadget. arXiv:1710.09437v4
- Cachin, C., & Vukolić, M. (17 de Julio de 2017). Blockchain Consensus Protocols in the Wild. *IBM Research - Zurich*, 24. doi:arXiv:1707.01873v2
- Campaña Iza, X. M., & Zumba Sampedro, W. X. (2020). Métodos de consenso sobre plataformas blockchain: Un enfoque comparativo. 80. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21832>
- Chen, L., Xu, L., Shah, N., Gao, Z., Lu, Y., & Shi, W. (2017). On Security Analysis of Proof-of-Elapsed-Time (PoET). 282-297. doi:10.1007/978-3-319-69084-1_19
- CoinsTelegram. (30 de octubre de 2018). *CoinsTelegram*. 11 de enero de 2020, <https://coinstelegram.com/2018/10/30/what-is-leased-proof-of-stake-lpos/>
- Comben, C. (14 de marzo de 2019). *Coin Rivet*. 11 de enero de 2020, <https://coinrivet.com/es/delegated-byzantine-fault-tolerance-dbft-explained/>
- Conti, M., Kumar, S., Lal, C., & Ruj, S. (2018). A Survey on Security and Privacy Issues of Bitcoin. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 39. doi:doi 10.1109/COMST.2018.2842460,
- Criptonario. (febrero de 2019). 25 de febrero de 2020, <https://criptotario.com/que-es-la-capitalizacion-de-mercados-en-criptomonedas>
- Curran, B. (24 de julio de 2018). 13 de enero de 2020, <https://blockonomi.com/iota-tangle/>

- Danezis, G., & Meiklejohn, S. (2016). Centrally Banked Cryptocurrencies. doi:dx.doi.org/10.14722/ndss.2016.23187
- Debus, J. (2017). Consensus methods in blockchain systems. *Frankfurt School of Finance & Management*.
- Dib, O., Brousmiche, K.-L., Durand, A., Thea, E., & Hamida, E. (2018). Consortium Blockchains: Overview, Applications and Challenges. *International Journal On Advances in Telecommunications*, 11(1 &2), 51-64.
- Dinh, T. T., Liu, R., Zhang, M., Chen, G., & Chin, B. (01 de julio de 2018). Untangling Blockchain: A Data Processing View of Blockchain Systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 30(7), 1366-1385. doi:doi: 10.1109/TKDE.2017.2781227
- DistrictOx Education Portal. (s.f.). *DistrictOx Education Portal*. 11 de enero de 2020, <https://education.district0x.io/general-topics/ethereum-scaling/what-is-casper/>
- Duchenne, J. (2018). Blockchain and Smart Contracts: Complementing Climate Finance, Legislative Frameworks, and Renewable Energy Projects. *Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains*, 303-317. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814447-3.00022-7>
- Fadhil, M., Owen, G., & Adda, M. (junio de 2017). Proximity Awareness Approach to Enhance Propagation Delay on the Bitcoin Peer-to-Peer Network. *2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 2411–2416. doi:10.1109/ICDCS.2017.53
- Fairley, P. (Octubre de 2017). Feeding the Blockchain Beast - If Bitcoin ever does go mainstream, the electricity needed to sustain it will be enormous. *Blockchain World*, 36, 37, 58, 59. <http://spectrum.ieee.org/beast1017>
- Frumkin, D. (08 de abril de 2019). *Invest in Blockchain*. 24 de enero de 2020, <https://www.investinblockchain.com/transactions-per-second-and-consensus-mechanisms-of-the-top-50-cryptocurrencies/>
- Gilad, Y., Hemo, R., Micali, S., Vlachos, G., & Zeldovich, N. (2017). Algorand: Scaling byzantine agreements for cryptocurrencies. In *Proceedings of the 26th Symposium on Operating Systems*, 52-68. doi:doi.org/10.1145/3132747.3132757
- Gramoli, V. (2017). From blockchain consensus back to Byzantine consensus. *Future Generation Computer Systems*, 10. doi:doi.org/10.1016/j.future.2017.09.023
- Grobys, K., Ahmed, S., & Sapkota, N. (05 de Diciembre de 2019). Technical trading rules in the cryptocurrency market. *Finance Research Letters*, 20. doi.org/10.1016/j.frl.2019.101396
- Hanke, T., Movahedi, M., & William, D. (2018). Dfinity technology overview series, consensus system. doi:arXiv:1805.04548v1
- Islam, N., Mäntymäki, M., & Turunenc, M. (2019). Why do blockchains split? An actor-network perspective on Bitcoin splits. *Technological Forecasting & Social Change*, 148, 10. doi:doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119743
- Kokoris-Kogias, E., Jovanovic, P., Gasser, L., Gailly, N., Syta, E., & Ford, B. (2018). OmniLedger: A Secure, Scale-Out, Decentralized Ledger via Sharding. In *2018 IEEE Symposium on*, 583-598. doi:10.1109/SP.2018.000-5
- Koller, M. (25 de octubre de 2017). *ItNext*. 12 de enero de 2020, <https://itnext.io/the-stellar-consensus-protocol-decentralization-explained-338b374d0d72>
- Larimer, D. (2014). Delegated proof-of-stake (dpos). *Bitshare whitepaper*.
- Luu, L., Narayanan, V., Zheng, C., Baweja, K., Gilbert, S., & Saxena, P. (2016). A secure sharding protocol for open blockchains. In *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 17-30. doi:dx.doi.org/10.1145/2976749.2978389
- McLeod, S. (2019). *SymplyPsychology*. 28 de enero de 2020, <https://www.simplypsychology.org/likert-scale.html>
- Milutinovic, M., He, W., Wu, H., & Kanwal, M. (s.f.). Proof of Luck: an Efficient Blockchain Consensus Protocol. *Proceedings of the 1st Workshop on System Software for Trusted Execution (SysTEX '16)*, 1–6. doi:doi.org/10.1145/3007788.3007790

- Mitar's Point. (21 de marzo de 2017). *Mitar's Point*. 13 de enero de 2020, <https://mitar.tnode.com/post/proof-of-luck-consensus-protocol-and-luckychain/>
- Mora, H., Morales M., M. R., Pujol López, F. A., & Mollá Sirvent, R. (2021). Social cryptocurrencies as model for enhancing sustainable development. *Kybernetes*, 34. doi:10.1108/K-05-2020-0259
- Mora, H., Pujol López, F. A., Mendoza Tello, J. C., & Morales, M. R. (2019). Virtual Currencies in Modern Societies: Challenges and Opportunities. *Politics and Technology in the Post-Truth Era*, 171-185. doi:10.1108/978-1-78756-983-620191012
- Mora, H., Pujol López, F. A., Morales, M. R., & Mollá Sirvent, R. (2020). Disruptive Technologies for Enabling Smart Government in Reserach and Innovation Forum 2020. *Disruptive Technologies in Times of Change*, 57-69.
- Morales, S., Morales, M., Trujillo, W., & Paucar, J. (2020). Tecnología blockchain en la optimización de una cadena de suministro. *Revista Arbitrada Interdisciplinada Koinonia*, 5(2), 161-180.
- Nawari, N. O., & Ravindran, S. (04 de Junio de 2019). Blockchain and the built environment: Potentials and limitations. *Journal of Building Engineering*, 25, 16. doi:doi.org/10.1016/j.job.2019.100832
- Nem. (s.f.). 11 de enero de 2020, de <https://nem.io/technology/>
- Ongaro, D., & Ousterhout, J. (2014). In Search of an Understandable Consensus Algorithm. In *2014 USENIX Annual Technical Conference (USENIXATC 14)*, 305-319.
- Option Finance. (s.f.). 11 de enero de 2020, <https://option.finance/proof-importance-algorithm>
- Palacios Gómez, J. L. (2002). Estrategias de Ponderación de la respuesta en encuestas de satisfacción de usuarios de servicio. *Metodología de Encuestas*, 4(2), 175-193.
- Papadopoulos, G. (2015). Blockchain and Digital Payments: An Institutional Analysis of Cryptocurrencies. *Handbook of Digital Currency*, 153-172. doi:doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00007-2
- peercoinDocs. (s.f.). 24 de enero de 2020, <https://docs.peercoin.net/>
- Porta, M. (17 de agosto de 2019). *The Cryptonomist*. 11 de enero de 2020, <https://en.cryptonomist.ch/2019/08/17/proof-of-capacity-poc-consensus-algorithm/>
- Prasanna. (25 de septiembre de 2019). *Cryptoticker*. 11 de enero de 2020, <https://cryptoticker.io/en/proof-of-burn/>
- QuestionPro. (2020). 28 de enero de 2020, <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-exploratoria/>
- Ruozhou, L., Shanfeng, W., Zilib, Z., & Xuejun, Z. (2019). Is the introduction of futures responsible for the crash of Bitcoin? *Finance Research Letters*, 7. doi:doi.org/10.1016/j.frl.2019.08.007
- Salimitari, M., & Chatterjee, M. (19 de Junio de 2019). A Survey on Consensus Protocols in Blockchain for IoT Networks. doi:15. arXiv:1809.05613v4
- Seth, S. (04 de abril de 2018). *Golden*. 11 de enero de 2020, [https://golden.com/wiki/Proof-of-activity_\(PoA\)](https://golden.com/wiki/Proof-of-activity_(PoA))
- Swan, M. (2018). Blockchain for Business: Next-Generation Enterprise Artificial Intelligence Systems. *Advances in Computers*, 42. doi:doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.013
- Tahar Hammi, M., Hammi, B., Bellot, P., & Serhrouchni, A. (2018). Bubbles of Trust: A decentralized blockchain-based authentication system for IoT. *Computers & Security*, 78, 126-142. doi:doi.org/10.1016/j.cose.2018.06.004
- Viriyasitavat, W., & Hoonsopon, D. (29 de Julio de 2018). Blockchain characteristics and consensus in modern business processes. *Journal of Industrial Information Integration*, 13, 32-39. doi:https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.07.004
- WavesDocs. (s.f.). 11 de enero de 2020, <https://docs.wavesplatform.com/en/blockchain/leasing.html>
- Young Lee, J. (2019). A decentralized token economy: How blockchain and cryptocurrency can revolutionize business. *Kelley School of Business, Indiana University*, 62, 773-784. doi:doi.org/10.1016/j.bushor.2019.08.003

- Zamani, M., Movahedi, M., & Raykova, M. (2018). RapidChain: Scaling Blockchain via Full Sharding. *In Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 931-948.
- Zhang, S., & Lee, J.-H. (2019). Analysis of the main consensus protocols of blockchain. *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*. doi.org/10.1016/j.ict.2019.08.001
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, X., & Wang, H. (Octubre de 2018). Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375. doi: 10.1504/IJWGS.2018.10016848

Análisis del rendimiento de los protocolos OLSR, DSDV y AODV en una Red MANET

Performance analysis of OLSR, DSDV and AODV protocols in a MANET Network

Paúl Astudillo¹ <https://orcid.org/0000-0001-8380-6103>, Santiago González¹ <https://orcid.org/0000-0001-6604-889X>, Christian Quinde¹ <https://orcid.org/0000-0002-9863-6941>

¹*Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*

paul.astudillo@ucuenca.edu.ec,
santiago.gonzalez@ucuenca.edu.ec,
christian.quinde@ucuenca.edu.ec

Enviado: 2021/06/24

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

Este artículo presenta una propuesta de análisis y comparación entre los protocolos de enrutamiento proactivo OLSR y DSDV, y reactivo AODV en una red MANET. Se definen dos escenarios: el primero representando un equipo de fútbol atacando y el segundo defendiendo. Se varía el área de movimiento de los nodos para simular cada escenario. Para ello, se realiza una investigación sobre los problemas que presentan estos algoritmos de enrutamiento para redes Ad Hoc en diferentes ámbitos. De esta forma, obtener un panorama de las estrategias y soluciones que existen actualmente. A partir de la información recopilada, se propone realizar una simulación utilizando NS3, para obtener resultados que se asemejen a la realidad. La comparación se realiza a base de las métricas de throughput, PDR y Delay. En cada simulación, la velocidad de los nodos y la posición inicial se ajustan según el comportamiento de un jugador de fútbol real. Los nodos se mueven en una trayectoria aleatoria dentro del área específica, y uno de éstos envía datos a un nodo fijo situado en el borde del campo. El tráfico transmitido está caracterizado para simular datos biométricos realistas. A partir de los resultados, se concluye que AODV y DSDV tienen un mejor rendimiento que OLSR y el intervalo óptimo de transmisión es de 20 segundos. Además, con una potencia de transmisión de 10 dBm se garantiza el 100% del throughput en el receptor.

Palabras clave: delay, NS3, mapa de calor, PDR, throughput.

Sumario: Introducción, Trabajos relacionados, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Astudillo, P., González, S. & Quinde, C. (2021). Análisis del rendimiento de los protocolos OLSR, DSDV y AODV en una Red MANET. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 43-57.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/829>

Abstract

This paper presents an analysis and comparison between the proactive routing protocols OLSR and DSDV and the reactive routing protocol AODV in a MANET network. Two scenarios were defined, the first one representing a soccer team attacking and the second one defending. To simulate each scenario the area of movement of the nodes (players) was varied. For this purpose, an investigation was carried out on the problems presented by these routing algorithms for Ad Hoc networks in different environments. In this way, an overview of the strategies and solutions that currently exist is obtained. Based on the information gathered, it is proposed to perform a simulation using NS3 in order to obtain results that resemble reality. The comparison is made based on throughput, PDR and Delay metrics. In each simulation, parameters such as node velocity and initial position are adjusted according to the behaviour of a real soccer player. The nodes move in a random trajectory within the specific area and one of them sends data to a fixed server node located at the edge of the area where the nodes move, simulating the bench where the receiver is located. The transmitted traffic is characterized to simulate realistic biometric data. From the results, it is concluded that AODV and DSDV have better performance than OLSR and the optimum transmission interval is 20 seconds. In addition, with a transmit power of 10 dBm, 100% throughput is guaranteed at the receiver.

Keywords: delay, heatmap, NS3, PDR, throughput.

Introducción

Una red ad hoc móvil (MANET) es un tipo de sistema distribuido complejo que comprende de nodos móviles inalámbricos que puedan autoorganizarse dinámicamente en topologías de red ad hoc temporales. Esto permite a las personas o dispositivos trabajar en Internet en áreas sin infraestructura de comunicación preexistente (Kurniawan et al., 2020). En las redes ad hoc, los nodos no están familiarizados con la topología de sus redes, por el contrario, tienen que descubrirlo. Normalmente, un nuevo nodo anuncia su presencia y escucha los mensajes transmitidos por sus vecinos. Cada nodo aprende acerca de otros cercanos y cómo llegar a ellos. Para esto existen tres tipos de protocolos: Proactivos, Reactivos e Híbridos. Este artículo se centra únicamente en los dos primeros. DSDV y OLSR son protocolos proactivos basados en tablas de ruteo que se actualizan de forma regular. Por el contrario AODV es un protocolo reactivo que trabaja a petición para crear nuevas rutas (Bai et al., 2017).

Hoy en día en el deporte, la tecnología ha tomado un papel muy importante y el fútbol no es la excepción. La introducción de la tecnología dentro del deporte ha permitido una mejora en la formación de los atletas. Dentro de los entrenamientos, existen ejercicios que demandan un mayor esfuerzo físico, es el caso del sprint, que es un ejercicio de alta intensidad donde los atletas llegan a su máxima capacidad. Por lo tanto, resulta indispensable realizar una medición de los datos físicos del atleta o jugador (Lamaarti et al., 2019). En este contexto es necesario tener en cuenta métricas como el throughput, el delay end-to-end, el jitter y el PDR. Y se debe priorizar alguna para mejorar la calidad de servicio (QoS). Aquí es donde toma importancia el protocolo de enrutamiento utilizado en la red. Dentro de los inconvenientes que surgen en las redes MANET, están el área de interferencia entre nodos, la distancia entre los mismos y la velocidad de desplazamiento de los nodos. Todos estos factores influyen directamente en las métricas mencionadas anteriormente. Por tal razón, en este artículo se utilizan protocolos que tienen una base sólida, que han sido probados y se ha demostrado que son robustos y eficientes.

La simulación sigue desempeñando un papel vital en términos de escalabilidad tanto en tamaño como en velocidad experimental. Con estudios basados en simulación, el enfoque se puede analizar en detalle a diferentes escalas, con diversas aplicaciones de datos, diferentes condiciones de campo, con el fin de obtener resultados reproducibles y analizables. De ahí que,

se propone el uso de NS3 junto con el módulo Flow Monitor para realizar la simulación. NS3 es un software ampliamente empleado para investigación, ya que es un programa muy realista, los modelos que usa están apegados a la realidad, se puede utilizar semillas para generar aleatoriedad y obtener resultados estadísticos aceptables (Campanile et al., 2020). Además, al trabajar con un gran número de nodos, diferentes tipos de movilidad, entre otros parámetros, el software de simulación es una herramienta que proporciona ventajas, debido a las limitaciones que implica trabajar en escenarios con una gran cantidad de nodos en la realidad.

En este artículo se presenta una evaluación de los protocolos de enrutamiento OLSR, AODV y DSDV para el despliegue de una red MANET enfocada en la transmisión de datos biométricos. En particular, se ha seleccionado el caso de un escenario deportivo con nodos móviles. En la sección 2 se presentan los trabajos relacionados a los protocolos de enrutamiento en redes Ad-Hoc, así como de sensores biométricos en ambientes deportivos. Adicionalmente, en la sección 3 se encuentra la metodología empleada y las herramientas utilizadas. En la sección 4 se presentan los resultados obtenidos y finalmente, en la sección 5 se encuentran las conclusiones.

Trabajos relacionados

De acuerdo a (Sharma & Shruti Thapar, n.d.), se deben tomar en cuenta las características específicas de cada aplicación para escoger un protocolo sobre otro. También se detalla que los protocolos reactivos tienen un mejor rendimiento que los proactivos en un escenario con movilidad, no así para un escenario fijo o estático. En (Gameess & Russoniello, 2018; Singh & Verma, 2015) se señala que el protocolo de enrutamiento proactivo OLSR presenta un menor delay end-to-end y menor número de saltos comparado con DSDV. En (Yefa Mai et al., 2017) se demuestra que AODV es mejor en cuanto al throughput y delay end-to-end, pero OLSR es mejor en la entrega de paquetes. Al aumentar el área de movilidad, el protocolo AODV se vuelve dominante en todas las métricas. De manera similar en (Singh & Verma, 2015), se comprueba que AODV es mejor que OLSR y DSDV en condiciones de nodos móviles, pero con nodos fijos OLSR supera a AODV y a DSDV en las métricas de throughput y PDR. Además en (Al-Dhief et al., 2018) se establece que AODV supera a DSDV en términos de throughput.

En el ámbito deportivo existen varios estudios del movimiento en atletas, por ejemplo, en (Massard et al., 2018) se realiza un análisis de la velocidad máxima de jugadores de fútbol. Asimismo en (Modric et al., 2020) se obtienen valores para la velocidad de desplazamiento dependiendo de la posición de juego, así como del estado físico de cada jugador. De igual manera, en el estudio que realiza (Wehbe et al., 2014), se obtiene el tiempo para cada movimiento que efectúa un jugador de acuerdo a su posición. Los perfiles de actividad física de los jugadores revelan una información valiosa para conocer el esfuerzo físico que realiza el jugador y así mantenerlo en un estado óptimo, evitar lesiones y desarrollar nuevas estrategias de acuerdo al posicionamiento que se observa en los mapas de calor. Los entrenadores están interesados en herramientas analíticas para apoyar el análisis táctico y controlar la calidad de sus jugadores durante partidos individuales o temporadas enteras. Debido a esto, existen varios estudios donde se analiza la posición de cada jugador en el campo de juego de acuerdo a su rol (Defensa, Medio-campista, Delantero, etc.) (Pappalardo et al., 2019). Al tener un perfil de actividad física de cada jugador se puede limitar su movimiento con la ayuda de los mapas de calor de acuerdo a su posición. De esto depende la formación usada por el equipo.

En (Akbar et al., 2016) se mencionan diferentes tipos de sensores biométricos, como por ejemplo un medidor del ritmo cardíaco, un sensor SpO2, Acelerómetro, Giroscopio, etc. Cada uno de estos sensores genera información acerca de la actividad física. Según (Lloret et

al., 2016), la cantidad de información útil (*payload*) de un paquete con información de salud puede alcanzar un tamaño promedio de 104 bytes. Asimismo, en (Besher et al., 2020) y (Beitelspacher et al., 2020), se muestra que el tamaño de un paquete de datos biométricos es de 79 bytes y 50 bytes respectivamente, las diferencias se dan debido al número de sensores, tipo de sensores y frecuencia de recolección de datos.

Otro aspecto fundamental para caracterizar el tráfico y mejorar los resultados de la simulación, es el *data rate*. En (Akbar et al., 2016) y (Kos et al., 2019), se muestran los requerimientos para aplicaciones médicas. Donde se encuentran los valores óptimos para el data rate (ver, Tabla 1) además el *delay* y el consumo de energía para algunos tipos de sensores usados en el deporte. Es de vital importancia el monitoreo de la salud dentro del deporte, en (R. T. Li et al., 2016) se señala que los avances en la tecnología han permitido a los atletas de resistencia individuales, equipos deportivos y médicos, monitorear los movimientos funcionales, cargas de trabajo y marcadores biométricos para maximizar el rendimiento y minimizar las lesiones. Con la misma idea en (S. Li et al., 2020) se señala que los sensores corporales en el campo deportivo tienen un gran impacto en la eficiencia de la vida, ya que estos se enfocan en medir factores fisiológicos, promover la salud y mejorar la adherencia a la práctica en diferentes poblaciones, desde atletas de élite hasta pacientes.

Tabla 1

Valores de Data Rate para Diferentes Sensores Biométricos

SENSOR	DATA RATE (Akbar et al., 2016)	DATA RATE (Kos et al., 2019)
Ritmo Cardíaco	pocos kbps	100 kbps
Acelerómetro	35 kbps	1-200 kbps
Giroscopio	35 kbps	1-200 kbps
SpO2	-	100 kbps

Materiales y Métodos

Para este estudio propuesto se especificaron dos tipos de escenarios. El primer escenario con un área rectangular de 42m x 57m donde se desplazaron los jugadores (nodos) al momento de defender y el segundo escenario de 39m x 60m, al momento de atacar. Se subdividió el área total de cada escenario en subáreas de acuerdo a las posiciones que ocuparon los jugadores tomando en cuenta los mapas de calor de cada uno, y como referencia investigaciones previas, usando un esquema de formación 4-3-3 para defender y 2-4-3 para atacar. Este artículo, basándose en (Külah & Alemdar, 2020), se propuso la siguiente división mostrada en la Figura 1 y Figura 2. Donde DFC representó a los defensas centrales, DFI y DFD representó a los defensas izquierdo y derecho respectivamente, MC representó a los medio-campistas, EI y ED representaron a los extremos izquierdo y derecho respectivamente y DC representó al delantero centro. Cada nodo se movió dependiendo de la posición del jugador al que representó, basándose en los mapas de calor de cada jugador según (Wehbe et al., 2014), por lo cual se asignaron diferentes colores a estas áreas para poder identificarlos, ya que los nodos no pueden cambiar de área, con el motivo de simplificar el escenario de movilidad de los nodos. Cabe recalcar que existieron posiciones de relevos por lo que en ciertos momentos los nodos o jugadores compartieron la misma área, es por ello que se ha definido áreas conformadas con barras, es el caso de los DFI y EI o DFI y MC.

Otro aspecto importante tomado en cuenta fue la velocidad de los jugadores (nodos). Por lo cual se consideró velocidades promedio y velocidades máximas donde el entorno cambiaba cada 5 segundos (Antonio Durá Vaquera, n.d.), siendo este el tiempo de movilidad. Después de cumplir este tiempo se cambió la dirección y la velocidad de los nodos utilizando una variable aleatoria uniforme. En (Wehbe et al., 2014) se detallaron las velocidades promedio en Km/h y en (Mendez-Villanueva, 2012) y las velocidades máximas, para las distintas posiciones, es decir para defensas, medio-campistas y delanteros. En la Tabla 2 se resumen estos valores.

Figura 1

Escenario 1 "Equipo Defendiendo"



Figura 2

Escenario 2 "Equipo Atacando"

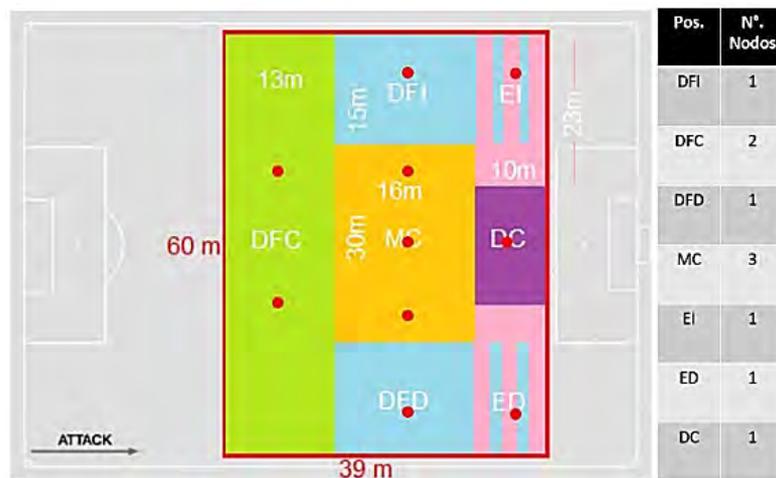


Tabla 2

Velocidades Promedio y Máximas para cada Posición

	DFC	DFI/DFD	MC	DC
Vel. Promedio [km/h]	6,279	6,279	6,965	6,711
Vel. Max. [km/h]	28,1	26,7	27	29,1

La metodología utilizada para comparar el desempeño de cada uno de los protocolos de enrutamiento dentro de estos dos escenarios se muestra en la Figura 3. Donde, el primer bloque representó el planteamiento del problema que consistió en encontrar el mejor protocolo de enrutamiento para una red MANET, que transporte datos biométricos procedentes de diferentes sensores colocados en jugadores de fútbol. El segundo bloque permitió definir los protocolos con mejor desempeño y con bases sólidas para la aplicación propuesta, además de ajustar los parámetros de cada uno para mejorar el desempeño.

El siguiente bloque permitió definir las características de los paquetes a transmitir, basándose en la cantidad de información generada por los sensores biométricos. Con ello, se definió el valor de data rate en 100 kbps constantes (CBR), de acuerdo a los valores observados en los trabajos relacionados, ver Tabla 1. De la misma forma se estableció el tamaño del paquete en 100 bytes, debido a que es un valor que estuvo en el rango descrito por los autores (Beitelspacher et al., 2020; Beshier et al., 2020; Lloret et al., 2016). Por último, se escogió UDP como protocolo de transporte debido a que comparado con TCP éste es más rápido, simple y eficiente. Esta caracterización permitió generar un tráfico realista entre los nodos.

El cuarto bloque permitió definir las áreas de movilidad de los nodos, así como las velocidades de cada uno dependiendo de la posición que ocupó dentro del campo de juego y el tipo de escenario, para esto se utilizó el módulo *Random Walk* de NS3 el cual es un modelo de movilidad aleatorio 2D. Hay que tener en cuenta que una de las limitaciones de la simulación es la modelación de la movilidad, modelar el movimiento humano es otro campo de investigación específico (Conti & Giordano, 2014).

A continuación, se especifican las condiciones de cada escenario estudiado, es decir, el comportamiento de los nodos cuando representan al equipo de fútbol atacando o defendiendo, para lo cual se hizo uso de dos scripts, ya que se definen diferentes áreas en cada uno. Una vez configurados los dos escenarios, se ejecutó la simulación utilizando los protocolos de enrutamiento propuestos y los parámetros de las tarjetas inalámbricas o módulos Wi-fi que transmiten la información de los sensores biométricos según el tipo de análisis (tres análisis). Algunos de los sensores más comunes utilizaron el estándar IEEE 802.11n como lo hizo en (Hu et al., 2020), por lo que la simulación empleó el mismo. Para generalizar los resultados se hizo uso de una semilla de aleatoriedad y se repitió la simulación utilizando un script de Linux, variando así las condiciones de la simulación. Después, se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos para cada escenario con cada uno de los protocolos empleados. Finalmente, se establecieron las conclusiones respectivas y se definió el mejor protocolo dependiendo del tipo de métrica. Antes de continuar, se muestran en la Tabla 3 los parámetros utilizados en las simulaciones.

Basándose en la metodología mencionada, se han propuesto tres análisis estadísticos utilizando intervalos de confianza del 95%, el primero consistió en ejecutar la simulación con un tiempo de 3 minutos o 180 segundos con la configuración de la Tabla 3, usando una potencia fija de 3dBm y los protocolos de enrutamiento con sus valores por defecto. Se realizaron cinco simulaciones para cada escenario con cada uno de los protocolos de enrutamiento. El segundo análisis consistió en aumentar el número de simulaciones para cada protocolo a 20, así como el tiempo de cada simulación a 5 minutos o 300 segundos, también se aumentó el intervalo de transmisión a 5, 10, 20, 30 y 60 segundos y se modificaron los archivos de configuración de cada protocolo, para mejorar el desempeño de la red. Por lo tanto, para el protocolo OLSR se acortó el valor del parámetro *Hello* de 2 segundos a 0.5 segundos, y el parámetro *TC* se disminuyó de 3 a 1 segundo. Para el protocolo DSDV se cambió el parámetro

PeriodicUpdateInterval de 15 a 2 segundos, con esto se redujo el periodo de intercambio de tablas de enrutamiento completas entre nodos.

El siguiente parámetro modificado fue el *SettlingTime*, reduciendo el tiempo mínimo de almacenamiento de una actualización de 5 a 3 segundos. Ahora, para AODV el primer parámetro que se modificó fue el intervalo *Hello*, el cual cambió de 1 a 0.5 segundos. También se estableció al parámetro *ActiveRouteTimeout* en 2 segundos en lugar del valor original de 3 segundos, este parámetro determinó el periodo de tiempo durante el cual una ruta es considerada como válida, por lo tanto, al tener un escenario con alta movilidad se disminuyó este periodo.

En el tercer análisis se escogieron los dos protocolos con mejor rendimiento que en el segundo análisis y con el intervalo de tiempo más óptimo. Además, varió la potencia del transmisor en el rango mostrado en la Tabla 3. Cabe destacar que se mantuvo las modificaciones realizadas a los protocolos de enrutamiento en el segundo análisis.

Figura 3

Resumen de la Metodología Aplicada



Tabla 3

Parámetros de la Simulación

PARÁMETROS	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3
Estándar WI-FI	IEEE 802.11n (2.4 GHz)		
Capa Física	ErpOfdmRate48Mbps		
Protocolo de transporte	UDP		
Tipo de tráfico	CBR		
Tamaño del paquete	100 bytes		
Data Rate	100 kbps		
Tipo de Movilidad	Random Walk		
Tiempo de Movilidad	5 seg		
Tiempo de Simulación	180 seg	300 seg	300 seg
Intervalo de Transmisión	1 seg	5, 10, 20, 30 y 60 seg	20 seg
Número de Simulaciones por Protocolo	5	20	20
Potencia del Transmisor	3 dBm	3 dBm	0 - 10 dBm

Cabe señalar que la cantidad de nodos y el tipo de escenario demandó un tiempo considerable para realizar múltiples simulaciones, debido a la alta carga computacional requerida. Con el objetivo de realizar el estudio con varias pruebas, 230 en total, se utilizaron tiempos de 3 y 5 minutos, ya que incrementar estos tiempos es una limitación debido a las demoras que requieren cada uno de los estudios. Entonces, se prefirió realizar múltiples simulaciones de corta duración para obtener resultados que se puedan valorar estadísticamente, en lugar de una sola simulación de larga duración.

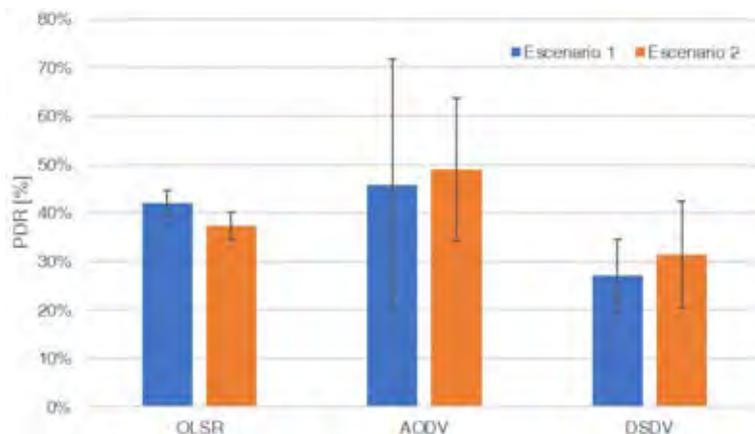
Resultados y Discusión

Primer análisis

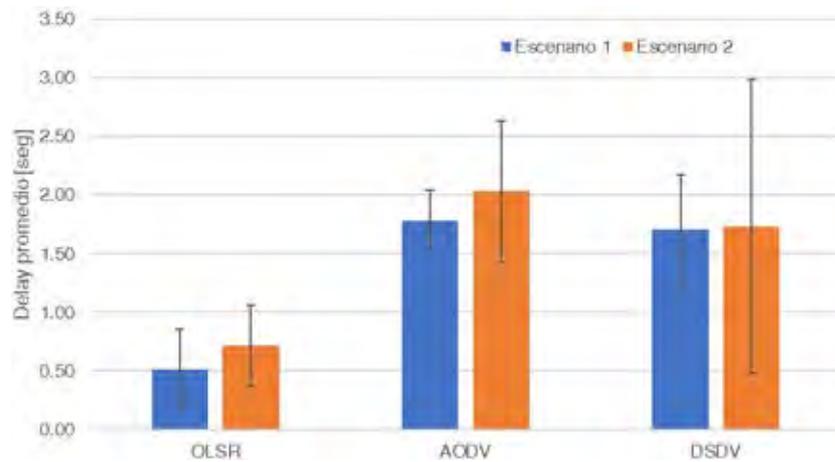
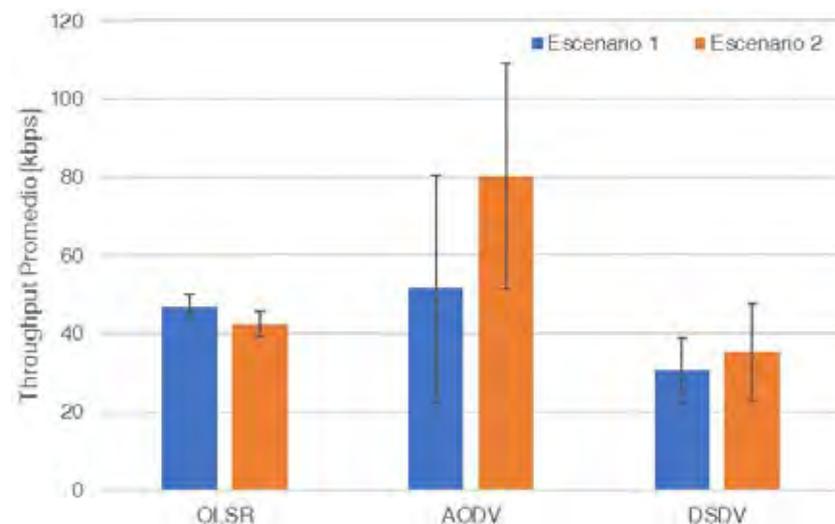
En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos para el PDR en el escenario 1 y escenario 2. Es evidente que la mejor tasa de recepción de paquete se logra con el protocolo de enrutamiento reactivo AODV, llegando hasta un 49% de paquetes recibidos. Mientras que el peor desempeño lo obtiene DSDV con tan solo un 27%. Sin embargo, los intervalos de confianza son mayores en AODV, lo que implica que hay más variaciones entre simulaciones. En cuanto al delay promedio obtenido para cada protocolo, se pueden observar los resultados logrados en la Figura 5, que el protocolo OLSR alcanza los mejores resultados ya que tienen el menor delay. En cambio, los otros dos protocolos no varían mucho, pero se tienen que tomar en cuenta que para el escenario 2 el protocolo DSDV tiene intervalos de confianza muy amplios. Finalmente, se puede observar en la Figura 6, que AODV tiene el mejor throughput promedio en los dos escenarios, le sigue el protocolo OLSR y el protocolo AODV en este caso es el peor.

Figura 4

Comparativa del PDR para cada Protocolo de Enrutamiento



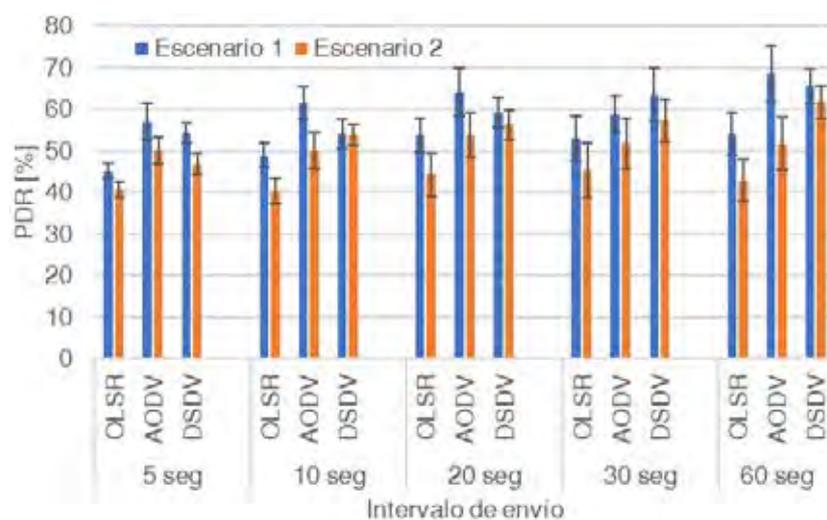
Al analizar las métricas se observa que el protocolo AODV tiene una alta variación en los intervalos de confianza. Por lo que depende mucho de las condiciones de movilidad, velocidad y del canal, para tener un buen desempeño. En ciertos instantes el tráfico cae prácticamente a cero, debido a la pérdida de paquetes. Por este motivo se verifica las tablas de enrutamiento y las posiciones de los nodos en estos instantes y se verifica que, debido al movimiento de los nodos, existen instantes en los que un nodo sale del rango de cobertura con algún nodo vecino pero las tablas de enrutamiento tardan un determinado tiempo en converger nuevamente, en el caso de OLSR, se escoge un intervalo de 3 segundos para intercambiar mensajes TC. Además, se puede notar que debido a la naturaleza del protocolo AODV, este resulta ser más eficiente debido a que actualiza sus tablas de enrutamiento únicamente cuando va a transmitir tráfico.

Figura 5*Comparativa del Delay para cada Protocolo de Enrutamiento***Figura 6***Comparativa del Throughput Promedio para cada Protocolo de Enrutamiento***Segundo análisis**

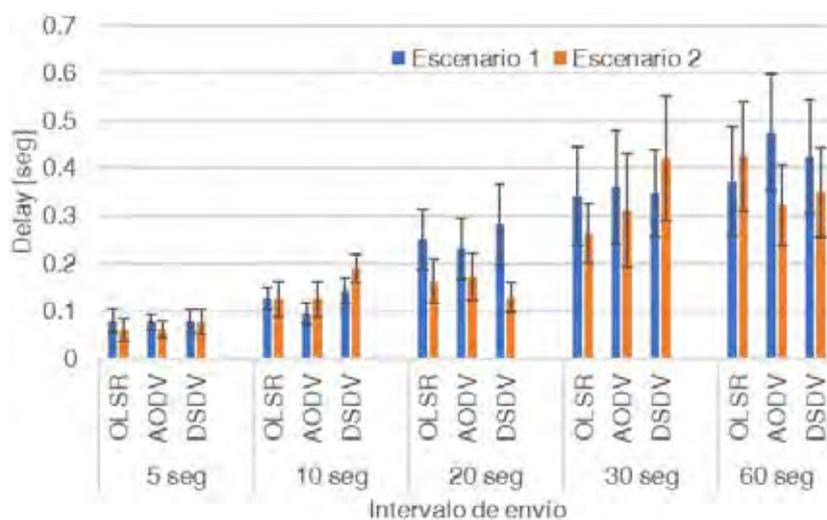
Los resultados muestran que, al aumentar el número de simulaciones y ajustar los parámetros de los protocolos, las métricas mejoraron notablemente con respecto a los resultados anteriores. Esto se debe a que los protocolos de enrutamiento tienen más tiempo para converger y por lo tanto existe una menor pérdida de paquetes, además debido a la movilidad de los nodos y al canal inalámbrico existen interferencias, pérdidas de paquetes y por lo tanto el PDR no supera el 70%. Además, los intervalos de confianza se redujeron considerablemente, lo cual indica que existe una menor desviación entre los valores. En la Figura 7, se observa que el PDR tiene una tendencia creciente conforme se incrementa el intervalo, sin embargo, este crecimiento no es tan acelerado, por lo que no hay gran diferencia a partir de los 20 segundos. Con respecto a los protocolos se puede notar que AODV presenta mejores resultados en el escenario 1 y DSDV para el escenario 2.

Figura 7

Comparativa del PDR para cada Protocolo de Enrutamiento

**Figura 8**

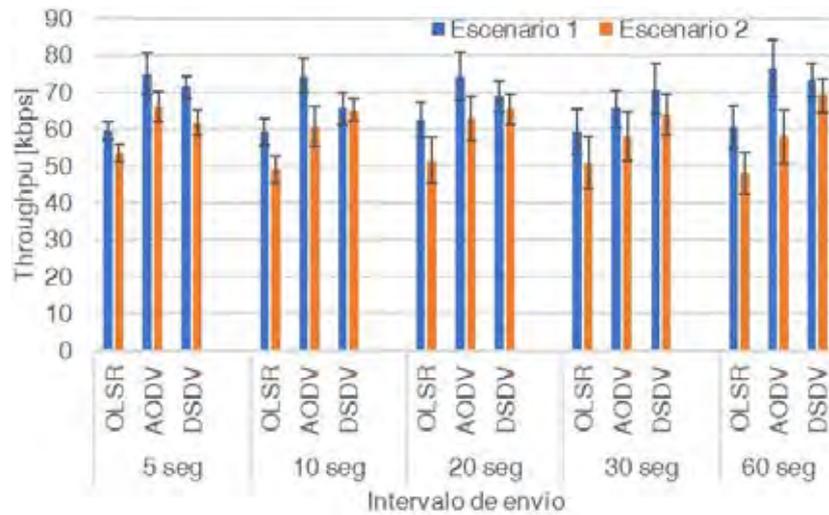
Comparativa del Delay para cada Protocolo de Enrutamiento



En cuanto al delay, la Figura 8 muestra que el delay aumenta rápidamente conforme se incrementa el intervalo de transmisión, pero al comparar los protocolos de enrutamiento no se evidencia una diferencia muy marcada entre cada uno. Se puede observar que a partir de los 20 segundos los intervalos de confianza crecen debido a que al separar las transmisiones disminuye la cantidad de información recibida y por lo tanto un error tendrá un mayor impacto en los resultados. Con respecto a la última métrica, el throughput, en la Figura 9 indica que el mejor protocolo es AODV para el escenario 1 y el protocolo DSDV para el escenario 2. Además, se puede observar que el throughput no alcanza los 100 kbps que es la tasa fijada en cada uno de los transmisores, por el contrario tienen un valor promedio de 67.82 kbps y 58.96 kbps para el escenario 1 y 2 respectivamente, esto ocurre debido a las características propias de una red ad-hoc multi-salto, ya que el throughput disminuye con cada salto según (González et al., 2016).

Figura 9

Comparativa del Throughput para cada Protocolo de Enrutamiento

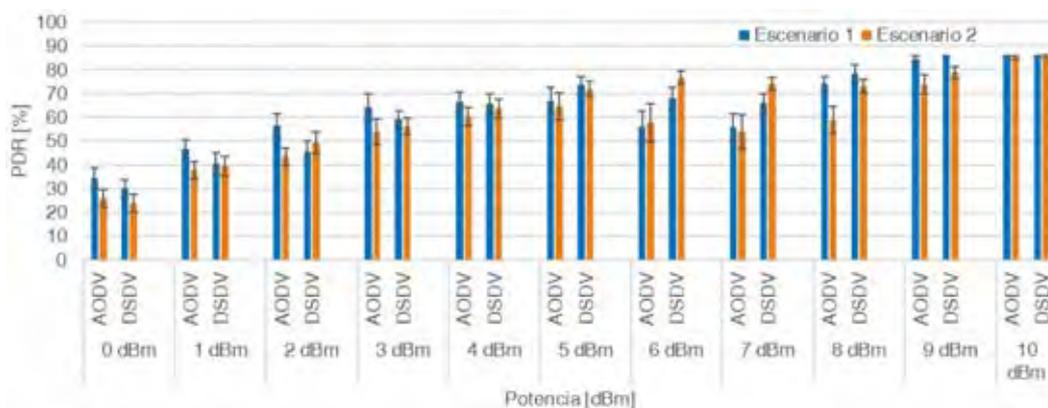


Tercer análisis

De acuerdo a los resultados anteriores, se descarta el protocolo OLSR debido a que tiene el peor rendimiento comparado con los otros dos protocolos en la mayoría de métricas y escenarios. Además, se establece el intervalo de transmisión en 20 segundos ya que se obtienen mejores resultados y permite la convergencia de los protocolos de enrutamiento. También se incrementa la potencia del transmisor, y se puede notar que las métricas mejoran su rendimiento con respecto a los resultados de la sección anterior. Sin embargo, a partir de los 4 dBm la red Ad Hoc deja de ser multi-salto y pasa a conformar una red MESH. En la Figura 10, conforme aumenta la potencia, también aumenta el PDR debido a que se disminuye la cantidad de saltos, sin embargo, también aumentan las interferencias por lo que todavía existen pérdidas de paquetes. Por otro lado, en el escenario 1 el protocolo AODV es mejor que DSDV hasta los 4 dBm o, en otras palabras, AODV tiene un mejor rendimiento que DSDV en la red multi-salto, pero DSDV es mejor cuando la red pasa a ser de tipo MESH. Al analizar el escenario 2, se observa que DSDV es mejor que AODV sin importar el valor de la potencia del transmisor.

Figura 10

Comparativa del PDR para cada Protocolo de Enrutamiento



En la Figura 11, se puede notar que el protocolo AODV tiene un mayor delay que DSDV en los dos escenarios, esto se debe a que AODV al ser un protocolo reactivo le toma mayor tiempo obtener la información de ruteo de los demás nodos. También se observa que el menor delay en una red MESH se obtiene con una potencia de 10 dBm, mientras que en una

red multi-salto el mejor resultado se logra con 3 dBm, de lo cual se puede notar que en ambos tipos de red el mejor resultado se obtiene con el máximo de potencia. Con respecto al throughput, la Figura 12 indica que el valor incrementa conforme aumenta el nivel de potencia de los transmisores. También se nota que en el escenario 1, AODV es mejor que DSDV hasta los 4 dBm, y además se observa que con 10 dBm no existe una diferencia notable, teniendo además un error menor al 1%. Ahora, en el escenario 2 DSDV siempre es mejor que AODV a excepción de los 10 dBm, donde nuevamente no hay una diferencia significativa. Finalmente, se puede notar que con 10 dBm el throughput coincide con el data rate de transmisión configurado inicialmente, siendo así el mejor resultado posible para esta métrica.

Figura 11

Comparativa del Delay para cada Protocolo de Enrutamiento

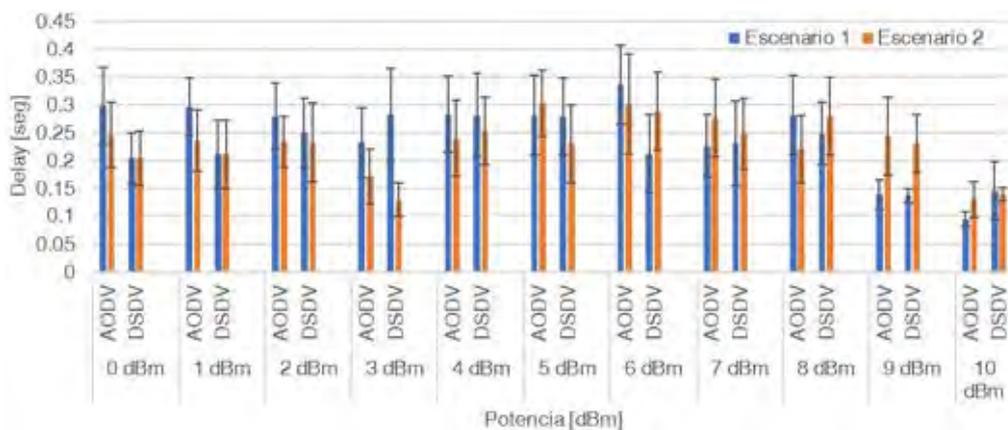
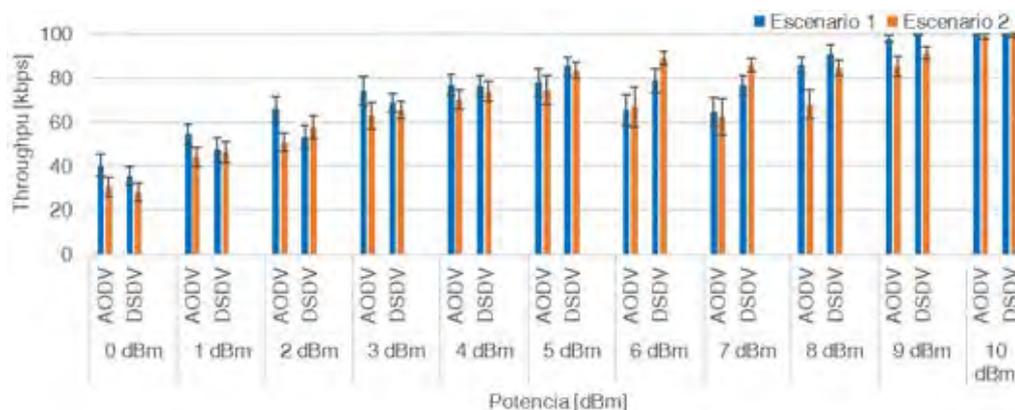


Figura 12

Comparativa del Throughput para cada Protocolo de Enrutamiento



Conclusiones

En el primer análisis, se puede concluir que el protocolo de enrutamiento reactivo AODV tiene un mejor desempeño en las tres métricas analizadas (PDR, delay y throughput), pero con unos intervalos de confianza muy amplios. Se comprueba que el número máximo de saltos generados fue de tres, cuando el nodo se encontraba muy alejado del nodo receptor. Mientras que cuando el nodo transmisor se encontraba más central o cerca del nodo receptor el número de saltos generados era de uno. De acuerdo al perfil del tráfico obtenido y el PDR para cada uno de los protocolos, se puede notar que existe una gran pérdida de paquetes. Estas pérdidas ocurren debido al comportamiento aleatorio de los nodos, lo cual genera cambios en la topología de la red. Es decir, las tablas de enrutamiento se actualizan constantemente, pero

los movimientos bruscos de los nodos (jugadores) no permiten que converjan en ciertos instantes. Además, se comprueba que el crecimiento del throughput afecta la efectividad del envío de paquetes debido a las limitaciones del ancho de banda.

En el segundo análisis las tres métricas mejoran y existe una reducción de los intervalos de confianza debido al cambio en los parámetros de cada protocolo, el espaciamiento entre transmisiones y por el incremento del número de simulaciones. Por ejemplo, con un espaciamiento de 20 segundos el delay se reduce un 64.58% para OLSR, 89.36% para AODV y 88.31% para DSDV, realizando un promedio entre los dos escenarios. Por otra parte, al aumentar el intervalo de transmisión se incrementa el delay de cada paquete, por lo que se escoge 20 segundos como un valor óptimo. Con este valor el throughput aumenta un 27.33% para OLSR, un 105% para DSDV realizando el promedio entre los dos escenarios. Mientras que para AODV el throughput aumenta un 44.33% en el escenario 1. Además, se evidencia que en el escenario 1 (Defensa) el protocolo con mejor rendimiento es AODV y para el escenario 2 (Ataque) es DSDV. Finalmente, en el análisis tres, mejoran los resultados en los dos escenarios. Sin embargo, al superar los 4 dBm en la potencia del transmisor, la red se convierte en una red MESH. Y, en definitiva, se comprueba que los dos protocolos no tienen gran diferencia en su desempeño en las tres métricas con una potencia de 10 dBm, por lo que se puede escoger cualquiera de los dos para este tipo de escenarios.

Reconocimientos

Los autores de este trabajo agradecen al Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de Cuenca por todo el apoyo brindado y herramientas proporcionadas para la elaboración de este artículo.

Referencias

- Akbar, M. S., Yu, H., & Cang, S. (2016). Delay, Reliability, and Throughput Based QoS Profile: A MAC Layer Performance Optimization Mechanism for Biomedical Applications in Wireless Body Area Sensor Networks. *Journal of Sensors*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7170943>
- Al-Dhief, F. T., Sabri, N., Salim, M. S., Fouad, S., & Aljunid, S. A. (2018). MANET Routing Protocols Evaluation: AODV, DSR and DSDV Perspective. *MATEC Web of Conferences*, 150, 06024. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815006024>
- Antonio Durá Vaquera, J. (n.d.). *Revisión Bibliográfica: Entrenamiento SAQ (speed, agility, quickness) en fútbol*.
- Bai, Y., Mai, Y., & Wang, N. (2017, June 7). Performance comparison and evaluation of the proactive and reactive routing protocols for MANETs. *Wireless Telecommunications Symposium*. <https://doi.org/10.1109/WTS.2017.7943538>
- Beitelspacher, S., Beshar, K. M., & Zamshed Ali, M. (2020, June 1). Sensor Driven Priority Routing of Health Care Data Packet in IoT Network. *IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2020 - Symposium Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT48130.2020.9221478>
- Beshar, K. M., Beitelspacher, S., Nieto-Hipolito, J. I., & Ali, M. Z. (2020). Sensor Initiated Healthcare Packet Priority in Congested IoT Networks. *IEEE Sensors Journal*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/jsen.2020.3012519>
- Campanile, L., Gribaudo, M., Iacono, M., Marulli, F., & Mastroianni, M. (2020). Computer network simulation with ns-3: A systematic literature review. *Electronics (Switzerland)*, 9(2), 1–25. <https://doi.org/10.3390/electronics9020272>
- Conti, M., & Giordano, S. (2014). Mobile ad hoc networking: Milestones, challenges, and new research

- directions. *IEEE Communications Magazine*, 52(1), 85–96. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6710069>
- Games, E., & Russoniello, A. (2018). Evaluation of Different Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks in Scenarios with High-Speed Mobility. *I. J. Computer Network and Information Security*, 10, 46–52. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2018.10.06>
- González, S., Castellanos, W., Guzmán, P., Arce, P., & Guerri, J. C. (2016). Simulation and experimental testbed for adaptive video streaming in ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 52, 89–105. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.07.007>
- Hu, J., Wang, J., & Xie, H. (2020). Wearable bracelets with variable sampling frequency for measuring multiple physiological parameter of human. *Computer Communications*, 161, 257–265. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2020.07.043>
- Kos, A., Milutinović, V., & Umek, A. (2019). Challenges in wireless communication for connected sensors and wearable devices used in sport biofeedback applications. *Future Generation Computer Systems*, 92, 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.032>
- Kulah, E., & Alemdar, H. (2020). Quantifying the value of sprints in elite football using spatial cohesive networks. *Chaos, Solitons and Fractals*, 139, 110306. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110306>
- Kurniawan, A., Kristalina, P., & Hadi, M. Z. S. (2020). Performance Analysis of Routing Protocols AODV, OLSR and DSDV on MANET using NS3. *IES 2020 - International Electronics Symposium: The Role of Autonomous and Intelligent Systems for Human Life and Comfort*, 199–206. <https://doi.org/10.1109/IES50839.2020.9231690>
- Lamaarti, F., Arafsha, F., Hafidh, B., & El Saddik, A. (2019). Automated Athlete Haptic Training System for Soccer Sprinting. *Proceedings - 2nd International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval, MIPR 2019*, 303–309. <https://doi.org/10.1109/MIPR.2019.00061>
- Li, R. T., Kling, S. R., Salata, M. J., Cupp, S. A., Sheehan, J., & Voos, J. E. (2016). Wearable Performance Devices in Sports Medicine. In *Sports Health* (Vol. 8, Issue 1, pp. 74–78). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/1941738115616917>
- Li, S., Zhang, B., Fei, P., Shakeel, P. M., & Samuel, R. D. J. (2020). Computational efficient wearable sensor network health monitoring system for sports athletics using IoT. In *Aggression and Violent Behavior* (p. 101541). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2020.101541>
- Lloret, J., Garcia, M., Catala, A., & Rodrigues, J. J. P. C. (2016). A group-based wireless body sensors network using energy harvesting for soccer team monitoring. *International Journal of Sensor Networks*, 21(4), 208–225. <https://doi.org/10.1504/IJSNET.2016.079172>
- Massard, T., Eggers, T., & Lovell, R. (2018). Peak speed determination in football: is sprint testing necessary? *Science and Medicine in Football*, 2(2), 123–126. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1398409>
- Mendez-Villanueva, A. (2012). Repeated High-Speed Activities during Youth Soccer Games in Relation to Changes in Maximal Sprinting and Aerobic Speeds. *Article in International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1316363>
- Modric, T., Versic, S., & Sekulic, D. (2020). Aerobic fitness and game performance indicators in professional football players; playing position specifics and associations. *Heliyon*, 6(11), e05427. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05427>
- Pappalardo, L., Cintia, P., Ferragina, P., Massucco, E., Pedreschi, D., & Giannotti, F. (2019). PlayeRank: Data-driven performance evaluation and player ranking in soccer via a machine learning approach. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 10(5), 59. <https://doi.org/10.1145/3343172>
- Sharma, M. S., & Shruti Thapar, M. (n.d.). Comparative Performance Analysis of AODV, DSDV and OLSR Routing Protocols in MANET Using OPNET. In *International Journal of Novel Research in Computer Science and Software Engineering* (Vol. 2). Retrieved May 12, 2021, from www.noveltyjournals.com

- Singh, K., & Verma, A. K. (2015, August 26). Experimental analysis of AODV, DSDV and OLSR routing protocol for flying adhoc networks (FANETs). *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies, ICECCT 2015*. <https://doi.org/10.1109/ICECCT.2015.7226085>
- Wehbe, G. M., Hartwig, T. B., & Duncan, C. S. (2014). Movement analysis of australian national league soccer players using global positioning system technology. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 834–842. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a35dd1>
- Yefa Mai, Yuxia Bai, & Nan Wang. (2017). Performance Comparison and Evaluation of the Routing Protocols for MANETs Using NS3. *J. of Electrical Engineering*, 5(4). <https://doi.org/10.17265/2328-2223/2017.04.003>

Evaluación y comparación de algoritmos para la detección automática de eventos sísmicos

Evaluation and comparison of algorithms for the automatic detection of seismic events

Álvaro Eduardo Armijos Sarango¹ <https://orcid.org/0000-0001-7118-3383>, Iván Santiago Palacios Serrano¹ <https://orcid.org/0000-0002-3894-3341>, Santiago Renán González Martínez¹ <https://orcid.org/0000-0001-6604-889X>

¹*Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
alvaro.armijos@ucuenca.edu.ec, ivan.palacios@ucuenca.edu.ec,
santiago.gonzalez@ucuenca.edu.ec

Enviado: 2021/06/25
Aceptado: 2021/09/28
Publicado: 2021/11/30

Resumen

La detección temprana de eventos sísmicos permite reducir daños materiales, el número de personas afectadas e incluso salvar vidas. En particular, la actividad sísmica en Ecuador es alta, dado que se encuentra en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. En tal contexto, el presente artículo tiene como objetivo comparar algoritmos para la detección automática de eventos sísmicos. Dicha comparación se realiza con respecto a la funcionalidad y configuración de los parámetros requeridos para cada algoritmo. Además, la implementación se lleva a cabo sobre una plataforma computacional tipo SBC (Single Board Computer) con la finalidad de obtener una herramienta portable, escalable, económica y de bajo costo computacional. Los métodos comparados son: Classic STA/LTA, Recursive STA/LTA, Delayed STA/LTA, Z-detector, Baer and Kradolfer picker y AR-AIC (Autoregressive-Akaike-Information-Criterion-picker). Para la evaluación y comparación se desarrollan múltiples experimentos empleando registros sísmicos reales proporcionados por la Red Sísmica del Austro (RSA), disponibles como fuente de entrada a los algoritmos. Como resultado se obtiene que el algoritmo Classic STA/LTA presenta el mejor rendimiento, ya que del total de eventos reales (58), solo un evento no fue detectado. Además, se consiguen 6 falsos negativos, logrando un 98,2% de precisión. Cabe recalcar que el software utilizado para la comparación de algoritmos de detección de eventos sísmicos está disponible de forma libre.

Sumario: Introducción, Metodología y componentes, Evaluación y resultados y Conclusiones.

Como citar: Armijos, A., Palacios, I., & González, S. (2021). Evaluación y comparación de algoritmos para la detección automática de eventos sísmicos. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 58-74.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/830>

Palabras clave: SBC, Classic STA/LTA, Recursive STA/LTA, Delayed STA/LTA, Z Detector, Baer and Kradolfer picker, AR-AIC, eventos sísmicos.

Abstract

Early seismic events detection might reduce the number of people affected and save lives. In particular, the seismic activity in Ecuador is high, given its location along the zone named the Pacific Belt of Fire. In this context, this paper presents a solution to compare algorithms for detecting seismic events. This comparison was performed both concerning the functionality and the configuration of the parameters required for each algorithm. This solution was implemented on an SBC platform (Single Board Computer) to obtain a portable, scalable, economical, and low-cost computational tool. The methods compared were: Classic STA/LTA, Recursive STA/LTA, Delayed STA/LTA, Z Detector, Baer and Kradolfer picker, and AR-AIC (Autoregressive-Akaike-Information-Criterion-picker). For the evaluation and comparison, multiple experiments were carried out using real data provided by the Regional Seismological Network (RSA). In particular, such registers were used as input data to the seismic algorithms. Results revealed that the algorithm with the best performance was the Classic STA/LTA, since from the total number of real events (58), only one was not detected. In addition, 6 false negatives were obtained, achieving 98,2% of precision. Finally, the software used for the comparison of the algorithms has been released for free usage, which represents another contribution of this work in the context of seismic analysis.

Keywords: SBC, Classic STA/LTA, Recursive STA/LTA, Delayed STA/LTA, Z Detector, Baer and Kradolfer picker, AR-AIC, seismic events.

Introducción

Los movimientos sísmicos son una causante crucial de grandes pérdidas de vidas y destrucción de propiedades. Acorde a los registros y reportes disponibles, en Ecuador el historial sísmico da cuenta de eventos a lo largo de cinco siglos en la región Sierra y al menos un siglo para la zona del Litoral, ver Beauval et al. (2013). Si bien eventos de magnitudes considerables han tenido lugar en la región del Litoral debido a la zona de subducción de las placas continentales, es en la región de la Sierra donde se han producido las mayores devastaciones, como es el caso de los terremotos acontecidos en las ciudades de Riobamba (1797) y Ambato (1949), ver Beauval et al. (2010).

En la Región Andina, las principales fuentes sísmicas son producto de la actividad volcánica, ver Lara Cueva et al. (2016), así como de las numerosas fallas geológicas existentes, ver Eguez et al. (2003). En particular, en la provincia del Azuay existen cuatro fallas geológicas (Paute, Girón, Gualaceo y Tarqui) y un historial de al menos cuatro sismos importantes. El más significativo ocurrió en 1887 y afectó considerablemente ciertas edificaciones de la ciudad de Cuenca. Dicho sismo fue de origen superficial y en una de las fallas geológicas cercanas, ver Jiménez et al. (2018).

Se sabe que los terremotos irradian energía en forma de ondas sísmicas. Las mismas se clasifican en ondas de cuerpo o internas y ondas superficiales. Las internas son aquellas que se propagan desde su origen hasta la superficie de la Tierra y se subdividen en ondas P (ondas primarias) y ondas S (ondas secundarias), como describe Otero (2018) y Sánchez et al. (2016). En cuanto a la captura de información, las estaciones sísmicas incorporan sensores especializados (v.g. acelerómetros, geófonos) para elaborar un registro continuo de datos. A su vez, la detección de las ondas P y S dentro de este registro permite determinar los eventos sísmicos, como se discute en Narverkar (2018).

En particular, el daño causado por un sismo depende del grado de preparación y de la capacidad de respuesta de la sociedad. Por lo tanto, la detección de eventos es fundamental para mitigar los detrimentos ocasionados por los sismos. Sin embargo, la detección automática de eventos sísmicos, en un registro continuo de datos de una red de estaciones sísmicas, es un desafío por el ruido sísmico que existe junto a las señales, como se describe en Sevilla (2019).

En este contexto, se revisan numerosos trabajos relacionados donde se emplean herramientas de *software/hardware* para la detección automática de eventos sísmicos, así como diversos estudios donde se comparan algoritmos y también se describen diferentes técnicas utilizadas en la detección de eventos en tiempo real.

En cuanto a la comparación de algoritmos, Sharma et al. (2010) discuten varios enfoques para detectar eventos sísmicos que presentan ruido de fondo. De igual forma, Vaezi y Van der Baan (2015) realizan la comparación entre el algoritmo STA/LTA (*Short-Time-Average Through Long-Time-Average Trigger*) y un método que emplea la Densidad Espectral de Potencia (PSD, *Power Spectral Density*) para la detección de microsismos. Los resultados del estudio indican que el mecanismo basado en la PSD permite detectar un mayor número de eventos que se pierden con el ruido de fondo. En cambio, Liu (2014), desarrolla un estudio donde además de comparar los métodos, se detallan un conjunto de criterios para el ajuste de parámetros característicos empleados en los algoritmos de detección.

Por otra parte, múltiples estudios proponen aplicar técnicas de Inteligencia Artificial para la detección de sismos. Por ejemplo, Mosher y Audet (2020) combinan un algoritmo de detección con una etapa de clasificación de eventos mediante redes neuronales. De forma similar, Zhu et al. (2019), proponen un sistema clasificador basado en Redes Neuronales Convolucionales (CNN, *Convolutional Neural Networks*) diseñado para la detección e identificación de fase de una onda sísmica. En cuanto al análisis de datos, Rojas et al. (2019), proponen la aplicación de Redes Neuronales Artificiales (ANN, *Artificial Neural Network*) para la interpretación automática de datos sísmicos, con un enfoque especial en la detección de terremotos. Además, Ghorbani et al. (2018) describen un estudio que tiene como objetivo mejorar la autenticidad de los datos de eventos sísmicos. Esto se lleva a cabo mediante el uso de un método difuso y un algoritmo de red neuronal integrado, que involucra al perceptrón Multicapa (MLP, *Multilayer Perceptron*) y la red RBF (*Base Radial Function*) en forma de un sistema de aprendizaje colectivo con el fin de identificar eventos sísmicos a pequeña escala.

Adicionalmente, Reynen y Audet (2019) detallan un caso de estudio realizado en la región Sur de California, donde se aplican técnicas de aprendizaje automático para discriminar señales sísmicas. Los resultados indican que el sistema es capaz de distinguir entre explosiones y terremotos con una precisión del 99%. Por otro lado, Chamberlain y Townend (2018) exploran una extensión del método *matched-filter* para detectar terremotos de baja frecuencia en escalas locales a regionales. También existen nuevos algoritmos que utilizan como base el método STA/LTA. Uno de ellos es el STAFD/LTAFD (*Short-Time-Average Fractal Dimension Through Long-Time-Average Fractal Dimension*) desarrollado por Xhang et al. (2018). De forma similar, Jones y van der Baan (2015) presentan un algoritmo adaptativo que utiliza STA/LTA y los modelos ocultos de Markov (HMM). Otra implementación realizada por Choubik et al. (2020), utiliza el algoritmo STA/LTA y el modelo *Hadoop MapReduce* (modelo de programación para dar soporte a la computación paralela sobre grandes colecciones de datos) para acelerar el proceso de detección al reducir el tiempo de procesamiento.

En este contexto, en el presente artículo se evalúan y comparan algoritmos para la detección automática de ondas sísmicas tipo P y S. En particular, se emplea un conjunto de

algoritmos destacados en la literatura para el procesamiento de eventos sísmicos, tales como: Classic STA/LTA, Recursive STA/LTA, Delayed STA/LTA, Z-detector, ver Toledo (2014), Baer and Kradolfer picker, ver Baer y Kradolfer (1987) y AR-AIC (Autoregressive-Akaike-Information-Criterion-picker), ver Sleeman y Van Eck (1999). Esta comparación se realiza con respecto a la funcionalidad y configuración de los parámetros requeridos para cada algoritmo. Para llevar a cabo dicho análisis se diseña e implementa una herramienta de *software* denominada RSADE, la cual emplea la librería ObsPy. La herramienta implementada permite realizar varios experimentos por cada método utilizando registros sísmicos reales. Como resultado se obtiene que el algoritmo Classic STA/LTA presenta el mejor rendimiento, logrando un 98,2% de precisión. Cabe destacar que el *software* RSADE se encuentra disponible para uso de forma libre, ver Armijos (2021).

En cuanto a las herramientas de *software* disponibles para análisis sísmicos, existen diferentes propuestas. Por ejemplo, PICOSS es una plataforma gráfica en Python para la detección, segmentación y clasificación de datos sísmicos-volcánicos. El usuario puede seleccionar flujos de trabajo automáticos o manuales, incluidas las redes neuronales profundas como se explica en Bueno et al. (2020). También hay métodos analíticos en la ingeniería sísmica basados en el rendimiento (PBEE, Performance-based earthquake engineering) generalmente emplean conjuntos de registros de movimiento del suelo para obtener métricas de rendimiento estructural. En este contexto, EaRL, ver Elkady y Lignos (2020), es un *software* basado en Matlab que tiene como objetivo facilitar los cálculos PBEE proporcionando una interfaz gráfica, varias opciones de visualización de datos y además es de código abierto. De igual forma, R2R-EU es una herramienta PBEE que implementa numéricamente varios métodos para estimar la fragilidad sísmica específica de una estructura. El usuario puede elegir el método de análisis entre *Bootstrap* no paramétrico y el método delta, como se detalla en Baraschino et al. (2020). Finalmente, APASVO, ver Romero et al. (2020), es una herramienta gráfica en Python de código abierto que permite la detección automática de la onda P y de eventos sísmicos. La aplicación utiliza los algoritmos STA/LTA, AMPA y AIC.

Al comparar las herramientas descritas anteriormente con el *software* implementado RSADE, cabe destacar que es de código abierto en Python que tiene las funcionalidades de análisis en intervalos de tiempo, generación de gráficas de los resultados, exportación de los resultados de detección de eventos, creación de nuevos archivos miniSeed con los datos de los intervalos de interés y además permite elegir entre varios algoritmos de detección de eventos. Todas estas funcionalidades se desarrollaron en una plataforma SBC (Raspberry Pi 3), la cual es ampliamente utilizada en múltiples aplicaciones por sus capacidades de versatilidad, robustez, con prestaciones actuales y disponibilidad de diversos periféricos. En consecuencia, se implementa una herramienta portátil, escalable, de bajo costo y uso mínimo de CPU para optimizar el rendimiento del dispositivo SBC.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta la Metodología y Componentes, en la Sección 3 se presenta la Herramienta implementada y los Resultados obtenidos y finalmente en la Sección 4 las Conclusiones.

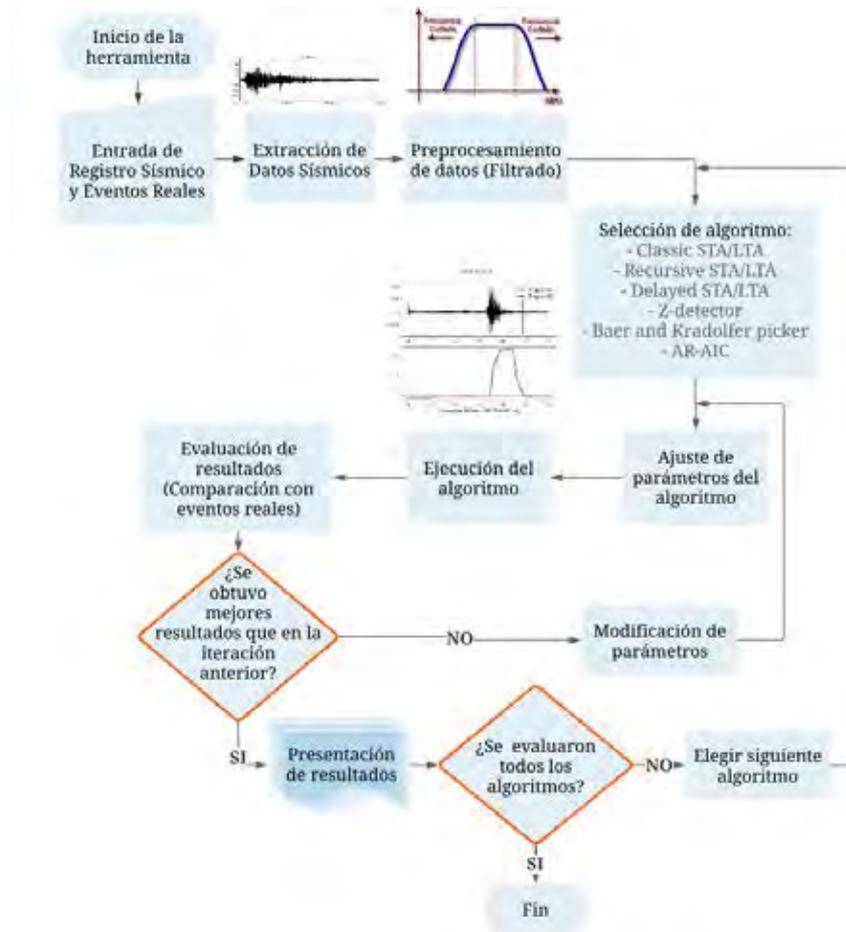
Metodología y componentes

En esta sección se detalla la metodología que se utilizó para la evaluación de los diferentes algoritmos de detección automática de eventos sísmicos. En la Figura 1 se presenta un diagrama de la metodología que se empleó para la comparación de cada algoritmo. Como se aprecia, en primera instancia, el sistema se alimenta con información de eventos sísmicos reales previamente obtenidos con estaciones acelerográficas de la Red Sísmica del Austro (RSA) adscrita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador, en

formato miniSeed. Se utilizaron datos en formato miniSeed para la comparación de los métodos (Armijos, 2021). Luego se realizó un preprocesamiento de estos datos, que consistió en una etapa de normalización mediante un factor de conversión y en una etapa de filtrado (filtro pasa banda) para eliminar el *offset* generado por los sensores y las frecuencias altas.

Figura 1

Metodología para el análisis y comparación de algoritmos de detección automática de eventos sísmicos



A continuación, en el procesamiento se utilizaron los diferentes métodos de detección disponibles en la librería ObsPy. Para cada método se configuraron distintos parámetros con valores iniciales y se obtuvieron los primeros resultados con registros de eventos sísmicos reales. Posteriormente, se ajustaron los parámetros, se logró nuevamente los resultados y se verificó si se consiguió mayor éxito en comparación a la iteración anterior. De esta manera, se repitió el procedimiento de ajuste de parámetros hasta alcanzar los mejores valores para cada algoritmo. Además, para cada algoritmo se realizaron 10 pruebas, solo para el método AR-AIC se ejecutaron 8 experimentos. Para comparar los resultados obtenidos se empleó un conjunto de 58 registros con eventos sísmicos y 58 sin eventos, para evaluar el mejor resultado de cada algoritmo de detección y obtener la matriz de confusión de cada uno. En la matriz de confusión se tuvo los parámetros: Verdaderos Positivos (VP), Falsos Positivos (FP), Falsos Negativos (FN), que vendría a ser el ruido y Verdaderos Negativos (VN). Finalmente, como resultados se presentaron graficas con la información de los VP, FP y FN, además de la matriz de confusión para cada algoritmo.

Características de los métodos de detección

Los parámetros adecuados para cada algoritmo obedecen a diferentes factores, como por ejemplo el nivel de ruido promedio, la sensibilidad de los sensores sísmicos y la distancia a la que se encuentran las estaciones sísmicas. Por consiguiente, los valores adecuados de los parámetros difieren para cada método. No obstante, existen recomendaciones que se pueden tomar como referencia para el desarrollo de experimentos. En particular, los valores iniciales de los parámetros empleados en el presente trabajo se basan en las recomendaciones descritas por Jones y van der Bann (2015), así como en los ejemplos iniciales de *Trigger/Picker Tutorial—ObsPy Documentation* (2021).

En este sentido, según Trnkoczy (2009), el parámetro STA sirve como un filtro de señal, y cuanto menor sea la duración seleccionada mayor será la sensibilidad y viceversa. Específicamente, para el caso de eventos regionales, un valor típico de STA se encuentra entre 1 y 2 segundos y para eventos locales es más común emplear valores entre 0.3 y 0.5 segundos. Por otro lado, un valor de LTA corto puede mitigar los disparos falsos debido al ruido generado por fuentes artificiales (v.g. personas, vehículos). Un valor común para este parámetro fue de 60 segundos. Además, se debe considerar que los algoritmos disponibles en ObsPy reciben los parámetros NSTA (*Length of short time average window in samples*) y NLTA (*Length of long time average window in samples*), por lo que los valores recomendados se deben convertir de tiempo a número de muestras considerando la frecuencia de muestreo de los registros.

Por otra parte, el umbral de activación (*trigger*) determina en, mayor medida, qué eventos se registraron y cuáles no. Cuanto mayor es el valor que se establece, un mayor número de eventos no son registrados, pero se produce menos disparos falsos. Un valor típico inicial para el nivel de umbral de activación STA/LTA es de 4. De similar manera, un nivel de umbral de desactivación (*detrigger*) STA/LTA demasiado bajo no es recomendado. Lo último puede ocasionar la detección de eventos sísmicos de tamaño indefinido. Un valor inicial típico del nivel de umbral de *detrigger* es de 2 a 3. A partir de las consideraciones descritas, así como de un considerable número de pruebas realizadas, a continuación, se indican los parámetros empleados para los experimentos con los distintos algoritmos.

Parámetros utilizados

Los experimentos realizados con diferentes parámetros se presentan en la Tabla 1, donde se observa que se realizaron 10 experimentos denominados desde P1 hasta P10. Cabe destacar que los parámetros de STA y LTA se encuentran en segundos.

En cuanto al algoritmo Classic STA/LTA, se comenzó con unos parámetros iniciales (P1) y se generaron los resultados comparando con los eventos reales. Luego, se modificaron los parámetros y se determinaron si los resultados mejoraron. Este procedimiento de ajuste de parámetros se repitió hasta obtener los mejores resultados. Por lo tanto, se realizaron más pruebas de las que se muestran en la Tabla 1, en este caso, solo se publicaron las más relevantes.

En el caso del método Recursive STA/LTA y Delayed STA/LTA se procedió de igual forma que con el algoritmo anterior. Se definió un valor inicial y se fue iterando a base de los resultados obtenidos. Sin embargo, como se mencionaba, estos valores no van a ser adecuados para todos los casos, sino que dependen de otros factores tales como el nivel de ruido promedio, sensibilidad de los sensores sísmicos y magnitud de los eventos.

El algoritmo Z Detector no recibe como entrada el parámetro LTA, como los métodos basados en STA/LTA, pero de igual forma se realizaron las pruebas variando los parámetros en cada una. Algo que se debe considerar en este algoritmo es el tiempo de procesamiento. En

los algoritmos anteriores el tiempo de procesamiento promedio fue menor a 1 minuto. Pero en el método Z Detector, conforme aumenta el valor de STA, el tiempo en el que se ejecuta el algoritmo aumenta, llegando incluso a 30 minutos de procesamiento.

Tabla 1
Parámetros de los distintos algoritmos

ALGORITMO	PARÁMETRO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Classic STA/LTA	Trigger on	1.5	1.3	1.2	1.15	1.1	1.15	1.15	1.15	1.15	5
	Trigger off	0.5	0.7	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.5	0.5
	Sta	5	5	50	50	500	40	40	40	10	0.5
	Lta	10	10	100	100	1000	70	200	500	70	70
Delayed STA/LTA	Trigger on	5	1	1	18	1.4	103	2	103	124	101
	Trigger off	10	5	20	30	1.5	100	3	100	121	100
	Sta	2.1	5.2	21	1.7	80	20	300	4	10	5
	Lta	2.3	5.5	23	2	90	2000	350	400	1200	500
Recursive STA/LTA	Trigger on	1.5	1.15	2	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	Trigger off	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.95
	Sta	8.5	100	1000	10	20	40	40	20	6	20
	Lta	14	200	3000	70	50	80	120	100	12	40
Z Detector	Trigger on	1	2	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1
	Trigger off	0.5	1	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
	Sta	10	50	200	2	0.5	1	7	2	20	8
Baer-and Kradolfer-picker	Trigger on	1E+0 8	7	1E+0 8	1E+0 8	7	10	7	1E+0 8	10	20
	Trigger off	2E+0 6	12	2E+0 6	2E+0 6	12	12	12	2E+0 6	12	30
	Thr1	10	7	10	300	10	7	10	10	7	7
	Thr2	2	12	200	2	20	12	20	2	12	15
	Tdownmax	1	20	1	1	10	20	10	1	20	20
	Tupevent	640	60	640	640	2	60	97	640	60	60
	Preset len	640	100	640	640	384	100	100	6	200	100
	P dur	6	100	6	6	100	100	100	6	200	100
AR-AIC	F1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-
	F2	20	20	20	20	8	20	20	20	-	-
	Lta p	1	2	10	100	1	8	8	8	-	-
	Sta p	0.1	0.2	1	10	0.1	2	2	2	-	-
	Lta s	4	8	40	400	4	6	6	6	-	-
	Sta s	1	2	10	100	1	3	3	3	-	-
	M_p	2	4	20	200	2	2	10	2	-	-
	M_s	8	16	80	800	8	8	15	8	-	-
	L_p	0.1	0.2	1	10	0.1	0.1	0.1	1	-	-
	L_s	0.2	0.4	2	20	0.2	0.2	0.2	3	-	-

Para los algoritmos Baer and Kradolfer picker y AR-AIC se tienen más parámetros que para los métodos basados en STA/LTA. Estos algoritmos también se probaron con valores disponibles en Trigger/Picker Tutorial—ObsPy Documentation (2021) y a base de los resultados obtenidos se modificaron los diferentes parámetros.

Evaluación y resultados

En esta sección se describe la herramienta de *software* RSADE implementada para la evaluación de algoritmos de detección de eventos sísmicos. Además, se presentan los resultados obtenidos con los diferentes algoritmos.

Software para la detección automática de eventos sísmicos

La herramienta para la evaluación de los algoritmos de detección de eventos se implementa en Python. Entre las funcionalidades incorporadas se encuentran las capacidades de graficar eventos en diferentes intervalos de tiempo, exportar un archivo miniSeed con los datos de los intervalos de tiempo seleccionados y además guardar todos los eventos obtenidos con hora de inicio y fin en un archivo de texto. La Figura 2 describe la estructura de la herramienta mostrando las clases del sistema, sus atributos y métodos. Por ejemplo el método graficar_eventos() de la clase Graficar es público y permite visualizar los registros sísmicos. El método obtener_eventos() permite guardar todos los eventos sísmicos del análisis, con hora de inicio y fin del sismo en un archivo de texto. El método obtener_miniSeed() permite segmentar el archivo de análisis dependiendo de la hora de inicio y fin seleccionada. Y el método seleccionar_metodo() permite elegir el algoritmo de detección. En la Figura 3 se presenta una captura del sistema RSADE donde se resaltan sus principales funcionalidades. Cabe indicar que el *software* se libera para su uso y experimentación. La funcionalidad y configuración en detalle de la herramienta se puede revisar en Armijos (2021).

Figura 2

Diagrama de clases de la herramienta RSADE

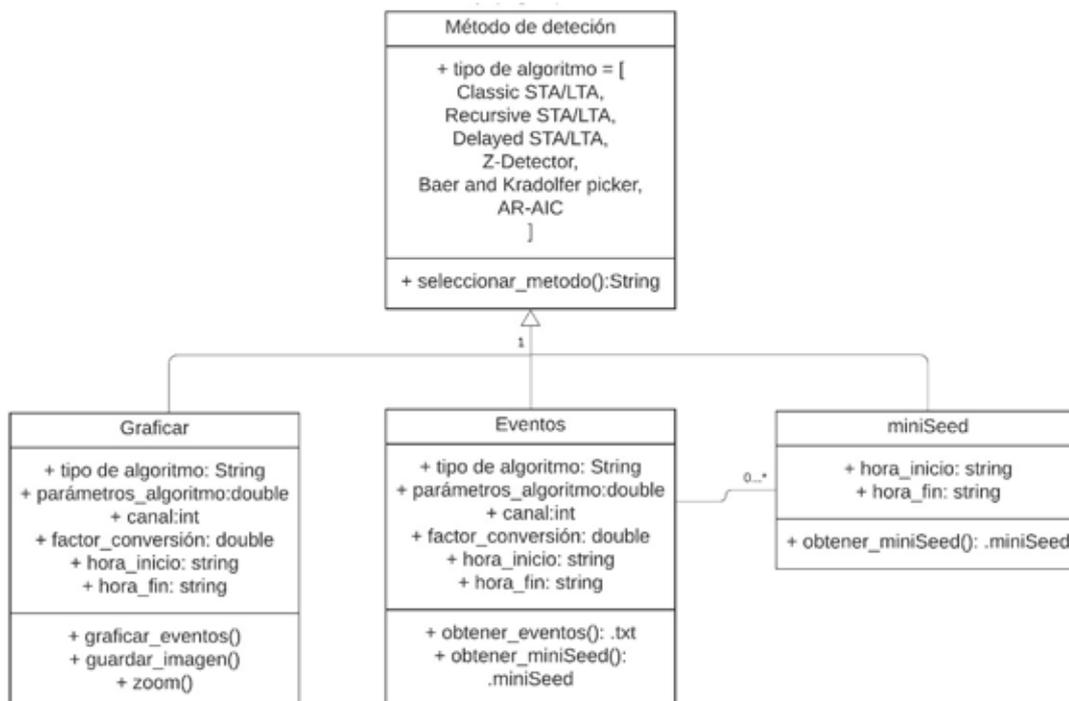
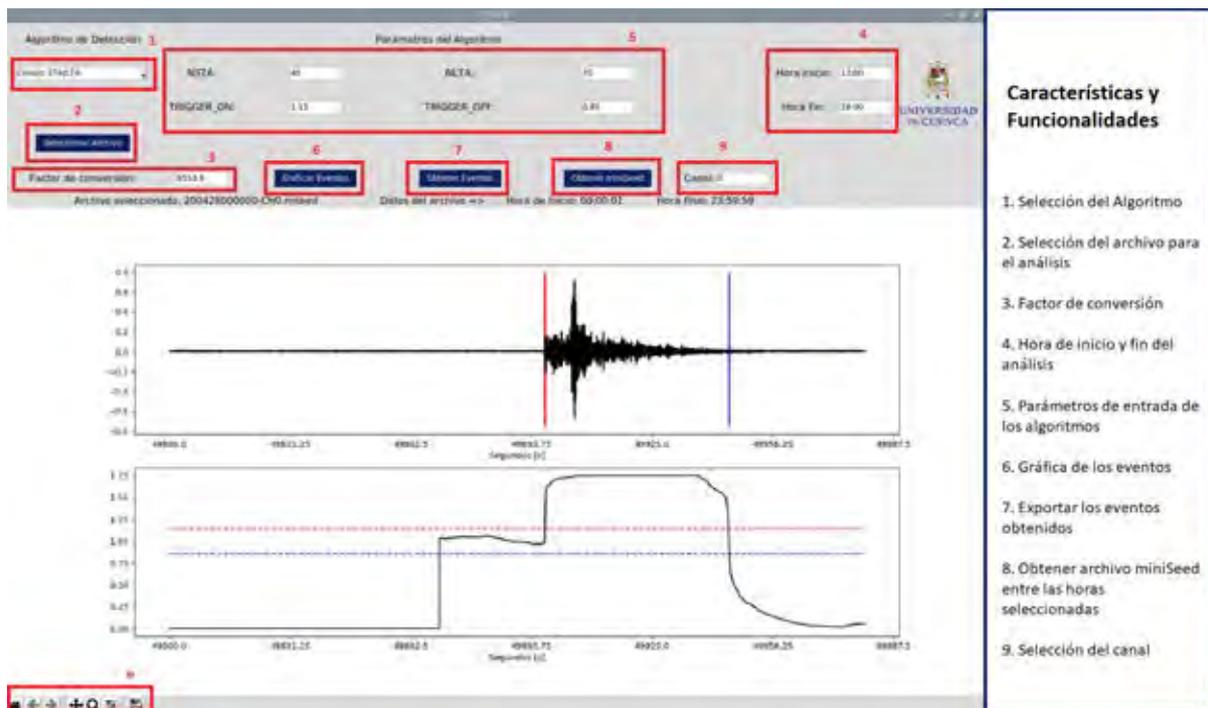


Figura 3*Características y Funcionalidades de la Herramienta RSADE*

Los casos de uso de la herramienta se muestran en la Figura 4. Aquí la herramienta es el sistema y el actor el usuario. Para seleccionar el algoritmo únicamente interviene el usuario, pero para los otros casos de uso como graficar, obtener eventos y miniSeed también interviene la herramienta ya que es la que "prepara" todo para dar los resultados al usuario.

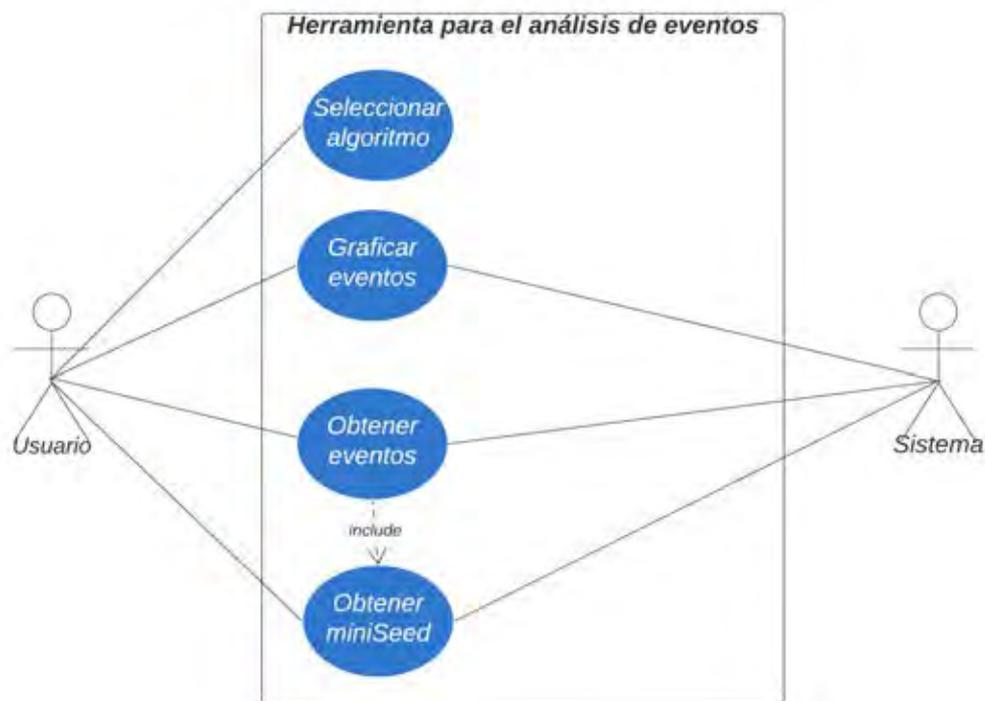
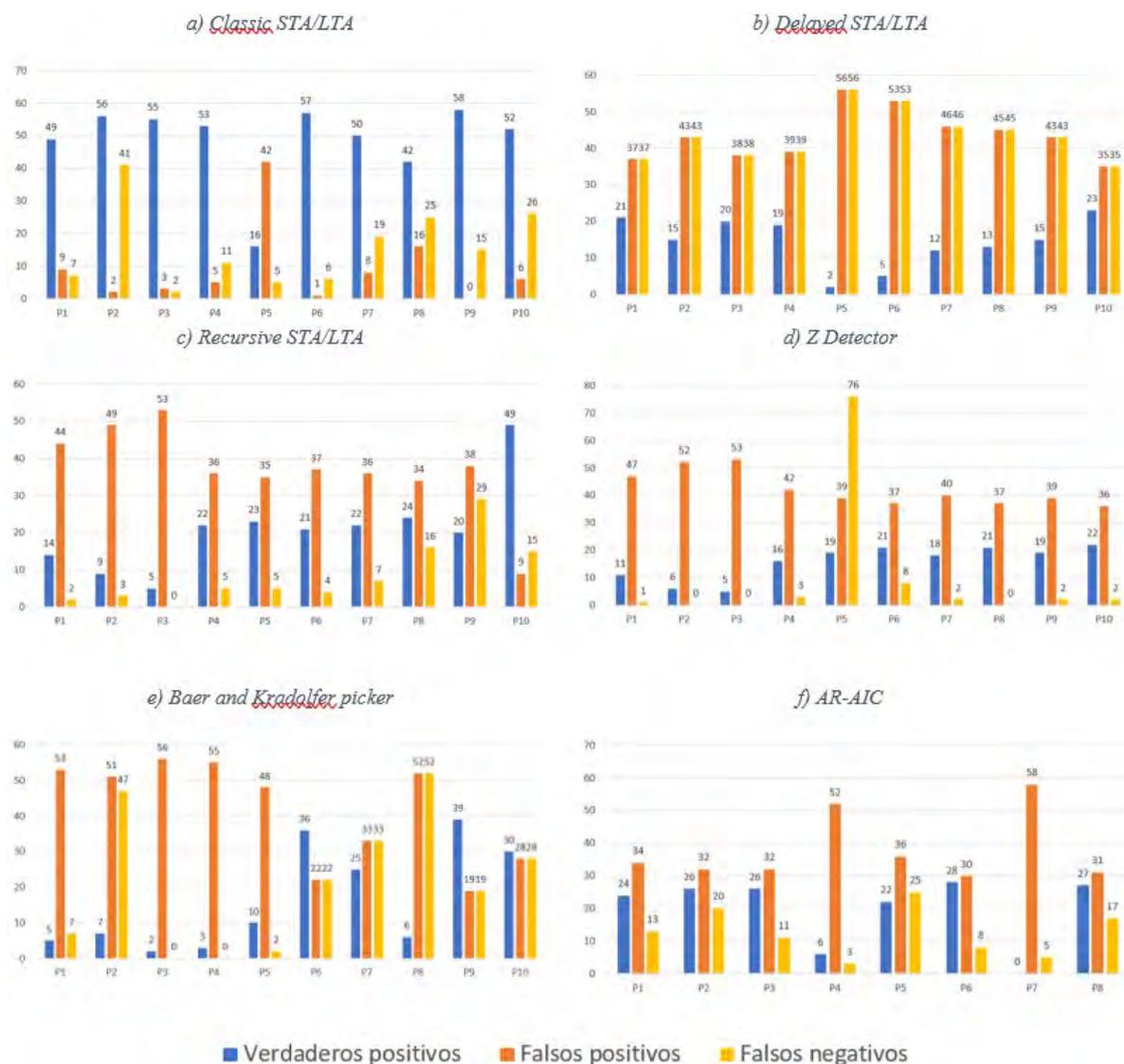
Figura 4*Casos de uso de la herramienta RSADE*

Figura 5

Resultados obtenidos con los diferentes algoritmos



Comparación de algoritmos de detección de eventos sísmicos

Para la comparación de los algoritmos se utiliza un conjunto de 58 registros con eventos sísmicos y 58 sin eventos. Los parámetros utilizados son: Verdaderos Positivos (VP) que es la predicción de un evento que corresponde a un evento real, Falsos Positivos (FP) que son los eventos que no se detectaron, Falsos Negativos (FN), que es el ruido y Verdaderos Negativos (VN). Luego, para evaluar los resultados se emplea la matriz de confusión que es una herramienta que permite visualizar el desempeño de un algoritmo. Una de las métricas de la matriz de confusión es la precisión, que viene a ser la proporción de VP dividido entre todos los resultados positivos (tanto VP como FP).

Los resultados obtenidos en cada experimento para todos los algoritmos se presentan en la Figura 5. En primer lugar, los resultados del algoritmo Classic STA/LTA se muestran en la Figura 5a. Como se puede observar, con la prueba 9 (P9) se detectan todos los eventos reales y se tiene un total de 15 falsos negativos, lo cual no es conveniente. Con este análisis, la prueba que mejores resultados ofrece es la P6, en la cual solo un evento no se detecta, se obtienen 6 falsos positivos y se logra un total de 57 verdaderos positivos.

El algoritmo Delayed STA/LTA genera los resultados mostrados en la Figura 5b. El mejor resultado se obtiene en el experimento P10, donde se detectan un total de 58 eventos, de los cuales 23 son verdaderos positivos y 35 falsos positivos. En consecuencia, los resultados obtenidos con el método Delayed STA/LTA no son los mejores.

Con el último método basado en STA/LTA, el Recursive, se consiguieron los resultados de la Figura 5c. A base de los valores utilizados en P1 se ajustan los parámetros hasta mejorar el rendimiento. Se observa claramente que P10 fue la prueba con mejores resultados, ya que se lograron 64 eventos en total, de los cuales 49 fueron verdaderos positivos y 9 falsos positivos.

Continuando con la evaluación experimental, los resultados obtenidos con el algoritmo Z Detector se observan en la Figura 5d. En general, todas las pruebas tienen un porcentaje de eventos detectados bajo. La máxima cantidad de verdaderos positivos (22) de un total de 24 eventos obtenidos, fue en P10.

Para el algoritmo Baer and Kradolfer picker se generan los resultados de la Figura 5e. El mejor resultado con este método se obtiene en P9. En esta prueba se detectan 39 verdaderos positivos de un total de 58 eventos. Finalmente, para el algoritmo AR-AIC se puede observar que se realizan 8 pruebas, esto debido a que los resultados son parecidos a pesar de modificar los parámetros, a excepción de P4 y P7. El mejor resultado se obtiene en P6 (Figura 5f) ya que se logran 28 verdaderos positivos. Por lo tanto, se tiene 48 % de efectividad.

Selección de los mejores resultados

La matriz de confusión con la clasificación de evento y no evento para el mejor resultado de cada algoritmo se presenta en la Figura 6. De los 6 métodos comparados, el algoritmo Classic STA/LTA obtiene el mayor rendimiento, ya que como se muestra en la Figura 6a con los resultados de la matriz de confusión se tiene una precisión del 98,2%. Cabe destacar que el algoritmo Classic STA/LTA detecta sismos comparando los niveles de movimiento del suelo a corto plazo con los niveles de movimiento del suelo a largo plazo, de esta manera se mejora significativamente el registro de sismos de baja magnitud en comparación con los otros algoritmos. También reduce el número de registros falsos provocados por el ruido sísmico natural y provocado por el hombre, como se detalla en Sevilla (2019).

Por otro lado, el método Recursive STA/LTA genera un 84,4% de precisión, como se observa en la Figura 6c. De igual forma en la Figura 6e, se describen los resultados para el método Baer and Kradolfer picker, el cual alcanza una precisión del 67,2%.

En cuanto a los métodos restantes, los resultados indican niveles inferiores de precisión. En concreto un 48.2% para el mecanismo AR-AIC (Figura 6f), 37.9% para el algoritmo Z Detector (Figura 6d). Finalmente, para el caso del método Delayed STA/LTA descrito en la Figura 6b, el nivel de precisión alcanza tan solo el 35.9%.

En la Figura 7 se presenta uno de los eventos sísmicos más relevantes, obtenido con el algoritmo Classic STA/LTA. En la parte superior de la figura se puede observar la llegada de la onda P (primaria) con la línea vertical de color rojo y el final de la onda S (secundaria) con la línea azul. En la parte inferior se muestra la función característica y el umbral *trigger/dettrigger* configurado.

Figura 6

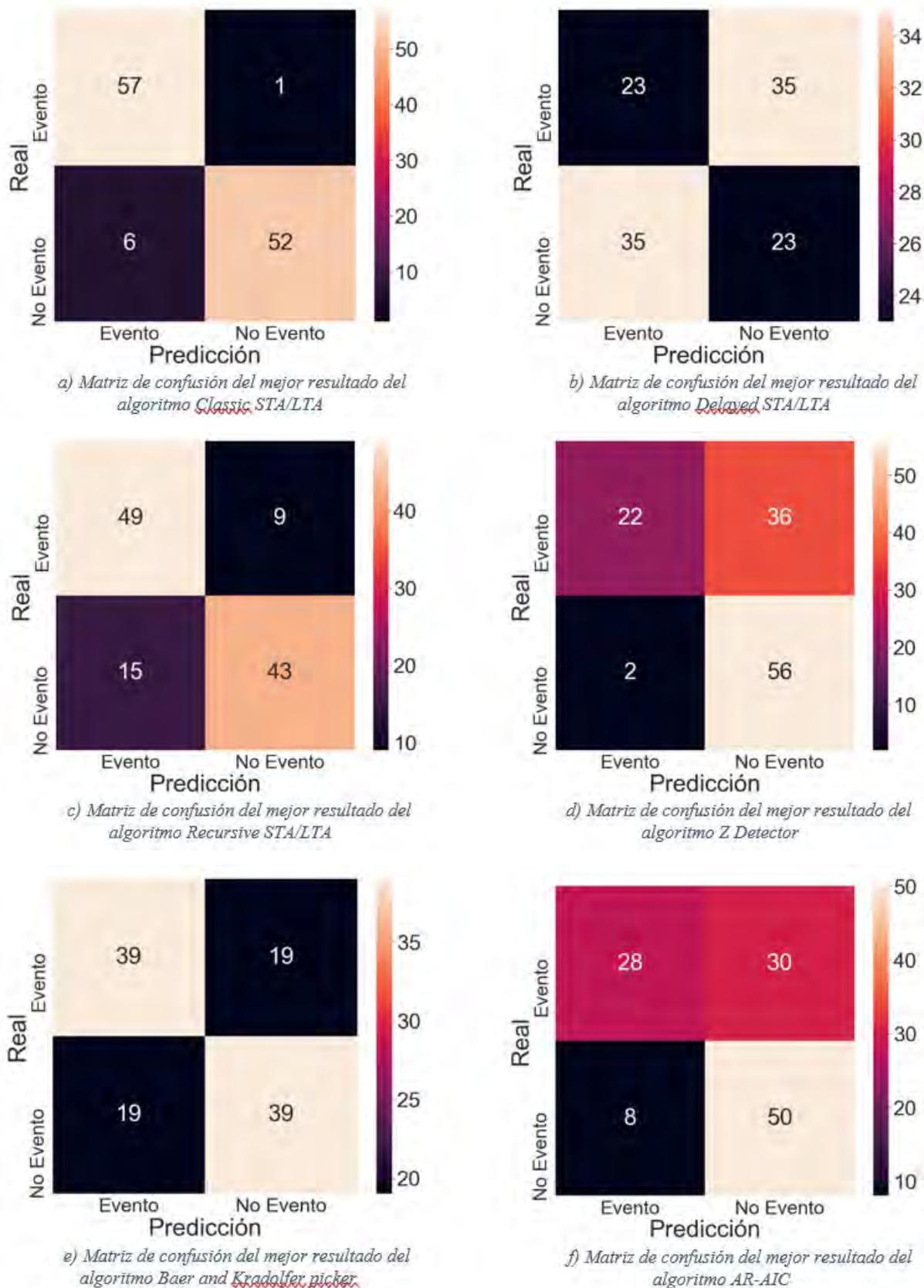
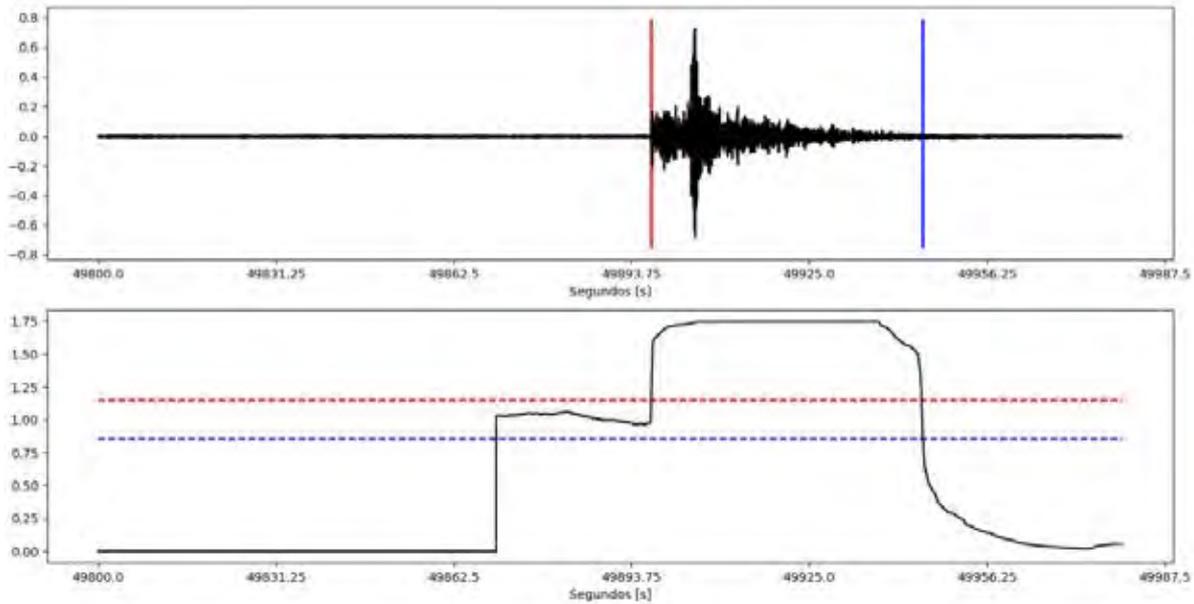


Figura 7

Evento sísmico obtenido con el Algoritmo Classic STA/LTA

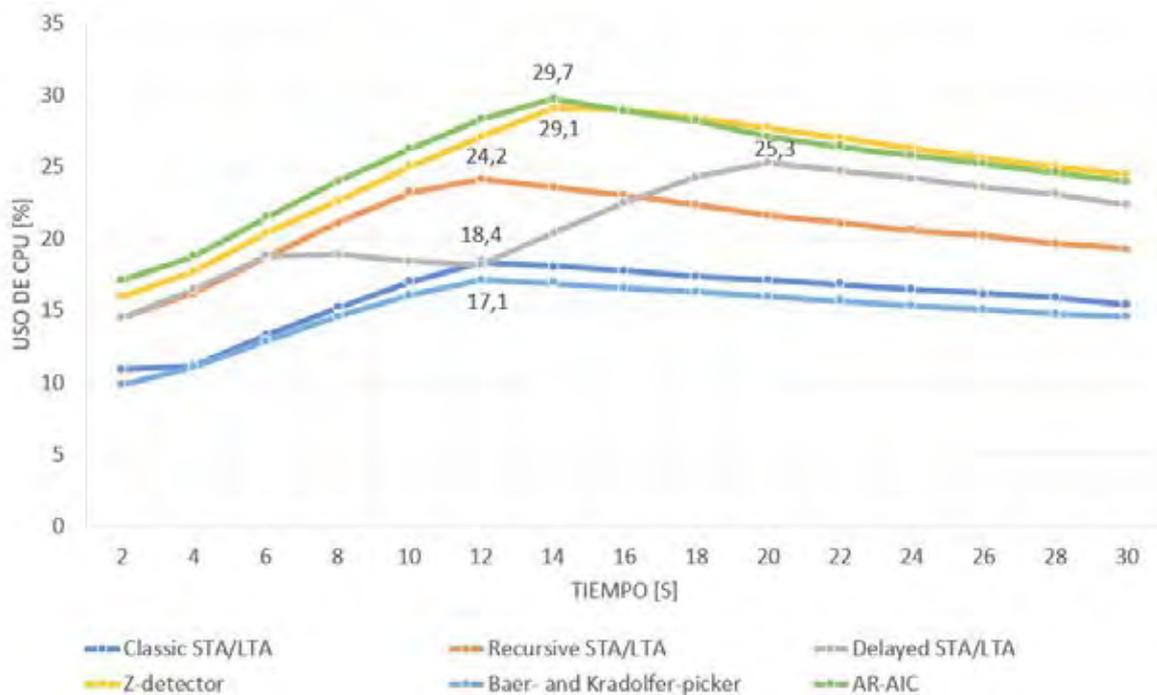


Evaluación del rendimiento del dispositivo SBC

Como se describe previamente, la implementación de la herramienta de software y la comparación de los métodos se realizan sobre una plataforma SBC. En tal sentido, se diseñan experimentos para evaluar el rendimiento de la plataforma al ejecutar los diferentes algoritmos. Específicamente, se determina el uso de CPU del dispositivo SBC para cada método de detección como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Uso de CPU por cada algoritmo



Con el objetivo de obtener estos resultados, se emplea un registro sísmico de 30 minutos para cada algoritmo. Además, se utilizan los mejores parámetros obtenidos en la subsección anterior y, finalmente, se captura el uso de la CPU de la Raspberry Pi durante 30 segundos ya que en promedio el tiempo de procesamiento de este registro es de 10 segundos. Como se puede apreciar en las curvas, los algoritmos que más costo computacional demandan son el Z Detector y AR-AIC. Mientras que el método Classic STA/LTA, que genera los mejores resultados, presenta un pico máximo de 18 % de uso de CPU.

En cuanto al método que menor costo computacional requiere es el de Baer and Kradolfer picker, en este caso el máximo valor obtenido es de 17.1 %. Finalmente, cabe destacar que en ningún caso se presentan sobrecargas en la CPU, por consiguiente, el uso de la plataforma SBC es adecuado para el estudio descrito.

Conclusiones

En este artículo se presenta un estudio de evaluación y comparación de algoritmos para la detección de eventos sísmicos. Con tal propósito se desarrolla una herramienta de *software* que permite leer un registro sísmico, detectar con diversos algoritmos los eventos sísmicos de dicho registro y la comparación de resultados de forma rápida y sencilla. Además, dispone de las funcionalidades de análisis en intervalos de tiempo, obtener gráficas de los resultados, exportación de los resultados y creación de nuevos archivos miniSeed con los datos de los intervalos de interés. La decisión de liberar el *software* RSADE tiene la finalidad de que siga creciendo y mejorando con aportes de personas interesadas en este ámbito y que pueda ser usada para desarrollar más estudios sobre la detección de eventos sísmicos.

Con respecto a los experimentos realizados para cada algoritmo, se obtiene como resultado que el método Classic STA/LTA es el que mejores resultados genera, bajo las condiciones de los registros sísmicos de la Red Sísmica del Austro (nivel de ruido promedio, sensibilidad de los sensores sísmicos, distancia a la que se encuentran las estaciones sísmicas, magnitud). Con este algoritmo se obtiene una precisión del 98,2%. Por otro lado, para otros algoritmos como el Baer and Kradolfer picker se logra una baja tasa de detección debido a que varios de los eventos sísmicos tienen baja magnitud.

Adicionalmente, se realiza la evaluación del uso de CPU de la plataforma SBC. Como resultado se obtiene que los algoritmos que más costo computacional requieren son el Z Detector y AR-AIC, por lo que no serían óptimos para una implementación en tiempo real. Mientras que el método con menor uso de CPU es el de Baer and Kradolfer picker.

Como trabajos futuros se plantea aplicar técnicas de inteligencia artificial como Redes Neuronales o *Support Vector Machines* para la detección automática de eventos sísmicos. Como datos de entrada se plantea emplear registros sísmicos reales de varios institutos de sismología de forma similar a los utilizados en el presente trabajo. Además, con base en los resultados obtenidos, se va a utilizar el algoritmo Classic STA/LTA para implementar en tiempo real el sistema de detección automática de eventos sísmicos.

Cabe recalcar que al tener implementado el sistema en una Raspberry Pi 3 se puede replicar el *software* en diferentes dispositivos de forma rápida y económica, ya que al ser una plataforma de bajo costo permite que el sistema sea escalable, portable y fácil de manejar.

Reconocimientos

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto de Investigación Tecnologías IoT y Redes Inalámbricas de Sensores Aplicados a la Monitorización de Salud Estructural en Edificios Esenciales de la Ciudad de Cuenca y forma parte de la Tesis Evaluación y Comparación de Algoritmos para la Detección Automática de Ondas Sísmicas.

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y a la Red Sísmica del Austro (RSA), por el apoyo y facilidades brindadas para la consecución del presente trabajo.

Referencias

- Akram, J., Peter, D., & Eaton, D. (2018). A k-mean characteristic function to improve STA/LTA detection. *Proceedings of the Geoconvention, Calgary, AB, Canada*, 7-11.
- Armijos, A. (2021). *Alvaroarmijos/RSADE* [Python]. <https://github.com/alvaroarmijos/RSADE> (Original work published 2020)
- Baer, M., & Kradolfer, U. (1987). An automatic phase picker for local and teleseismic events. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(4), 1437-1445.
- Baraschino, R., Baltzopoulos, G., & Iervolino, I. (2020). R2R-EU: Software for fragility fitting and evaluation of estimation uncertainty in seismic risk analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 132, 106093. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106093>
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J.-C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613-1633.
- Beauval, C., Yepes, H., Palacios, P., Segovia, M., Alvarado, A., Font, Y., Aguilar, J., Troncoso, L., & Vaca, S. (2013). An earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2A), 773-786.
- Bueno, A., Zuccarello, L., Díaz-Moreno, A., Woollam, J., Titos, M., Benítez, C., Álvarez, I., Prudencio, J., & De Angelis, S. (2020). PICOSS: Python Interface for the Classification of Seismic Signals. *Computers & Geosciences*, 142, 104531. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104531>
- Chamberlain, C. J., & Townend, J. (2018). Detecting real earthquakes using artificial earthquakes: On the use of synthetic waveforms in matched-filter earthquake detection. *Geophysical Research Letters*, 45(21), 11,641-11,649.
- Choubik, Y., Mahmoudi, A., Himmi, M. M., & El Moudnib, L. (2020). STA/LTA trigger algorithm implementation on a seismological dataset using Hadoop MapReduce. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 9(2), 269.
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M. N., Costa, C., Dart, R. L., & Bradley, L. A. (2003). Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. *US Geological Survey Open-File Report*, 3, 289.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2020). EaRL—Software for Earthquake Risk, Loss and Lifecycle Analysis. *SoftwareX*, 12, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100607>
- Ghorbani, S., Barari, M., & Hoseini, M. (2018). Presenting a new method to improve the detection of micro-seismic events. *Environmental monitoring and assessment*, 190(8), 1-13.
- Jiménez, J., Cabrera, J., Sánchez, J., & Avilés, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto. *Maskana*, 9(1), 59-78.

- Jones, J. P., & van der Baan, M. (2015). Adaptive STA–LTA with outlier statistics. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(3), 1606-1618.
- Küperkoch, L., Meier, T., & Diehl, T. (2012). Automated event and phase identification. En *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)* (pp. 1-52). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Lara-Cueva, R. A., Benítez, D. S., Carrera, E. V., Ruiz, M., & Rojo-Álvarez, J. L. (2016). Automatic recognition of long period events from volcano tectonic earthquakes at cotopaxi volcano. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(9), 5247-5257.
- Liu, H., & Zhang, J. Z. (2014). STA/LTA algorithm analysis and improvement of Microseismic signal automatic detection. *Progress in Geophysics*, 29(4), 1708-1714.
- Mosher, S. G., & Audet, P. (2020). Automatic Detection and Location of Seismic Events From Time-Delay Projection Mapping and Neural Network Classification. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(10), e2020JB019426.
- Narvekar, N. (2018). Distinguishing earthquakes and noise using random forest algorithm. Master's Projects. <https://doi.org/10.31979/etd.6kxb-c9tu>
- Obspy. 12. *Trigger/Picker Tutorial—ObsPy Documentation (1.2.0)*. (2021). Recuperado de https://docs.obspy.org/tutorial/code_snippets/trigger_tutorial.html
- Otero, D. Z. (2018). ONDAS SÍSMICAS, su importancia para la geofísica y la humanidad. *Universidad Industrial de Santander*, 3(4).
- Reynen, A., & Audet, P. (2017). Supervised machine learning on a network scale: Application to seismic event classification and detection. *Geophysical Journal International*, 210(3), 1394-1409.
- Rojas, O., Otero, B., Alvarado, L., Mus, S., & Tous, R. (2019). Artificial neural networks as emerging tools for earthquake detection. *Computación y Sistemas*, 23(2), 335-350.
- Romero, J. E., Titos, M., Bueno, Á., Álvarez, I., García, L., Torre, Á. de la, & Benítez, M. C. (2016). APASVO: A free software tool for automatic P-phase picking and event detection in seismic traces. *Computers & Geosciences*, 90, 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.02.004>
- Sánchez, D., Howard, R., & Tobón, G. (2016). Trabajo 2 ONDAS SISMICAS. Recuperado 28 de agosto de 2021, de https://www.academia.edu/24984185/Trabajo_2_ONDAS_SISMICAS
- Sevilla Echeverría, I. (2019). Improving automatic earthquake detection in the Krafla seismic network [Thesis]. <https://skemman.is/handle/1946/34507>
- Sharma, B. K., Kumar, A., & Murthy, V. M. (2010). Evaluation of seismic events detection algorithms. *Journal of the Geological Society of India*, 75(3), 533-538.
- Sleeman, R., & Van Eck, T. (1999). Robust automatic P-phase picking: An on-line implementation in the analysis of broadband seismogram recordings. *Physics of the earth and planetary interiors*, 113(1-4), 265-275.
- Toledo Peña, P. A. (2014). Algoritmo de detección de ondas P invariante de escala: Caso de réplicas del sismo del 11 de marzo de 2010. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131361>
- Trnkoczy, A. (2009). Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm. En *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)* (pp. 1-20). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Vaezi, Y., & Van der Baan, M. (2015). Comparison of the STA/LTA and power spectral density methods for microseismic event detection. *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 203(3), 1896-1908.
- Zhang, J., Tang, Y., & Li, H. (2018). STA/LTA Fractal Dimension Algorithm of Detecting the P-Wave

ArrivalSTA/LTA Fractal Dimension Algorithm of Detecting the P-Wave Arrival. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(1), 230-237.

Zhu, L., Peng, Z., McClellan, J., Li, C., Yao, D., Li, Z., & Fang, L. (2019). Deep learning for seismic phase detection and picking in the aftershock zone of 2008 Mw7.9 Wenchuan Earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 293, 106261.

Análisis de métodos OMA para la extracción de parámetros modales sobre edificios existentes

Analysis of OMA methods for the extraction of modal parameters on existing buildings

Víctor Samaniego Galindo¹ <https://orcid.org/0000-0002-6105-0592>, Iván Palacios Serrano² <https://orcid.org/0000-0002-3894-3341>, José Placencia León² <https://orcid.org/0000-0001-8036-6798>, Milton Muñoz Calle² <https://orcid.org/0000-0001-6663-3140>, Santiago González Martínez² <https://orcid.org/0000-0001-6604-889X>, Juan Jiménez Pacheco¹ <https://orcid.org/0000-0002-8977-9879>

¹*Universidad de Cuenca, Departamento de Ingeniería Civil, Cuenca, Ecuador*
victor.samaniegog@ucuenca.edu.ec, juan.jimenez@ucuenca.edu.ec

²*Universidad de Cuenca, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Cuenca, Ecuador*
ivan.palacios@ucuenca.edu.ec, jose.placencial@ucuenca.edu.ec,
milton.munozc@ucuenca.edu.ec, santiago.gonzalez@ucuenca.edu.ec

Enviado: 2021/06/26
Aceptado: 2021/09/28
Publicado: 2021/11/30

Resumen

En este artículo se presenta la aplicación de métodos de análisis modal operacional (OMA, Operational Modal Analysis) con el objetivo de caracterizar los parámetros modales (v.g. frecuencias y modos de vibración) de una edificación. El estudio se realiza sobre un escenario real consistente en un edificio esencial. En concreto se emplea: el método de descomposición en el dominio de la frecuencia (FDD, Frequency Domain Decomposition) y su versión mejorada (EFDD, Enhanced-FDD). En una primera etapa, se lleva a cabo una evaluación estructural preliminar del edificio (empleando el método de inspección visual rápida, RVS), un levantamiento de dimensiones y ensayos en campo para la caracterización mecánica de sus componentes, todo ello con el propósito de conseguir un análisis modal convencional lo más fiable posible en términos de sus parámetros modales. Con base en este análisis modal, se diseña un plan de instrumentación con acelerómetros triaxiales de sistemas microelectromecánicos (MEMS); el proceso de instrumentación abarca tres etapas: la adquisición, el control y el almacenamiento de información. La principal contribución de este trabajo consiste en la evaluación de la aplicación de los métodos FDD y EFDD sobre un edificio esencial, con la particularidad del uso de vibraciones de microsismicidad para la identificación de parámetros modales. El análisis de los resultados obtenidos determina una

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Conclusiones.

Como citar: Samaniego, V., Palacios, I., Placencia, S., Muñoz, M., González, S. & Jiménez, J. (2021). Análisis de métodos OMA para la extracción de parámetros modales sobre edificios existentes. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 75-93. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/832>

frecuencia fundamental del edificio de 1.43 Hz, y evidencia un comportamiento modal no recomendado.

Palabras clave: acelerógrafos, EFDD, FDD, instrumentación, salud estructural.

Abstract

This paper presents the application of Operational Modal Analysis (OMA) methods in order to characterize the modal parameters (i.e., frequencies and vibration modes) of a building. The study was carried out on a real scenario. In particular, the Frequency Domain Decomposition (FDD) method and its enhanced version (EFDD) were used. In a first stage, a preliminary structural evaluation of the building (using the rapid visual inspection method, RVS), a dimensional survey and field tests for the mechanical characterization of its components were carried out, for the purpose of obtaining a conventional modal analysis in terms of its modal parameters. Based on this modal analysis, an instrumentation plan was designed with triaxial MEMS accelerometers (microelectromechanical systems). The instrumentation process was comprised of three stages: acquisition, control and storage of information. The main contribution of this work consists of the evaluation of the application of the FDD and EFDD methods on an essential building, with the particularity of the use of microseismicity vibrations for the identification of modal parameters. Results obtained reveal a fundamental frequency of the building of 1.43 Hz, as well as a non-recommended modal behavior.

Keywords: accelerographs, EFDD, FDD, instrumentation, structural health.

Introducción

Esta investigación presenta la caracterización de los parámetros modales de una edificación (frecuencias y modos de vibración) por medio de la monitorización de salud estructural (SHM, *Structural Health Monitoring*), orientado a la detección y alerta temprana de daños en una estructura. La monitorización de salud estructural es una estrategia de evaluación estructural basada en el análisis de vibraciones y orientada hacia la detección y localización de daños en las estructuras (Kavitha et al., 2016). En tal contexto, la detección temprana de daño estructural ayuda al mantenimiento de la estructura y prevención de eventos catastróficos; esto supone un ahorro económico a largo plazo. Con respecto a las aplicaciones de la monitorización de salud estructural, en (Boscatto et al., 2016) y (Muttillio et al., 2019) se propone el análisis de edificaciones a través del despliegue de sensores estratégicamente ubicados. Por otro lado, en (Pachón et al., 2018) se realiza el estudio de la salud estructural del puente de Posadas (Córdoba, España) con la metodología OSP (*Optimal Sensor Placement*) para una eficiente monitorización continua del puente, obteniéndose errores menores al 2%. En otro ámbito de aplicaciones, en (Neu et al., 2016) se analiza el estado de las alas de un avión debido a los flujos transónicos a los que están expuestas.

Como etapa preliminar del proceso de recopilación de información, es necesario realizar un levantamiento estructural. Para esto, de gran utilidad resultan los lineamientos definidos en el documento FEMA 154 (Rojahn et al., 2002), centrado en el método RVS (*Rapid Visual Screening*). Este procedimiento comprende las tareas de revisión de planos existentes, recolección de información dimensional de elementos estructurales, detección de fallas y patologías en el edificio.

A continuación, se desarrolla la caracterización mecánica de los elementos de hormigón de la estructura. Finalmente, a partir de un modelo elástico-lineal se desarrolla un análisis modal convencional (mediante el uso de programas de análisis estructural como

ETABS); el comportamiento modal obtenido guía el plan de instrumentación sobre el edificio. Este análisis se realiza previamente en (Samaniego, 2020).

En el marco de los métodos de análisis modal operacional (OMA, *Operational Modal Analysis*), la instrumentación se implementa, en general, con acelerómetros. Por ejemplo, en (Valenti et al., 2018) se propone un sistema SHM basado en acelerómetros de tipo MEMS (*Microelectromechanical Systems*); dicho sistema basa su funcionamiento en las etapas de adquisición, control, almacenamiento y transmisión de datos. Además, la ubicación adecuada de los sensores en la estructura es fundamental para la correcta instrumentación sísmica. En este contexto, en (Ostachowicz et al., 2019) se analizan diferentes métodos de colocación óptima de sensores (OSP, *Optimal Sensor Placement*) así como el desarrollo de sus algoritmos. De forma similar, en (Pachón et al., 2020) se estudian múltiples técnicas de colocación óptima de sensores en el Monasterio de San Jerónimo de Buenavista (Sevilla, España), donde se define el número de sensores y el método más eficiente para dicho caso de estudio.

A partir de los datos recolectados por los sensores, es posible aplicar uno o más de los métodos OMA con miras a la caracterización dinámica de una estructura mediante el análisis de sus modos de vibración (Greiner, 2009). Así pues, existen diferentes métodos de OMA, tanto en el dominio de la frecuencia como del tiempo, como, por ejemplo, el método Peak Picking (PP), el método ERA (*Eigensystem Realization Algorithm*) y la técnica de Identificación de Subespacios Estocásticos (SSI).

En la literatura, se describen diversos estudios que proponen la aplicación de métodos OMA para evaluar el estado de una estructura. Así, en (Cárdenas & Medina, 2021) se describen los métodos de descomposición en el dominio de la frecuencia (FDD) y método mejorado de descomposición en el dominio de la frecuencia (EFDD) en un caso de estudio; los resultados presentaron una buena correlación en el caso de frecuencias y una correlación baja para las formas modales. Con el objetivo de obtener los modos de vibración y las frecuencias naturales de una estructura, en (Gkoktsi & Giaralis, 2019) se aplica el método FDD y la técnica de muestreo ciego del espectro de potencia (PSBS, *Power Spectrum Blind Sampling*). En (Yun et al., 2021) se estudia el método EFDD para estructuras de gran altura en uso o en construcción, con los resultados de este análisis se propone un método alternativo de análisis denominado MCEFDD (*Minimum Conditions for an Enhanced Frequency Domain Decomposition*). Finalmente, en (Lacanna et al., 2016) se describe un procedimiento automático para obtener parámetros modales en tiempo real mediante el método EFDD; dicho estudio se realiza en el edificio del Baptisterio de San Giovanni, en Florencia.

En este país los estudios de aplicación de métodos de OMA en el ámbito de la ingeniería de estructuras aún son muy escasos (Arcentales, 2020). En tal contexto, con el objetivo de evaluar el comportamiento de una estructura ante eventos de cualquier tipo que pueden provocar daño, el presente trabajo desarrolla una aplicación del OMA sobre un edificio esencial de la ciudad de Cuenca, aplicado al edificio matriz de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (Cuenca-Ecuador). La aplicación de OMA se organiza en las siguientes etapas: 1) levantamiento estructural, 2) caracterización de materiales, 3) ubicación de los sensores acelerómetros, 4) desarrollo e instalación de la instrumentación sísmica, 5) adquisición de datos de los sensores y 6) procesamiento de datos mediante los métodos FDD y EFDD (de OMA). Como resultado, se estiman ciertos parámetros modales y se determina el comportamiento del edificio ante la presencia de eventos. Esto permite obtener las zonas de la estructura propensas a sufrir daños en caso de que ocurra un evento sísmico. Este análisis facilita la intervención de manera temprana de dichas zonas y, en consecuencia, la prevención de daños irreversibles y conservación de la edificación.

La principal contribución de esta investigación corresponde a la elaboración de una metodología orientada al análisis del comportamiento de una edificación frente a eventos que provocan daño en la estructura, por medio del OMA. Se elabora un plan de instrumentación y se definen zonas a instrumentarse de manera eficiente en términos de cantidad de sensores, datos representativos y bajos costos. Además, se define un proceso de análisis mediante dos métodos en el dominio de la frecuencia y se valora su importancia en función de la correlación de los parámetros modales obtenidos.

El presente artículo se divide en tres secciones. La primera, desarrolla la metodología empleada para la monitorización de salud estructural del edificio objeto de estudio. En ella se detalla el estudio estructural, la arquitectura tecnológica y el procesamiento de datos mediante los métodos FDD y EFDD para el análisis modal. En la segunda sección se describen y examinan los resultados obtenidos del análisis OMA, específicamente los parámetros modales. Finalmente, se presentan las conclusiones.

Metodología

Esta sección describe la metodología empleada. Específicamente, las etapas de análisis estructural, arquitectura tecnológica y procesamiento de datos. Con respecto a la primera etapa se describe el proceso de levantamiento estructural del edificio, el cual incluye la caracterización mecánica de sus elementos de hormigón (resistencias a compresión); además, a partir de los resultados del análisis modal numérico del edificio, esta primera etapa culmina con el establecimiento de su plan de instrumentación. En la segunda etapa se analiza la arquitectura tecnológica implementada en la investigación. Finalmente, en la tercera etapa se define la metodología usada en el análisis modal operacional (OMA) para el procesamiento de datos y estimación de los parámetros modales de la estructura.

Análisis Estructural

Levantamiento Estructural

En la Figura 1, se presenta el procedimiento desarrollado para el levantamiento estructural del edificio, el cual es una evaluación y recopilación in-situ de información del edificio. Como se observa, se desarrolla según los lineamientos planteados en el documento FEMA 154 (Rojahn et al., 2002). En este proceso se usa el método denominado Rapid Visual Screening (RVS), el cual se adapta al estudio en función de los parámetros que se deseen obtener. Dicho método está conformado por una secuencia que empieza por el desarrollo de un presupuesto, en función de la extensión de los exámenes a realizarse y el uso que se dará a los datos. Luego, se realiza una planificación del estudio y se define el área a examinarse. Una vez definida la planificación, se procede a seleccionar al equipo de trabajo, se agrupa y revisa la información recopilada previamente.

Posteriormente, con los planos de la edificación, se revisan medidas, la edad de la construcción y su tipología. Esta información se obtiene in-situ y se compara con los planos. Además, se realiza una inspección visual al interior y exterior de la construcción en planta y elevación, documentándola con fotografías, listas de chequeo y filmaciones; se examina la información recopilada y se elaboran registros.

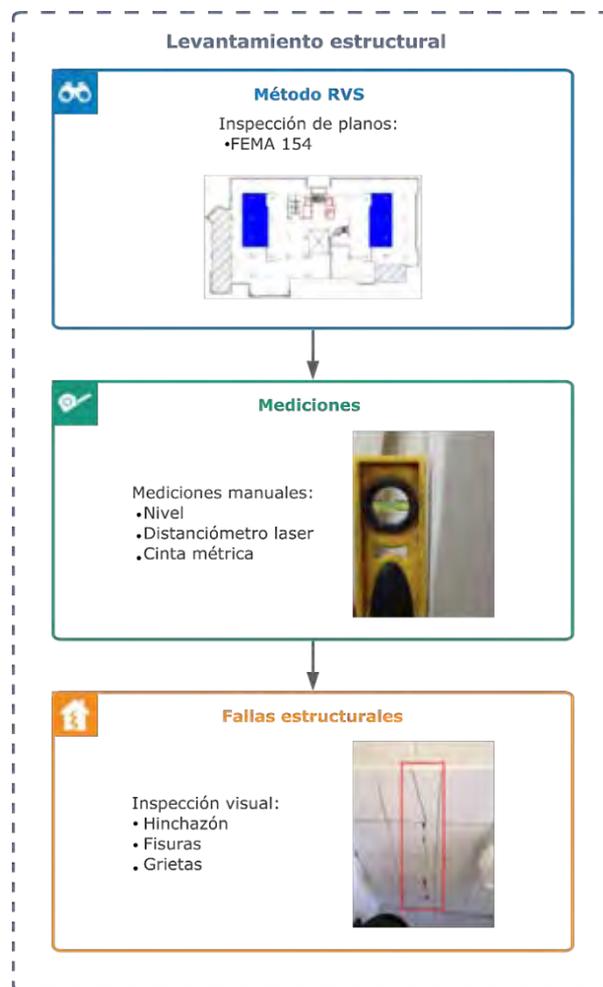
De manera complementaria al método RVS, es necesario realizar mediciones de caracterización geométrica del edificio: longitudes de los vanos, alturas de entrepiso, áreas de bloques nuevos dimensiones de elementos (v.g. columnas, muros, losas, paredes de mampostería). En nuestro caso, estas mediciones se llevan a cabo utilizando un distanciómetro laser y cinta métrica; con esta información, se actualiza/valida (y en algunos casos, se corrige) la información contenida en los planos.

Otro aspecto del proceso del levantamiento de información, con el fin de evaluar el estado estructural de un edificio, comprende la detección de distintos tipos de fallas en elementos estructurales y no estructurales de la edificación, tales como grietas, fisuras e hinchazones. La detección de grietas y fisuras se realiza de manera visual mediante inspección de zonas vulnerables. La hinchazón de los elementos se visualiza con un nivel colocado transversalmente al elemento, de manera que se pueda evidenciar la presencia de una irregularidad en su superficie.

Además de la constatación/corrección de la información de planos y la evaluación del estado estructural, otra de las finalidades que persigue el levantamiento de información es la identificación tipológica del edificio, importante para su modelización numérica. Por último, con base en los datos recogidos, se proponen estudios o ensayos futuros necesarios para la recopilación de información adicional.

Figura 1

Proceso del Levantamiento Estructural del Edificio Objeto de Estudio



Caracterización de Materiales

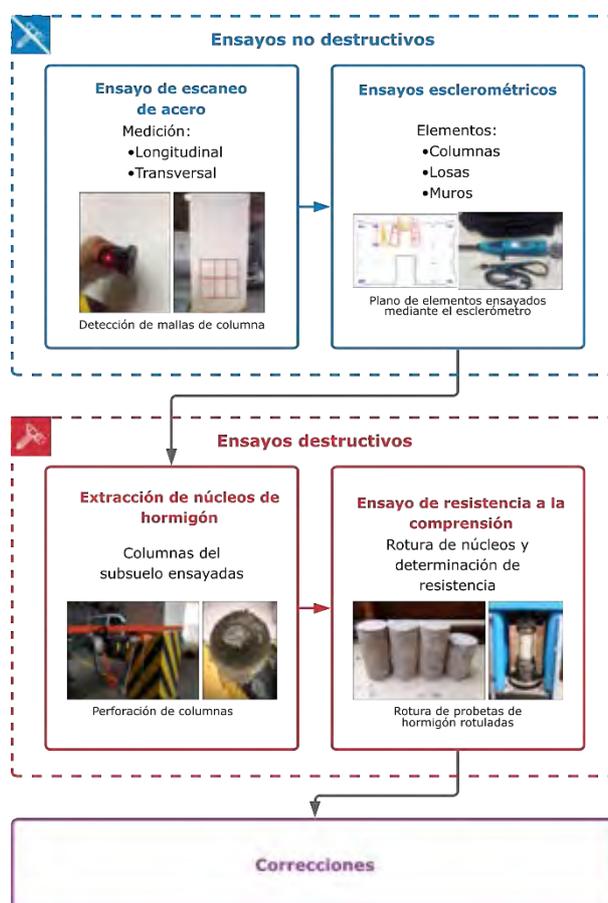
En la Figura 2 se indica el proceso de caracterización del hormigón, material principal del sistema estructural del edificio, correspondiente a edificio de losa plana sobre columnas. La finalidad de este proceso es la de estimar el valor de la resistencia a compresión de los elementos de hormigón del edificio. A este propósito, se desarrollan 4 ensayos de tipo destructivo y no-destructivo.

Para no comprometer el acero de refuerzo al llevar a cabo los ensayos de esclerometría y de extracción de núcleos de hormigón, se hace necesario un escaneo estructural (del hormigón) con el fin de detectar el refuerzo longitudinal y transversal en los elementos de hormigón. Dicho estudio se realiza cuando se desconoce la ubicación y características de los aceros en los elementos estructurales de una edificación. Para la aplicación del ensayo se emplea el equipo Profometer 6 (PROCEQ SA, 2017).

En segunda instancia, se realizan ensayos de esclerometría (no-destructivos), los cuales estiman los valores de resistencia a compresión de un elemento in-situ, sin tener que extraer muestras o perforar el área de ensayo. Para ello, se utiliza el equipo martillo (PROCEQ SA, 2016) según el procedimiento descrito en la norma (ASTM C-805/C805M-18, 2018) y en (ACI 228.1R-03, 2003), la cual, cabe señalar, sugiere registrar al menos 10 lecturas válidas por elemento y descartar valores que difieran de la media en un valor mayor a 6 unidades. Estos datos son correlacionados con una curva definida por el técnico a base de la granulometría del hormigón ensayado; de esta forma, se relaciona el índice de rebote y la resistencia estimada.

Figura 2

Proceso de Caracterización de Materiales de Hormigón y Ensayos In-situ



De manera complementaria, se realiza la extracción de núcleos de hormigón, este se utiliza para obtener probetas de hormigón in-situ, directamente del elemento en una edificación existente. Este ensayo de tipo destructivo consiste en extraer las muestras a base de los lineamientos descritos en la norma (ASTM C42 / C42M - 18, 2018) y posteriormente completar el ensayo con el relleno del orificio de extracción.

Los cilindros de hormigón extraídos se ensayan a compresión en un laboratorio. Como se indica en la Figura 2, inicialmente se registran las medidas de altura, diámetro y peso de las muestras. Luego, estos son perfilados y cortados a las medidas normadas. Por último, se rompen los cilindros en la prensa hidráulica a base de la norma (ASTM C39 / C39M - 18, 2018) y de esta manera se obtiene el valor de resistencia a la compresión de los especímenes. Este ensayo de tipo destructivo permite obtener un factor de corrección para las resistencias estimadas en las pruebas esclerométricas. Para este objetivo se comparan y evalúan los resultados con los del ensayo esclerométrico. Posteriormente se obtienen las resistencias con el ensayo de resistencia a la compresión y se corrigen los resultados mediante una curva esclerométrica real de correlación.

Plan de instrumentación

El último proceso del análisis estructural consiste en diseñar e implementar un plan de instrumentación. El objetivo principal de un programa de instrumentación sísmica para sistemas estructurales es analizar el comportamiento y daño potencial de las estructuras bajo la acción de eventos que provoquen daño (Celebi et al., 1998).

Esta etapa comienza con un análisis modal numérico (convencional) de la estructura, mediante el cual se determinarán los parámetros modales del edificio. El modelo para el análisis modal se elabora en función de las características de la estructura obtenidos del levantamiento estructural. En este análisis se aplican los lineamientos planteados en (Chopra, 2013; Hsiao, 2009) así como en la Norma Ecuatoriana de Construcción en su apartado de peligro sísmico (NEC-SE-DS, 2015). Los resultados recogidos del análisis modal corresponden a los períodos de vibración, factores de participación modal y configuraciones de los modos de vibración para el edificio.

Con los periodos y modos de vibración, se ubican las zonas más vulnerables o con comportamientos deficientes en el edificio. Esta información sirve de insumo básico para el diseño del plan de instrumentación. En este sentido, autores como: (Boscatto et al., 2016; Celebi, 2000; Celebi et al., 1998; Zhou et al., 2017) recomiendan tener sensores en la parte baja, centro y en la parte alta de la edificación. Además, la ubicación de los sensores en pisos adicionales depende de ciertas características del edificio como el número de pisos, la contribución de los modos de vibración y los cambios de rigideces entre pisos.

En función de las consideraciones mencionadas, se elabora un plan de instrumentación para el edificio con 6 alternativas, las cuales se basan en sensores axiales, biaxiales o triaxiales. Cada propuesta tiene como objetivo recopilar la mayor cantidad de información relevante sobre el comportamiento modal del edificio. En la Figura 3 y Figura 4 se muestra una de las alternativas de instrumentación, basada en acelerómetros triaxiales distribuidos en seis plantas del edificio. Las señales de eventos registrados por los sensores constituyen el insumo para la aplicación de la metodología del análisis modal operacional OMA mediante el uso de los métodos FDD y el EFDD para obtener los parámetros modales y, a partir de su análisis, realizar la monitorización de salud estructural del edificio. En el caso de la terraza se propone la ubicación de dos sensores, en la Figura 5 se muestra la ubicación de los sensores en una vista de elevación.

El uso de sensores triaxiales reduce significativamente el número de sensores a utilizarse en un plan de instrumentación, debido a que posee 3 grados de libertad para la medición. Esto deriva en una mayor recolección de datos con un menor número de sensores desplegados, y está directamente asociado a una reducción de presupuesto en costos de instalación y en disponibilidad de equipos. Se recomienda instrumentar con al menos un sensor

los pisos ubicados en la base y en la parte ḿs alta del edificio y, adeḿs, un piso medio ubicado entre estos dos (Celebi, 2000). Por estas razones y debido a la tipoloǵa poco convencional de la edificaci3n, se implementa la propuesta que se detalla en la Tabla 1. De este modo, se propone el despliegue de un total de 18 sensores distribuidos en seis pisos del edificio, en concreto cuatro sensores para el subsuelo y la primera planta, mientras que, para los deḿs pisos superiores dos sensores por piso.

Figura 3

Localizaci3n de Sensores, de los Pisos: Tercero, Quinto, Śptimo, Octavo

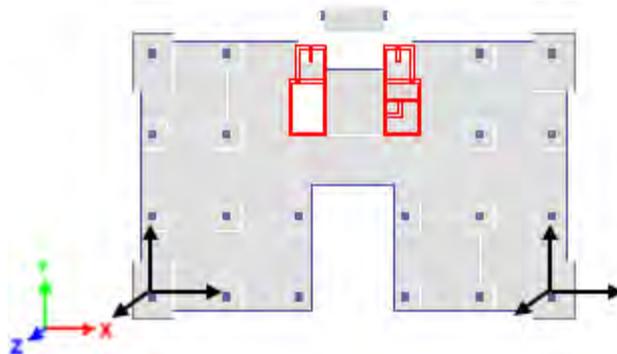


Figura 4

Localizaci3n de Sensores, de los Pisos: Subsuelo, Primero

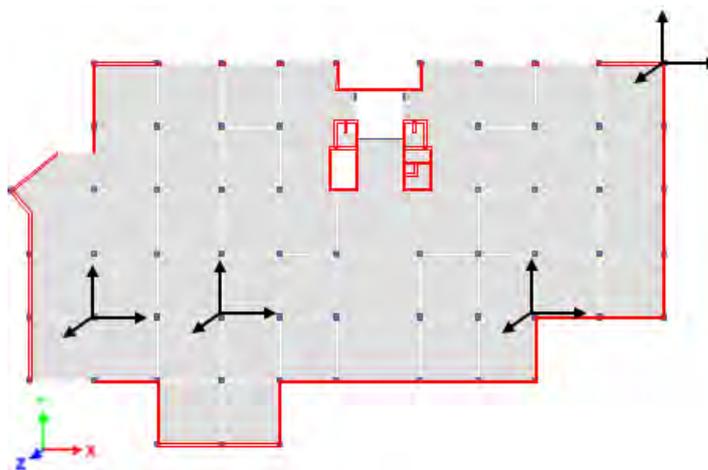


Tabla 1

Detalle de sensores instrumentados en la Edificaci3n

PLANTA	SENSORES COLUMNAS	SENSORES MUROS ASCENSOR	SENSORES LOSA	NÚMERO TOTAL DE SENSORES
Subsuelo	2	2	0	4
Primera	2	0	2	4
Tercera	2	0	0	2
Quinta	2	0	0	2
Śptima	2	0	0	2
Octava	2	0	0	2
Terraza	0	2	0	2

Arquitectura Tecnológica

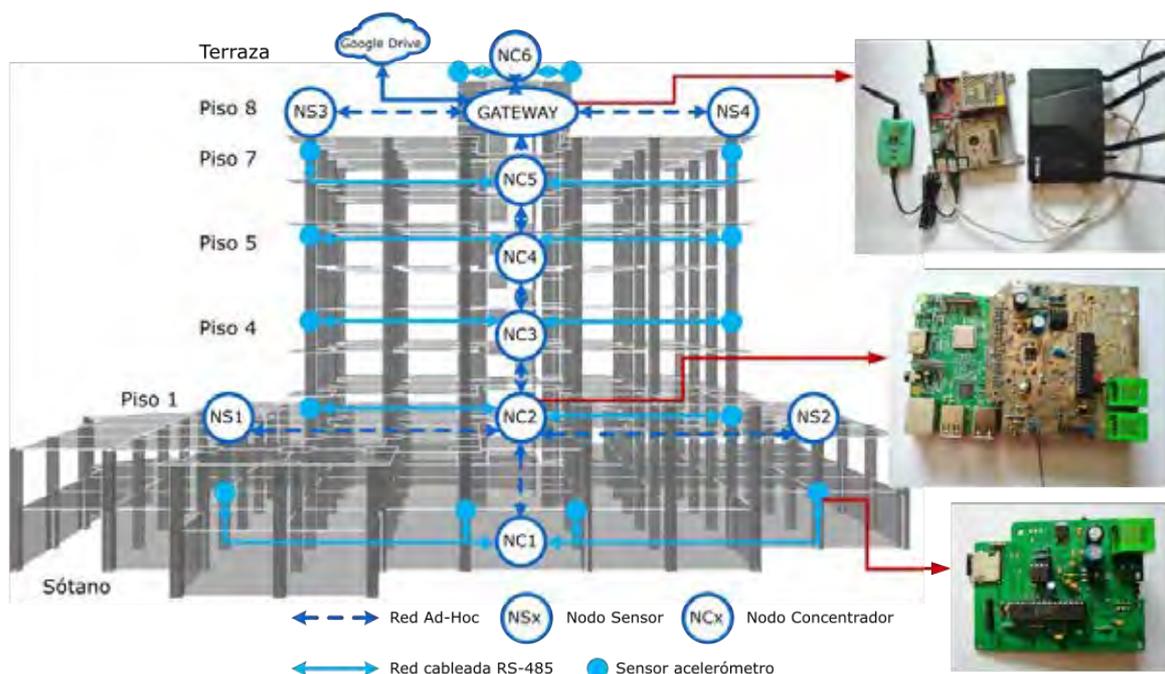
Respecto a la arquitectura tecnológica, con el objetivo de monitorizar los eventos sísmicos en el edificio objeto de estudio, se despliega una red de sensores inalámbricos (WSN) con las características de: escalabilidad, sencilla instalación en edificaciones existentes, detección automática de eventos sísmicos y envío de datos a la nube para el acceso remoto.

La arquitectura se basa en el modelo cliente-servidor, donde el servidor consiste en un nodo principal o *gateway* y los clientes corresponden a múltiples estaciones de acelerógrafos. Además, en el nodo *gateway* se implementa un sistema automático de detección de eventos sísmicos, el cual detecta en tiempo real un evento y solicita a las estaciones de acelerógrafos las muestras de dicho evento. Por último, estas estaciones suben un archivo con los datos del evento a la nube. Para la comunicación entre los nodos se despliega una red tipo ad hoc o no estructurada, donde cada dispositivo puede actuar ya sea como enrutador o cliente, lo que permite una mayor tolerancia frente a fallos de conectividad, en (Conti & Giordano, 2014), se discuten las principales ventajas y desafíos para dicha tecnología. Además, se emplea el protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), el cual es un mecanismo ampliamente empleado para la gestión de dispositivos IoT con alto nivel de seguridad y bajo requerimiento de ancho de banda (Yang et al., 2019).

En la Figura 5, se presenta la topología de la red, la ubicación aproximada de los sensores en la edificación objeto de estudio y los equipos implementados. Como se muestra en la figura, se desarrollan dos tipos de estaciones de acelerógrafos. La primera estación se basa en el trabajo presentado en (Muñoz et al., 2021), la misma que emplea un dispositivo SBC (*Single Board Computer*) y un microcontrolador que realiza la lectura de los datos del sensor acelerómetro, la sincronización de tiempo y el envío de datos al dispositivo SBC. El segundo tipo de estación, denominada estación nodo concentrador-sensores, corresponde a una variante de la primera estación. La cual dispone de un nodo concentrador con la SBC y múltiples nodos sensores que se comunican con el concentrador mediante una red cableada y el estándar RS-485.

Figura 5

Diagrama de la Arquitectura Tecnológica Implementada en el Edificio Objeto de Estudio



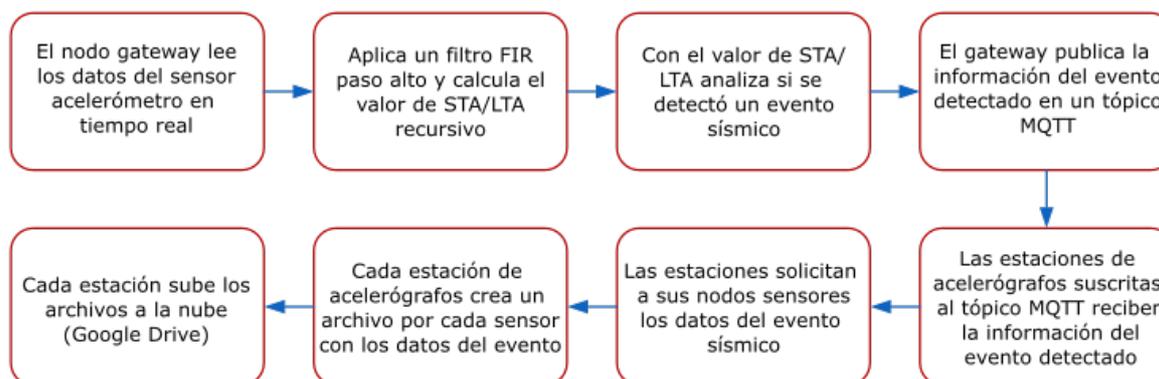
Por otro lado, el nodo *gateway* también se basa en el sistema de los nodos sensores. Sin embargo, con el objetivo de acceder remotamente a la información sísmica, en tiempo real y con un bajo consumo de ancho de banda, se instala un router 4G LTE para proporcionar acceso a Internet a la red de sensores y se implementó un sistema automático de detección de eventos sísmicos. Este sistema se basa en el algoritmo STA/LTA (*Short Term Average to Long Term Average*) recursivo (Azam Sya'bani et al., 2020), el cual tiene las ventajas de sencillez y eficiencia computacional.

Adicionalmente, para levantar la red de comunicación, se instala un módulo wifi externo en el dispositivo SBC de cada nodo. En particular, dado que no requiere una infraestructura preexistente, se despliega una red ad hoc multisalto con topología lineal y se emplea el protocolo MQTT para la comunicación entre las estaciones. Además, ya que los nodos se encuentran en posiciones fijas en el edificio, se definen direcciones IP estáticas y rutas estáticas para cada estación.

Finalmente, el diagrama funcional con la secuencia de la comunicación entre las estaciones se presenta en la Figura 6. Como se puede apreciar, en primera instancia, el dispositivo *gateway* lee los datos del sensor acelerómetro en tiempo real. Luego, el nodo principal aplica un filtro FIR (*Finite Impulse Response*) y calcula el valor de STA/LTA recursivo. A continuación, con el valor calculado de STA/LTA se analiza si corresponde a un evento sísmico. En caso afirmativo, el dispositivo *gateway* publica en un t́pico MQTT la información del evento detectado y las estaciones de acelerógrafos suscritas a este t́pico reciben dicha información. Luego, las estaciones solicitan a cada nodo sensor las muestras del evento detectado. Finalmente, cada estación crea un archivo con los datos de cada sensor y lo sube a la nube, específicamente a Google Drive, para el acceso remoto y post procesamiento de la información.

Figura 6

Diagrama Funcional de la Comunicación entre las Estaciones



Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos medidos por los sensores, consiste inicialmente en la transformación de valores binarios a valores de aceleración (cm/s^2) para cada uno de los canales. Posteriormente, se separan estos datos de aceleración en sus 3 ejes. Finalmente, se realiza el proceso del cálculo de los parámetros modales de la estructura, mediante la aplicación de la metodología del OMA.

El Análisis Modal Operacional (OMA) se enfoca en la identificación de los parámetros modales de una edificación; este análisis deriva en un modelo modal en el que solo se usan respuestas medidas y sin conocer de manera explícita la excitación de entrada (Greiner, 2009).

Los parámetros modales a identificar en la estructura son las frecuencias naturales de vibración y los modos de vibración. Para el análisis se emplean los métodos FDD y EFDD, el segundo es una versión mejorada del primero. Este enfoque estima los modos de vibración a partir de las densidades espectrales de potencia (PSD, *Power Spectral Density*) calculadas en la condición de una entrada de ruido blanco y una estructura ligeramente amortiguada.

Además, se emplea el criterio de aseguramiento modal MAC (*Modal Assurance Criterion*), el cual se define como un valor escalar constante que relaciona el grado de linealidad entre dos modos de referencia (Allemang, 2003). A continuación, se presentan los dos métodos analizados y los respectivos procedimientos matemáticos empleados en su aplicación:

Descomposición en el Dominio de la Frecuencia (FDD)

El método FDD se desarrolla en el dominio de la frecuencia y estima los modos utilizando una descomposición de valores singulares (SVD, *Singular Value Decomposition*) de cada una de las matrices PSD. Esta descomposición corresponde a una identificación de un sistema de un grado de libertad (SDOF) para cada valor singular.

A continuación, se detallan las relaciones matemáticas más importantes para comprender la técnica FDD y el algoritmo utilizado en el análisis. En la Figura 7, se presenta el procedimiento empleado para la descomposición en el dominio de la frecuencia; este método parte del modelo matemático que relaciona entradas desconocidas ($x(t)$) y respuestas medidas ($y(t)$), y se expresan mediante la ecuación planteada en (Brincker et al., 2000), la cual involucra variables como: la matriz de densidad espectral de entrada y salida, número de sensores y la matriz función de respuesta en frecuencia (RFR, *Frequency Response Function*).

La matriz de densidad espectral PSD se genera aplicando la transformada de Fourier a los datos medidos por los sensores; con esto se indica la potencia de una señal distribuida en el espectro de las frecuencias, mediante la siguiente expresión:

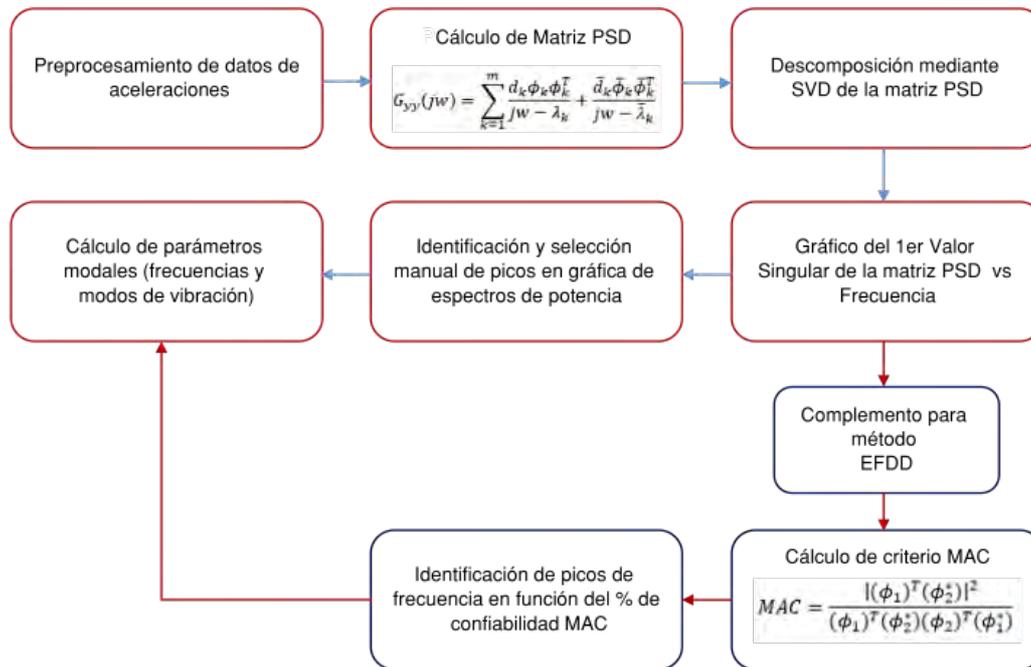
$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^m \frac{d_k \phi_k \phi_k^T}{j\omega - \lambda_k} + \frac{\bar{d}_k \bar{\phi}_k \bar{\phi}_k^T}{j\omega - \bar{\lambda}_k} \quad Eq. 1$$

Donde, $G_{yy}(j\omega)$ es la matriz PSD de canales de respuesta medidos, m indica solo los modos dominantes, ϕ_k denota el vector de forma modal, $\bar{\lambda}_k$ es un valor complejo que contiene frecuencias y amortiguamiento, “ T ” indica la transpuesta del vector y el subíndice “-” es la conjugada compleja.

El diagrama funcional presentado en la Figura 7 esquematiza el algoritmo de los métodos FDD y EFDD (Farshchin, 2015). En la primera etapa, se realiza el preprocesamiento de los datos de aceleraciones del evento sísmico medido por los sensores. Luego, se desarrolla el cálculo de la matriz PSD a partir de la expresión matemática Gyy. El proceso continúa con la descomposición de la matriz PSD por medio de los valores singulares SVD. Una vez calculada la matriz, se genera el gráfico espectral del primer valor singular de la matriz PSD y las frecuencias, y posteriormente, se efectúa la selección manual de los picos de frecuencias para cada eje dependiendo del número de parámetros que se deseen obtener. Finalmente, se obtienen los parámetros modales correspondientes a frecuencias y modos de vibración en forma de tablas.

Figura 7

Flujograma de Metodología Empleada en los Métodos FDD y EFDD

**Descomposición en el Dominio de la Frecuencia Mejorado (EFDD)**

El método EFDD corresponde a una mejora del método FDD (Jacobsen et al., 2007), en este se incluye un análisis de seguridad mediante la inclusión del criterio de aseguramiento modal MAC (Allemang, 2003). Este criterio relaciona dos modos a base de la siguiente expresión:

$$MAC = \frac{|(\phi_1)^T (\phi_2^*)|^2}{(\phi_1)^T (\phi_2^*) (\phi_2)^T (\phi_1^*)} \quad Eq. 2$$

Donde, ϕ_1 corresponde al primer vector modal, ϕ_2 al segundo vector modal compatible, el subíndice “T” denota la transpuesta del vector, y el signo “*” corresponde a una matriz compleja conjugada.

Específicamente, el criterio MAC obtiene valores escalares entre 0 y 1, presentados en forma de matriz. Valores de 1 o cercanos, denotan una buena configuración o una relación consistente entre estos, es decir son idénticos; mientras que valores de 0 o cercanos denotan una configuración deficiente o no consistente, son modos ortogonales. Es decir, se considera la ortogonalidad entre dos modos adyacentes. La variable ϕ denota los parámetros modales correspondientes a los vectores de formas modales.

El procedimiento a seguir es el mismo que en el método FDD, con la variación en el proceso luego de generar el gráfico del primer valor singular, como se indica en la Figura 7. A partir de aquí, el análisis continúa con el cálculo del criterio MAC entre los picos de resonancia y sus líneas de frecuencia vecinas, de esta manera se obtiene una auto correlación de las funciones para cada modo del sistema. Posteriormente, a base del valor de seguridad de MAC (0.8 como valor mínimo, 0,9 valor recomendado) definido por el usuario se identifican los picos en la gráfica y finalmente, se calculan los parámetros modales de la estructura. En la siguiente sección se presentan los resultados de la investigación realizada.

Resultados

En esta sección se muestra la evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón, datos de los acelerogramas medidos y procesados en los tres ejes, así como los parámetros modales obtenidos a partir del análisis modal operacional (OMA) utilizando los métodos de análisis FDD y EFDD.

En primer lugar, se realiza la evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón mediante los ensayos planteados. Como se puede observar en la Tabla 2, el factor de corrección para las resistencias medidas entre esclerometría y rotura de núcleos de hormigón es de 1.02, debido a la correcta elección de la curva de correlación en el equipo Silver Schmidt (10% percentil) el error obtenido fue únicamente del 2% el cual se corrige en los valores de resistencia obtenidas en el ensayo de esclerometría.

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón de los elementos del edificio. Como se puede observar, las columnas del subsuelo y planta baja presentan un valor de resistencia mayor que en los demás pisos (354 kg/cm^2 en el sótano y 218 Kg/cm^2 en la cuarta planta). Además, se indican los valores obtenidos para los muros de hormigón y el macizado de las losas en los pisos ensayados. Cabe mencionar que el hormigón de los elementos del edificio no se encontraba distribuido de manera uniforme en el elemento, motivo de las diferencias marcadas entre resistencias.

Tabla 2

Factor de Corrección de Curva de Correlación Esclerométrica (Samaniego, 2020)

COLUMNA #	ESCLERÓMETRO		NÚCLEOS	FACTOR DE CORRECCIÓN
	REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA (Kg/cm^2)	RESISTENCIA (Kg/cm^2)	
8	51.3	330	171.61	0.520
52	50.3	315	324.26	1.029
53	50.3	315	318.50	1.011
53.1	50.3	315	292.65	0.929

Tabla 3

Resistencia a la Compresión Promedio de Elementos de Hormigón (Samaniego, 2020)

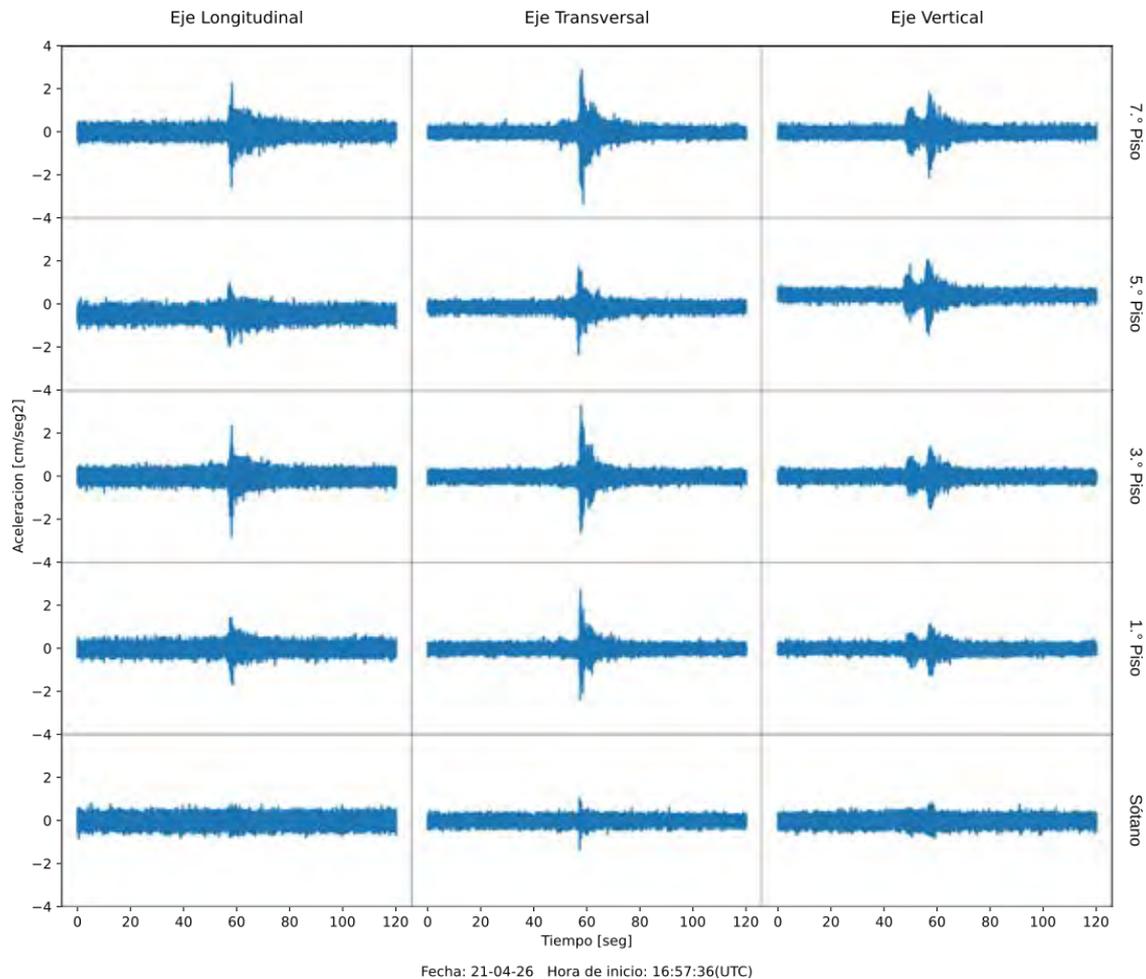
RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm^2)			
PISO	COLUMNAS	MUROS (ASCENSOR)	LOSAS (MACIZADO)
Sótano	354		
Planta Baja	340		
Primera Planta	261	332	495
Segunda Planta	241	408	464
Tercera Planta	219	383	556
Cuarta Planta	218	372	541
Quinta Planta	226	408	372
Sexta Planta	224	413	571
Séptima Planta	228	408	531
Octava Planta		490	

Luego, se elige el sismo más relevante registrado por las estaciones instaladas en el edificio de estudio. El 26 de abril de 2021, se registra un evento sísmico de magnitud 3.9 Md (magnitud de duración), el mismo se utiliza para el análisis gráfico y analítico. En particular, en la Figura 8, se presentan las gráficas de aceleración de los 3 ejes (longitudinal, transversal, vertical) de los sensores para 5 pisos del edificio. Como se puede observar, la amplitud de las

aceleraciones varía en función del piso y es directamente proporcional a la altura del edificio. En consecuencia, a mayor altura se tiene mayor amplitud. Específicamente, para el eje longitudinal del 1er piso se tiene una magnitud RMS (*Root Medium Square*) de 0.203 cm/s², mientras que para el piso 7 la magnitud es de 0.223 cm/s².

Figura 8

Graficas de Aceleración para los ejes Longitudinal, Transversal y Vertical de 5 Pisos del Edificio



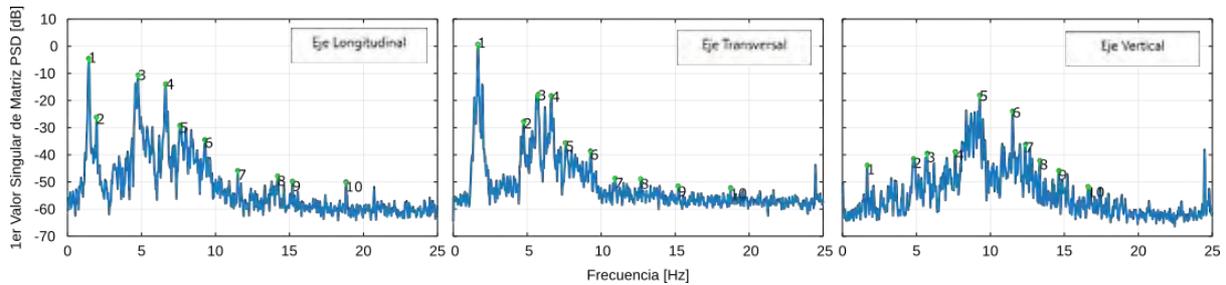
Por otro lado, se efectúa el análisis modal operacional mencionado en el apartado de metodología. Para tal objetivo se implementan los algoritmos de los métodos FDD y EFDD en Matlab. El análisis se realiza para los 3 ejes (longitudinal, transversal, vertical) y se grafican los datos de la matriz PSD como se muestra en la Figura 9. Por último, se seleccionan los picos en cada gráfica PSD para determinar los modos de vibración asociados a las frecuencias.

Continuando con el análisis OMA, como se indica en la figura mencionada, se seleccionan 10 picos para cada eje, debido a que se busca tener una muestra representativa de frecuencias a través de los modos fundamentales y modos altos de la estructura. Como se observa en la Figura 9, se determina una configuración espectral con un intervalo de 20Hz, para identificar de mejor manera los picos, con una ligera presencia de ruido. Con los picos de frecuencia claramente definidos e identificados se puede observar una configuración espectral con la presencia de ruido, lo cual dificulta la selección de picos, ya que se pueden cometer errores de criterio en este proceso. Cabe indicar que la selección de los picos de frecuencia se efectúa de forma manual en el método FDD. Para esto se realiza una inspección visual de cada

gráfica de densidad espectral de potencia PSD, en consecuencia, esta selección está sujeta a criterios del investigador. Posteriormente, se aplica la metodología de la versión mejorada EFDD y se determina si dicha selección se emplea de manera correcta por medio del criterio MAC.

Figura 9

Gráficas de Densidad Espectral de Potencia y Picos Seleccionados para los Ejes Longitudinal, Transversal y Vertical



En cuanto a los resultados de este análisis, en la Tabla 4, se presentan los valores de frecuencia obtenidos para cada modo de vibración y su comparación con los valores numéricos obtenidos en el paquete computacional (ETABS). Mientras que, en la Tabla 5 se muestran los valores de MAC, se indica que de 10 valores de frecuencias analizados 7 tienen valores MAC aceptables (mayor a 0.80) para el eje longitudinal, mientras que 3 corresponden a una mala configuración en la selección de picos, siendo estos valores de frecuencia de 3.47 Hz, 7.59 Hz y 9.27 Hz, teniendo además correspondencia entre otros modos de acuerdo a la matriz MAC.

Además, los resultados indican frecuencias compartidas en más de un eje (eje longitudinal y eje transversal). Esto significa la participación de modos de vibración en 2 ejes e implica un comportamiento no adecuado de la edificación. Finalmente, se observa que la frecuencia fundamental de la estructura medida con la instrumentación es de 1.43 Hz en el eje longitudinal, mientras que para el eje transversal es de 1.67 Hz. En comparación con los resultados del modelo numérico la frecuencia fundamental en el eje longitudinal es de 1.367 Hz con una diferencia de 0.07 Hz (4.9%) respecto a frecuencia de las mediciones (1.43 Hz); de igual manera, la frecuencia fundamental para el eje transversal es de 1.65 Hz con una diferencia de 0.02 Hz (1.2%) respecto a las mediciones (1.67 Hz).

Tabla 4

Frecuencias Medidas con Sensores y Modelo Computacional

MODO	ANÁLISIS OMA		MODELO NUMÉRICO
	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL	FRECUENCIA
	FRECUENCIA (Hz)	FRECUENCIA (Hz)	FRECUENCIA (Hz)
1	1.43	1.67	1.36
2	1.95	4.76	1.65
3	3.47	5.73	1.80
4	4.76	6.19	4.95
5	6.62	6.62	6.29
6	7.59	7.59	7.35
7	7.99	9.27	8.07
8	8.36	10.92	8.62
9	9.27	12.66	10.00
10	11.5	15.19	10.20

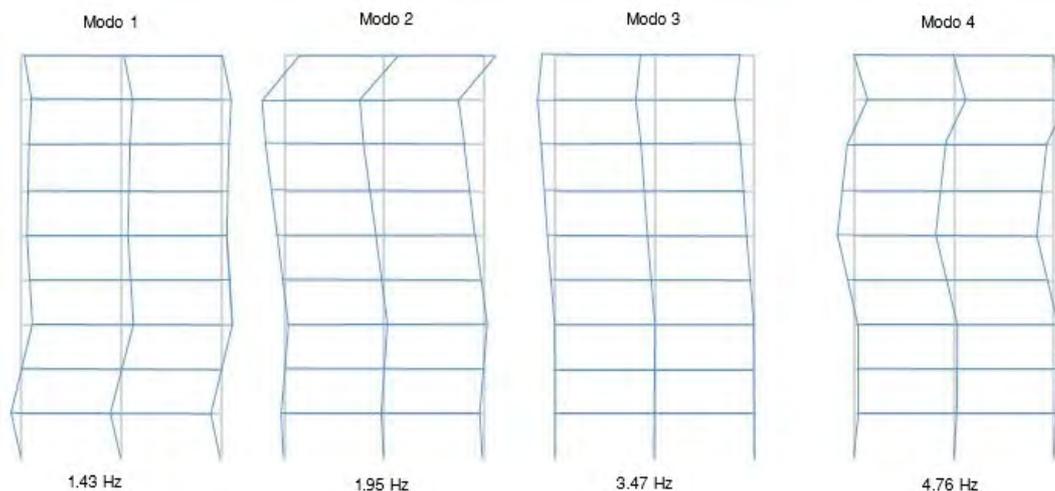
Tabla 5
Matriz de Valores MAC, Eje Longitudinal

MAC										
MODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.000	0.832	0.012	0.017	0.020	0.008	0.000	0.008	0.002	0.014
2	0.832	1.000	0.852	0.551	0.516	0.008	0.138	0.034	0.044	0.050
3	0.012	0.852	1.000	0.554	0.058	0.032	0.015	0.009	0.012	0.030
4	0.017	0.551	0.554	1.000	0.824	0.051	0.015	0.020	0.004	0.003
5	0.020	0.516	0.058	0.824	1.000	0.922	0.028	0.028	0.006	0.004
6	0.008	0.008	0.032	0.051	0.922	1.000	0.754	0.423	0.802	0.764
7	0.000	0.138	0.015	0.015	0.028	0.754	1.000	0.824	0.888	0.878
8	0.008	0.034	0.009	0.020	0.028	0.780	0.824	1.000	0.851	0.823
9	0.002	0.044	0.012	0.004	0.006	0.802	0.888	0.851	1.000	0.761
10	0.014	0.050	0.030	0.003	0.004	0.764	0.878	0.823	0.761	1.000

Cabe destacar que estos resultados corresponden a una evaluación inicial del comportamiento del edificio estudiado frente a un evento sísmico. En la Figura 10, se resaltan los primeros cuatro modos de vibración correspondientes al eje longitudinal, los cuales al ser modos compuestos (participación en más de un eje) en algunos casos y mantener formas inestables en la estructura denotan una respuesta inadecuada de la misma. Esto se debe a la configuración tipológica de la edificación, al ser un edificio de losas planas sin vigas soportada por columnas. En particular, un edificio sujeto a cargas sísmicas debe caracterizarse por una respuesta que no incluya los modos compuestos, al menos en sus 3 primeras configuraciones modales y dependiendo de la participación total de masa en estos modos.

Figura 10

Primeros 4 Modos de Vibración del Eje Longitudinal de la Estructura



Conclusiones

En este artículo, se presenta una metodología que emplea mecanismos OMA, con el objetivo de obtener los parámetros modales de una edificación ante un evento que provoque daños (por ejemplo, un evento sísmico). Una ventaja de esta metodología es que se obtienen estos parámetros a base de datos de aceleraciones reales medidas *in-situ* en una estructura por

medio de sensores y aplicando métodos de procesamiento de datos como el FDD y el EFDD. Se implementa un plan de instrumentación en una edificación existente de la ciudad de Cuenca (Ecuador) y se determinan valores de aceleración para el eje longitudinal con un RMS máximo de 0.223 cm/s^2 registrado en el piso 7. Además, se ratifica que la amplificación de un sismo es de mayor magnitud en pisos superiores que en los pisos inferiores de una edificación.

De igual manera, la propuesta de instrumentación está sujeta a temas de logística en el edificio, por lo que dependiendo de los parámetros o tipos de modos de vibración que se busquen medir, se puede aplicar una propuesta que se adapte al caso necesario (por ejemplo, medir modos torsionales, medir modos en un determinado piso, entre otros).

La configuración modal calculada en la edificación evidencia un comportamiento no convencional de la estructura al encontrarse modos compuestos en la misma, debido a su configuración tipológica de losas planas. Además, se determinan los modos fundamentales que corresponden a frecuencias de 1.43 Hz y 1.67 Hz para los ejes longitudinal y transversal respectivamente. Un buen comportamiento de una estructura está definida por la configuración modal de los 3 primeros modos de vibración, los 2 primeros modos traslacionales con participación en un solo eje de movimiento, y el tercero a un modo de torsión.

Finalmente, con respecto a los métodos usados se evidencia que la versión mejorada EFDD reducen los errores al momento de la selección de los picos de frecuencia que el método FDD. Por lo tanto, mediante el método EFDD se estiman los parámetros modales con una precisión aceptable, ya que limitan los criterios del investigador al momento de la selección manual. De igual manera, se está trabajando en modelos de mayor alcance, como análisis modales analíticos no lineales y métodos automatizados de OMA, que servirán para optimizar las mediciones, reducir errores y complementar el estudio de los parámetros modales.

Reconocimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación "Tecnologías IoT y redes inalámbricas de sensores aplicados a la monitorización de salud estructural en edificios esenciales de la ciudad de Cuenca".

Se agradece al Departamento de RSA (Red Sísmica del Austro), a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EERCS) y a la Dirección de Investigación de la Universidad Cuenca-Ecuador (DIUC), por el apoyo recibido y por los recursos facilitados durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- ACI 228.1R-03. (2003). In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. *ACI Committee Reports*, 228, 1R, 44.
- Allemang, R. J. (2003). The modal assurance criterion - Twenty years of use and abuse. *Sound and Vibration*, 37(8), 14–21.
- Arcentales, I. (2020). Evaluación De La Respuesta Dinámica Del Hospital Naval General Hosnag Sometido a Vibración Ambiental. *Brain*, 117(3), 607–636.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9434/1/T-ESPE-048572.pdf>
- ASTM C-805/C805M-18. (2018). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. *ASTM International*, 04.02, 1–4. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C805C805M>
- ASTM C39 / C39M - 18. (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete

- Specimens. *ASTM International*, 8. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C39C39M>
- ASTM C42 / C42M - 18. (2018). Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. *ASTM International*, 7. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C42C42M>
- Azam Sya'bani, Y., Novianty, A., & Luhur Prasasti, A. (2020). Implementation of Automatic First Arrival Picking On P-Wave Seismic Signal Using Logistic Regression Method. *International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 8, 5–9.
- Boscatto, G., Dal Cin, A., Ientile, S., & Russo, S. (2016). Optimized procedures and strategies for the dynamic monitoring of historical structures. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 6(2), 265–289. <https://doi.org/10.1007/s13349-016-0164-9>
- Brincker, R., Zhang, L., & Andersen, P. (2000). Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition. *MAC 18: Proceedings of the International Modal Analysis Conference*, 625–630.
- Cárdenas, E. M., & Medina, L. U. (2021). Non-Parametric Operational Modal Analysis Methods in Frequency Domain: A Systematic Review. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 11(1), 34–44. <https://doi.org/10.46604/IJETI.2021.6126>
- Celebi, M. (2000). Seismic Instrumentation of Dams. *USGS*, 101(11), 1095–1104. <https://doi.org/10.1061/ajgeb6.0000209>
- Celebi, M., Nishenko, S., Astill, C., & Chung, R. M. (1998). *Seismic Instrumentation of Federal Buildings a Proposal Document for Consideration By Federal Agencies*.
- Chopra, A. K. (2013). DYNAMICS OF STRUCTURES Theory and Applications to Earthquake Engineering. In *PEARSON* (Cuarta edi).
- Conti, M., & Giordano, S. (2014). Mobile ad hoc networking: Milestones, challenges, and new research directions. *IEEE Communications Magazine*, 52(1), 85–96. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6710069>
- Farshchin, M. (2015). *Frequency Domain Decomposition* (p. 1). <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/50988-frequency-domain-decomposition-fdd>
- Gkoktsi, K., & Giaralis, A. (2019). A multi-sensor sub-Nyquist power spectrum blind sampling approach for low-power wireless sensors in operational modal analysis applications. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 116, 879–899. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.06.049>
- Greiner, B. (2009). Operational Modal Analysis and its Application for SOFIA Telescope Assembly Vibration Measurements Operationelle. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Universidad de Stuttgart.
- Hsiao, J. K. (2009). Computation of fundamental periods for moment frames using a hand-calculated approach. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 9, 16–28.
- Jacobsen, N. J., Andersen, P., & Brincker, R. (2007). Using EFDD as a robust technique to deterministic excitation in operational modal analysis. *Proceedings of the 2nd International Operational Modal Analysis Conference, IOMAC 2007*.
- Kavitha, S., Joseph Daniel, R., & Sumangala, K. (2016). Design and Analysis of MEMS Comb Drive Capacitive Accelerometer for SHM and Seismic Applications. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 93, 327–339. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.029>
- Lacanna, G., Ripepe, M., Marchetti, E., Coli, M., & Garzonio, C. A. (2016). Dynamic response of the Baptistery of San Giovanni in Florence, Italy, based on ambient vibration test. *Journal of Cultural Heritage*, 20, 632–640. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.02.007>

- Muñoz, M., Guevara, R., González, S., & Jiménez, J. C. (2021). Reliable Data Acquisition System for a Low-Cost Accelerograph Applied to Structural Health Monitoring. *Journal of Applied Science, Engineering, Technology, and Education*, 3(2), 181–194. <https://doi.org/10.35877/454ri.asci159>
- Muttillio, M., Battista, L. Di, De Rubeis, T., & Nardi, I. (2019). Structural health continuous monitoring of buildings-A modal parameters identification system. *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech 2019*, 46–49. <https://doi.org/10.23919/SpliTech.2019.8783051>
- NEC-SE-DS. (2015). Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606102841.pdf%0Ahttps://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1.pdf> (in spanish)
- Neu, E., Janser, F., Khatibi, A. A., Braun, C., & Orifici, A. C. (2016). Operational Modal Analysis of a wing excited by transonic flow. *Aerospace Science and Technology*, 49, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.11.032>
- Ostachowicz, W., Soman, R., & Malinowski, P. (2019). Optimization of sensor placement for structural health monitoring: a review. *Structural Health Monitoring*, 18(3), 963–988. <https://doi.org/10.1177/1475921719825601>
- Pachón, P., Castro, R., García-Macías, E., Compan, V., & Puertas, E. (2018). E. Torroja's bridge: Tailored experimental setup for SHM of a historical bridge with a reduced number of sensors. *Engineering Structures*, 162(February), 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.035>
- Pachón, P., Infantes, M., Cámara, M., Compán, V., García-Macías, E., Friswell, M. I., & Castro-Triguero, R. (2020). Evaluation of optimal sensor placement algorithms for the Structural Health Monitoring of architectural heritage. Application to the Monastery of San Jerónimo de Buenavista (Seville, Spain). *Engineering Structures*, 202(November 2019), 109843. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109843>
- PROCEQ SA. (2016). *Manual de operación SilverSchmidt y Hammerlink*. 14.
- PROCEQ SA. (2017). *Manual de operación PROFOMETER*.
- Rojahn, C., Scawthorn, C., Anagnos, T., Wong, K., & Poland, C. D. (2002). *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards, Handbook, FEMA 154*. March, 1–140.
- Samaniego, V. (2020). Análisis modal con orientación hacia monitorización de salud estructural. Caso edificio Empresa Eléctrica Regional Centrosur [Universidad de Cuenca]. In *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34869>
- Valenti, S., Conti, M., Pierleoni, P., Zappelli, L., Belli, A., Gara, F., Carbonari, S., & Regni, M. (2018). A low cost wireless sensor node for building monitoring. *EESMS 2018 - Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EESMS.2018.8405827>
- Yang, J., Wu, P., Chen, Y., & Wei, W. (2019). Development and Testing of the Earthquake Early Warning Information Push Platform Based on MQTT Protocol. *Scientific Conference on Mechatronics Engineering and Computer Science (SCMC 2019), Scmc*, 399–405. <https://doi.org/10.25236/scmc.2019.082>
- Yun, D. Y., Kim, D., Kim, M., Bae, S. G., Choi, J. W., Shim, H. B., Hong, T., Lee, D. E., & Park, H. S. (2021). Field measurements for identification of modal parameters for high-rise buildings under construction or in use. *Automation in Construction*, 121(October 2020), 103446. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103446>
- Zhou, Y., Zhou, Y., Yi, W., Chen, T., Tan, D., & Mi, S. (2017). Operational Modal Analysis and Rational Finite-Element Model Selection for Ten High-Rise Buildings based on On-Site Ambient Vibration Measurements. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(5), 14. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001019](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001019)



Nativos digitales y desinformación: un acercamiento desde el sur de Ecuador

Digital natives and disinformation: an approach from southern Ecuador

Rocío Elizalde-Robles¹ <https://orcid.org/0000-0002-5389-906X>,
Claudia Rodríguez-Hidalgo¹ <https://orcid.org/0000-0003-4004-9389>

¹Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador
rmelizalde1@utpl.edu.ec, cvrodriguzx@utpl.edu.ec

Enviado: 2021/06/27

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

Esta investigación indaga en las prácticas de verificación informativa en los nativos digitales, con el uso de herramientas tecnológicas. El objetivo es poner a prueba un chatbot para realizar verificación informativa con elementos de inteligencia artificial; adicionalmente se busca conocer los hábitos de consumo informativo y el conocimiento sobre la desinformación y los sistemas de verificación de contenidos. Se emplea una metodología cualitativa a partir del trabajo con grupo focal. La población se constituye entre personas de sexo masculino y femenino de las generaciones jóvenes, conocidos como nativos digitales, cuyas edades se centran entre la segunda década de vida. Se recolectan datos primarios, a partir de un testeo guiado por tres bloques de preguntas: preguntas de estímulo-inicio, preguntas de desarrollo, bloque de cierre. Los resultados permiten inferir que los nativos digitales gozan de competencia mediática al momento de navegar en entornos digitales, sin que esto implique experticia al momento de interactuar con la desinformación o desarrollar su verificación, para lo cual se reconoce una necesidad formativa. Resulta novedoso y útil, para esta población, el desarrollo y empleo de herramientas que aporten a comprender mejor el fenómeno desinformativo y cómo abordarlo en los entornos cercanos con los cuales se relacionan.

Palabras clave: desinformación, fact-checking, chatbot, verificación informativa, nativos digitales.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Metodología, Principales hallazgos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Elizalde-Robles, R. & Rodríguez-Hidalgo, C. (2021). Nativos digitales y desinformación: un acercamiento desde el sur de Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 94-108.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/834>

Abstract

This research focuses on information verification practices in digital natives, with the use of technological tools. The objective is to test a chatbot to verify information with elements of artificial intelligence; additionally, it seeks to know the information consumption habits and knowledge about disinformation and content verification systems. A qualitative methodology based on focus group work is used. The population is composed of men and women of young generations, known as digital natives, whose ages are centered between the second decade of life. The primary data were collected from a test guided by three blocks of questions: stimulus start questioning, development questions, closing block. The results allow inferring those digital natives enjoy media skills when navigating digital environments, without implying expertise when interacting with disinformation or developing their verification, for which a training need is recognized. It is novel and useful, for this population, the development and use of tools that contribute to a better understanding of the phenomenon of disinformation and how to address it in the close environments with which they relate.

Keywords: disinformation, fact-checking, chatbot, informational verification, digital natives.

Introducción

En las últimas décadas, la evolución de los medios y sistemas digitales han permitido que las comunicaciones en línea se afiancen. Esto obedece, por un lado, a que estos avances de las tecnologías digitales develan un crecimiento en su oferta (Barón et al., 2021); y, por otro, a que a través de estas comunicaciones resultan relaciones basadas en contactos simbólicos, en donde, los dispositivos digitales se constituyen en instrumentos de permanencia (Barrio et al., 2017), especialmente en las generaciones más jóvenes, las cuales han desarrollado distintas habilidades de socialización en estos espacios (Flores & Browne, 2016).

Las redes sociales, los sistemas de mensajerías, las aplicaciones o los chats dan cuenta de la consolidación de un mundo virtual de comunicaciones de pantallas que transfieren todo tipo de contenidos (López & Gómez, 2021), lo cual incluye la creciente corriente desinformativa digital (Rodríguez, 2019). De ahí que la discusión sobre la incidencia de la desinformación como un fenómeno inserto en estos medios permanezca vigente (Badillo, 2019) y siga siendo un tema que se analiza desde distintos ámbitos.

Si bien las indagaciones sobre desinformación dan cuenta de su concepción, marco teórico, prácticas, empirismos, modos de producción, distribución en Internet y en las redes sociales desde hace casi una década (Romero, 2013), estos alcanzan un repunte a partir del año 2015, en el contexto de la creciente sobreexposición a climas desinformativos digitales presentes en la esfera mediática (Lótero et al., 2018), en la cual miles de personas hacen frente cada día a contenidos manipulados o inventados con diversos fines. Esto implica la visión de la desinformación como un fenómeno complejo (Innerarity & Colomina, 2020) que no solo se centra en el uso de la mentira para diversos fines, sino en el poder de expansión que le da Internet, además de visibilizar la dificultad para erradicar las desinformaciones en el mundo digital dado el alcance que logran, una realidad que para ser atendida y entendida requiere conjugar esfuerzos para establecer marcos teóricos multidisciplinarios que permitan profundizar en el abordaje de este fenómeno.

Al presente, encontramos estudios que se proponen comprender mejor la incidencia de la desinformación en las comunicaciones cotidianas. Estos resaltan que se trata de un asunto que requiere de mayor investigación (Pröllonchs, 2021) pues su propagación continúa y logra más alcance por las comunicaciones de interacción digital.

En las comunicaciones digitales, los espacios de interrelación se basan en redes sociales, las cuales representan para las generaciones más jóvenes, o nativos digitales, un entorno propio (Calderón & Arteaga, 2020) de relación constante. Se trata de generaciones que crecieron con las tecnologías y medios digitales o conviven directamente con estos ecosistemas (Prensky, 2001), en los cuales encuentran variedad de plataformas, sitios web, comunidades y contenidos con los que pueden interactuar (Mendiguren et al., 2020). Incluso se considera que enfrentan mayores problemas de socialización digital y consumo informativo debido a los desórdenes de información populares en estos ecosistemas, especialmente a lo relacionado con la desinformación (Mendiguren, et al., 2020; Magallón, 2021).

Esta investigación busca conocer la experiencia de los nativos digitales en la interacción con la desinformación. Para ello, se plantea el uso de un chatbot de verificación informativa, como instrumento que busca contraponer los contenidos desinformativos con las prácticas de verificación. A este chatbot se lo denomina Checkingbot y funciona a través de la aplicación WhatsApp. A partir de ello, se pretende identificar las principales problemáticas que genera el contenido desinformativo en este grupo de usuarios, junto a la posibilidad de desarrollar una cultura de verificación, motivando el uso de esta herramienta basada en inteligencia artificial, la cual está al alcance de las comunidades que tienen acceso a los dispositivos móviles.

Checkingbot cuenta con un número de celular y un link web de acceso. En su arquitectura incluye un menú de navegación que permite al usuario acceder a contenidos sobre qué es la desinformación y consultar algún tema de interés o tópico específico, con fines de obtener datos verificados. El chatbot se enmarca en iniciar un canal especializado en verificación y por ello, su personalidad se plantea contrastar la desinformación digital por medio de contenidos provenientes de fuentes verificadas.

Materiales y Métodos

Fact-checking para combatir la desinformación

El fact-checking constituye un elemento que busca aportar en la calidad del trabajo periodístico (Palau, 2017). Se plantea una puesta en práctica de la verificación informativa, por medio de la indagación en datos, fuentes, hechos o discursos que resultan de interés para el debate público (Loterio et al., 2018). Si bien, no es un proceso nuevo para el campo informativo, su auge aumenta en la última década al ser asumido como una estrategia que se plantea frenar a la desinformación, en especial, las denominadas *fake news*, bulos o falsedades que también han alcanzado mayores rangos de popularidad en los últimos años.

Su puesta en práctica surge en Estados Unidos por medio de impulsos de organismos como FactCheck.org, PolitiFact, FullFact (Nakov et al., 2021), que actualmente agrupan iniciativas de verificación con metodologías que resultan referenciales para quienes se plantean desplegar proyectos fact-checking. En Ecuador las primeras iniciativas de verificación -fact-checking- toman fuerza en 2017 en contextos de los discursos políticos-electorales y la pugna presidencial. La presentación de estos medios se da a través de un sitio web y del uso de las redes sociales Facebook y Twitter. Se mantienen activas dos propuestas: Ecuador Chequea (2017) y Ecuador Verifica (2020). Esta última como una coalición de esfuerzos entre entidades educativas y sistemas de información mediáticos.

Las propuestas fact-checking asientan su génesis en observar los asuntos públicos y aquello que manifiestan los principales actores políticos (Rodríguez & Rangel, 2021). Los procesos de verificación abarcan la selección de frases, partes de un discurso o declaraciones para ser contrastadas con datos (Bekoulis et al., 2021). El interés por la verificación ha llevado al desarrollo de herramientas que resultan relevantes para la identificación de los mensajes

desinformativos, convirtiendo a la verificación en uno de los grandes retos para los medios digitales (Aguado-Guadalupe & Bernalola-Serrano, 2020) y sus interacciones.

Su relación con el periodismo se muestra como una oportunidad de mejorar la calidad de los contenidos digitales, aplicando métodos específicos de verificación de datos y discursos. Su empleo ha alcanzado nuevos sitios de trabajo y se impulsa como una manera de hacer frente a los diversos contenidos falsos que generan climas desinformativos en sitios como redes sociales digitales.

Únicamente en 2020, debido a la emergencia sanitaria mundial causada por la Covid-19, la desinformación se cataloga como otra pandemia que afecta a comunidades que interactúan por sistemas digitales de comunicación. La Organización Mundial de la Salud emplea el término infodemia para referirse a este tema. La presencia de redes sociales como Facebook, Twitter o Instagram y la creciente búsqueda de información en torno a esta nueva enfermedad, ubica a la desinformación como un símil de una alteración de mayor amplificación, a propósito de uso de las redes sociales (Bacci, 2020), en las comunicaciones digitales.

Según Our World in Data, a inicios de 2021, billones de personas se conectan a plataformas digitales como Facebook, YouTube, WhatsApp, Instagram, WeChat, TikTok, Twitter, entre otras de alta popularidad. Precisamente, estas redes sociales son señaladas por diversos estudios, como los canales de transferencia que hacen que la desinformación logre rangos de exposición antes no registrados. Además, de la propagación de este fenómeno, resultan otras implicaciones, como la formulación de sesgos al momento de abordar un tema o un hecho. El mensaje desinformativo, como un contenido deliberado o interesado, requiere comprobación (Mayora et al., 2017). Al ser consumido por las audiencias digitales, se le otorgan valores de credibilidad incluso a aquellos contenidos no verificados que resultan falsos (García-Marín, 2021) y se encuentran presentes en las comunicaciones digitales de manera activa, conviviendo con otras interacciones realizadas por usuarios cuya presencia en redes digitales también es activa.

Esta situación abre un abanico de complejidades para las audiencias y la comunicación. Las interacciones son, además, con comunidades que responden a las particularidades de universos referidos por los contactos y algoritmos de ecosistemas digitales (González, 2019; García-Marín, 2020), que permiten que cadenas desinformativas tengan presencia, incluso en aplicaciones como WhatsApp (Guallar et al., 2020). En ese contexto, los bots -una herramienta de automatización de contenidos computarizados- son clave a la hora de incrementar el impacto de las campañas de desinformación (Mendiguren et al., 2020). Este aspecto es relevante considerando que actualmente WhatsApp es una de las plataformas sociales más utilizadas a escala mundial (WeAreSocial, 2021).

Los bots se conocen por su naturaleza de automatización y empleo de inteligencia artificial (Túñez et al., 2018). En el marco de estudio de la desinformación, surgen propuestas que buscan emplear los mismos canales por los cuales esta transita, para intentar subvertir los efectos de este fenómeno. Ante la creciente preocupación por el desarrollo de estrategias de confrontación de la incidencia mediática, estas resultan negativas y van de la mano de la desinformación (Golob et al., 2021). Los bots asoman como tecnologías que puede ser utilizadas de forma especializada en la verificación informativa, con metodologías de verificación propias del campo periodístico cuyo empleo pretende aportar en las estrategias para enfrentar el fenómeno desinformativo.

Lo antes señalado se evidencia en el ejercicio fact-checking para la verificación de hechos, que en los últimos años cobra una importancia trascendental para paliar los efectos nocivos de la desinformación. Entre sus herramientas, el fact-checking se vale de bots cuyos comandos otorgan verificaciones, a partir del ingreso de términos de búsqueda los cuales son averiguados en decenas de bases de datos de medios dedicados a la verificación informativa. Con ello se permite al usuario consultar un tema y recibir recomendaciones para conocer más acerca de la desinformación o directamente verificar si algún contenido que le cause duda, resulta ser un contenido desinformativo.

Inteligencia Artificial en el fact-checking

La proliferación indiscriminada de mentiras a través de Internet motiva el desarrollo de herramientas para la verificación informativa. Un proceso que, al desarrollarse de forma tradicional, conlleva mayor tiempo y limitadas acciones en la de búsqueda de información (Vizoso et al., 2018) que permita validar o refutar algún dato, sobre todo los que tienen origen desconocido y se vuelve altamente populares en las conversaciones de redes sociales digitales. En ese sentido, las tecnologías automatizadas, junto a las herramientas de inteligencia artificial constituyen una combinación idónea para realizar la búsqueda y valoración de los contenidos en tiempo real, como un proceso que en cambio, facilita la verificación (Crosas, 2020; López García de Albizu, 2019) de hechos y además, implica un aporte colectivo en la búsqueda de los datos.

En ese contexto surgen los chatbots, los cuales tradicionalmente se emplean con fines comerciales (Janarthanam, 2017), pero que en los últimos años adquieren relevancia como herramientas para confrontar la desinformación, especialmente durante la pandemia por Covid-19. Organizaciones periodísticas dedicadas a la verificación informativa incursionan en el uso de chatbots para verificar (Hassan et al., 2017; Salnikova, 2019), tal es el caso de la fundación Maldita.es, que junto a Covid Warriors lanzan un chatbot que interactúa con los usuarios ofreciendo respuestas a dudas con informaciones verificadas, se considera como el primer chatbot de fact-checking de habla hispana (López Linares, 2020).

Otro ejemplo lo impone la *International Fact-Checking Network (IFCN)* con su proyecto FactChat, que reúne a verificadores de Estados Unidos y medios de comunicación para desmentir las afirmaciones realizadas durante la campaña presidencial de 2020 (IFCN, 2020). Adicional a ello la propagación de *fake news* sobre la Covid-19 propicia el desarrollo de los chatbots enfocados en desmentir rumores acerca del virus, las medidas de prevención, las posibles curas y temas afines.

Sin embargo la inteligencia artificial también puede ser utilizada para desinformar. Un ejemplo de esto es Grover, sus creadores lo describen como el mejor generador de noticias falsas (Raya, 2019) y que fue utilizado para crear un rumor que luego se hizo masivo sobre un ataque terrorista a la Casa Blanca en el cual el expresidente Obama resultaba herido. La herramienta no ha estado exenta de polémicas, razón por la cual sus creadores afirman que el trasfondo es aprender sobre la generación de *fake news* y a partir de ello luchar por su erradicación.

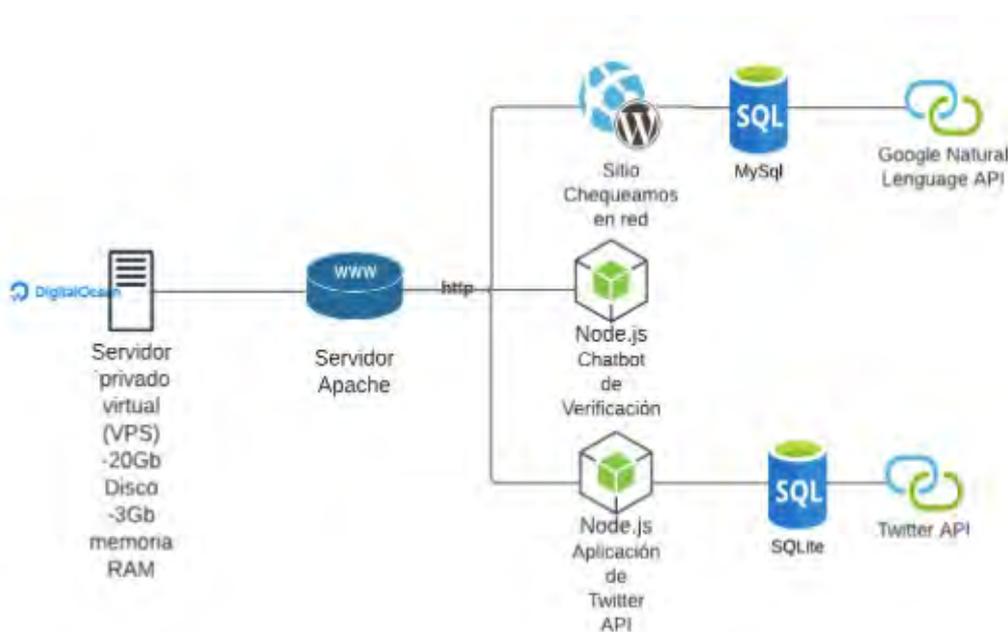
Checkingbot es una herramienta cuyo enfoque es hacer frente a la desinformación con la verificación informativa puesta al alcance de los usuarios. En ese contexto, esta investigación da cuenta de los resultados de la experimentación en el uso de tecnologías de la inteligencia artificial en un chatbot y su relacionamiento con los usuarios en la aplicación. Los comandos de Checkingbot emulan indagaciones que permiten resolver las dudas de los usuarios sobre temas que despiertan desconfianza, o demandan de la búsqueda específicas de mayores datos

para comprender un tema, de manera especial, en aquellos que logran popularidad por sus niveles de viralidad digital. Para ello, se trabaja en la estructura de chatbot que resulte de fácil uso para quienes buscan datos verificados.

La Figura 1 muestra los elementos considerados para el desarrollo de la estructura de un chatbot de verificación informativa. Esta propuesta considera categorías y variables de inteligencia colectiva, desinformación y verificación, por medio de las cuales se crea una distribución y menú de interacción dirigido a usuarios digitales. Desde un almacenamiento, el chatbot aloja información que cumple con los requisitos de ser información validada, la cual se entrega a los usuarios del chatbot, mediante mensajes de respuesta a un menú de consultas. El chatbot se crea para estar disponible en la aplicación de WhatsApp, por ser popular en las comunicaciones del contexto ecuatoriano.

Figura 1

Estructura del chatbot de verificación informativa «Checkingbot»



Nota: Se emplearon criterios comunicacionales para la construcción base del chatbot

Estas tecnologías de contrastación de la desinformación son empleadas como estrategias que permiten a los usuarios digitales conseguir datos informativos específicos sobre temas que alcanzan interés colectivo. La Organización Mundial de la Salud, emplea en 2020, un chatbot que provee información vinculada con el Covid-19, mitos sobre esta enfermedad, recomendaciones de bioseguridad, así como desmentidos acerca de las falsedades en torno al desarrollo de las vacunas.

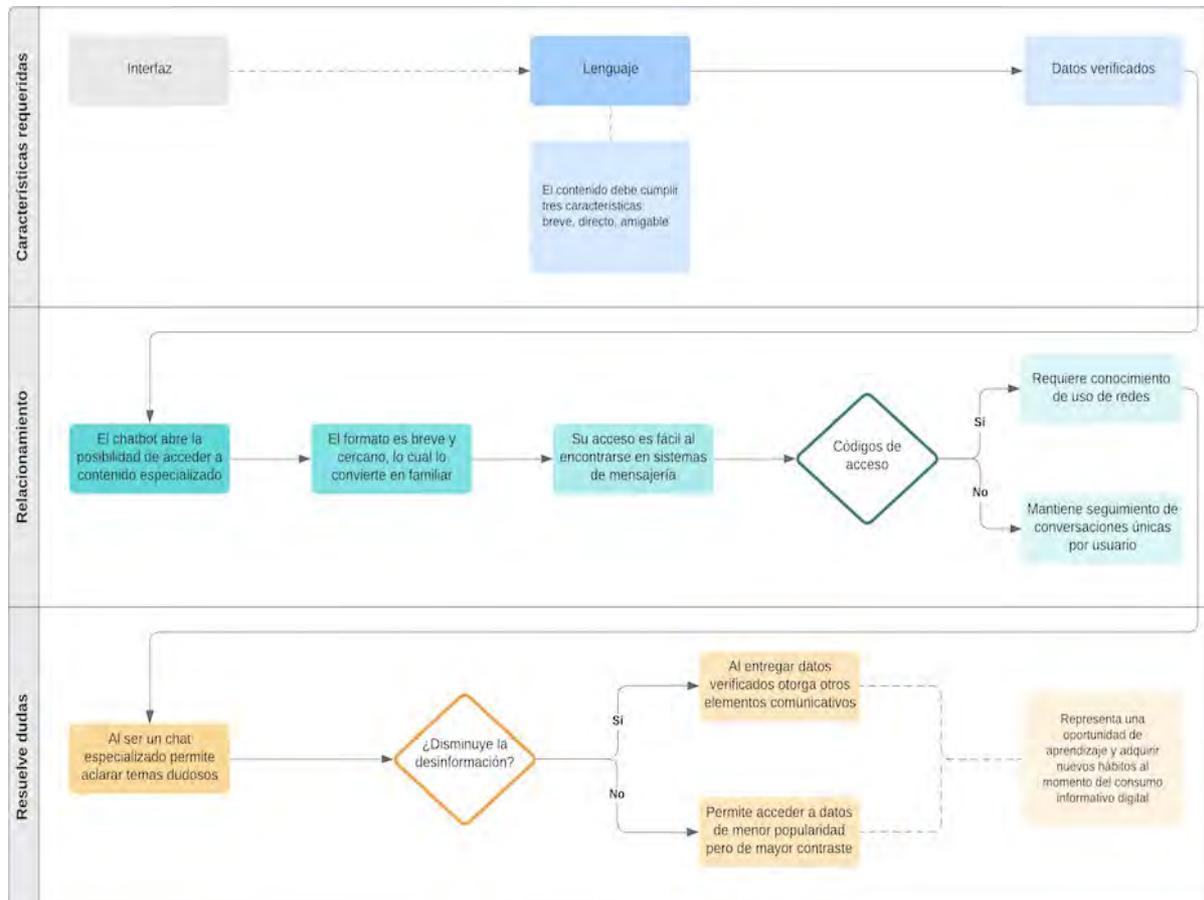
En el caso de Checkingbot su línea editorial incluye temas de coyuntura como: salud, política, economía, elecciones, además, de aquellos que son de interés colectivo vinculados a mitos en salud mental, alimentación, entre otros.

La Figura 2 identifica a las categorías comunes sobre la manera de entender, asociar, asimilar y discutir en las conversaciones incentivadas para abordar a la desinformación por medio de los procesos de verificación como herramientas específicas de contenido. A partir de ello, se identifica que durante el testeo por medio del grupo focal, la interacción con un chatbot de verificación genera experiencias que se sintetizan en cinco categorías comunicativas:

interfaz, lenguaje, base de datos, contenido verificado, interés de uso. Estos factores resultan clave para motivar su uso en las comunidades digitales que buscan conocer sobre verificación.

Figura 2

Usabilidad del chatbot en personas jóvenes



Nota: Los datos se obtuvieron durante un testeo con el chatbot

Metodología

El objetivo de la investigación es poner a prueba la herramienta tecnológica de fact-checking, Checkingbot con un grupo de nativos digitales de la región sur de Ecuador. Para este fin se propuso un grupo focal con un total de 10 nativos digitales, de sexo masculino y femenino, de la zona sur de Ecuador. Se seleccionó esta técnica de levantamiento de información pues posibilita la recopilación de información primaria a partir de las experiencias directas de los participantes del estudio que permitió el acercamiento a la factibilidad del uso de esta herramienta de verificación.

A partir de la construcción de un instrumento de investigación cualitativa se establecieron características de las personas que conformarían la población de estudio, que incluyó: edades, sexo, ubicación geográfica, usuarios que utilicen WhatsApp. Se planteó como objetivo probar y conocer el funcionamiento del software de verificación, Checkingbot, con el fin de indagar en las reacciones, actitudes y experiencias de los usuarios nativos digitales, en torno al uso de aplicaciones de verificación de contenidos digitales de inteligencia colectiva.

Se seleccionó como punto geográfico la provincia de Loja, ubicada al sur de Ecuador, en donde se levantaron los primeros indicadores acerca de la relación entre las poblaciones

jóvenes, conocidos como como nativos digitales, y su relación con una de las problemáticas comunicacionales actuales: la desinformación digital.

La elección de los perfiles cuidó en conformar una muestra representativa para testear las experiencias e interacciones de los usuarios digitales jóvenes, entre la desinformación, manifestada a través de contenido falso, la verificación informativa y el uso de las tecnologías de verificación como los chatbots. La Tabla 1 detalla las edades de los nativos digitales que participaron en el estudio. Sus ubicaciones son la zona sur de Ecuador. Sus edades también fueron relevantes para el presente estudio, dado los comportamientos manifiestos al momento de interactuar en ecosistemas digitales, por los nativos digitales o poblaciones altamente familiarizadas con las interacciones mediadas en sistemas digitales, como redes sociales y aplicaciones de mensajerías tipo WhatsApp.

Tabla 1

Características de los participantes

SEXO	EDADES		
	19-22	23-26	27-30
Hombres	2	3	
Mujeres	2	2	1

El grupo focal se dividió en tres secciones de trabajo. La primera partió con preguntas de estímulo, se aplicó un banco de 11 cuestionamientos que pretendían conocer las impresiones sobre la existencia de un chatbot como herramienta de verificación de información. A partir del primer cuestionario se abordaron preguntas sobre las experiencias en el uso de redes sociales y aplicaciones es el caso de WhatsApp, como parte de los comportamientos de estos usuarios, en los ecosistemas digitales que usan, además se planteó un sondeo acerca de su conocimiento sobre desinformación, particularmente de *fake news*. El segundo testeó se basó en aplicar preguntas de desarrollo que buscaron conocer la experiencia sobre el uso e interacción con la herramienta Checkingbot. Para esta parte, la interacción inició con preguntas de tipo intuitivo, hasta conocer los grados de familiaridad con el uso de herramientas de este tipo -chatbots- en WhatsApp. Finalmente, en un tercer momento, se indagó sobre los conocimientos de verificación informativa, interacción con desinformaciones como *fake news*, su experiencia con estos contenidos, han recibido desinformaciones, si han creído y compartido estos contenidos; adicionalmente, se indagó en sus comportamientos para replicar mensajes e identificar desde qué grupos reciben mensajes desinformativos.

Tabla 2

Recolección de experiencias en nativos digitales

ACERCAMIENTO A LA DESINFORMACIÓN EN POBLACIONES JÓVENES		
BLOQUE DE PREGUNTAS 1	BLOQUE DE PREGUNTAS 2	BLOQUE DE PREGUNTAS 3
Buscan estimular la conversación e interacción de manera natural, evitando generar un dominio de opinión por algún participante.	Indagan en los conocimientos sobre tecnologías bot y concretamente chatbots de verificación, para probar Checkingbot.	Recolectan experiencias sobre la relación de los participantes con desinformaciones, niveles de credibilidad o identificación de los propagadores, en sus contactos.

A partir de la aplicación de preguntas técnicas descritas en la Tabla 2 se recolectaron los datos, experiencias, inquietudes y reacciones que dan cuenta de cómo llega la desinformación a los nativos digitales y cómo tejen interacciones con tecnologías de chatbots de verificación informativa, a partir de la propuesta de contar con Checkingbot, para averiguar si un contenido corresponde a un hecho noticioso verificado o a una falsedad.

La participación se realizó de manera activa, voluntaria, neutral y consensuada. Las preguntas de inicio y frases de enganche permitieron una participación motivada, promovida por parte de los asistentes a la investigación. En la recolección de los datos cualitativos para conocer las experiencias de uso del chatbot, se procuró que cada intervención sea natural y se acerque de manera respetuosa, a la realidad con la cual han convivido los usuarios, en los ecosistemas digitales, y el empirismo de la desinformación en mensajes cuyos formatos de difusión corresponde a audios, memes, links o contenidos que resultaron virales y se transfieren por redes sociales o grupos de contacto de los entornos a los cuales los usuarios pertenecen.

Principales hallazgos

Los nativos digitales manifiestan emplear plataformas digitales para consumir información. Resultan más populares las redes sociales Facebook, Twitter e Instagram. Dos participantes señalan consumir información por medios tradicionales como la televisión y radio de señal local. Al preguntarse si están familiarizados con el término desinformación responden afirmativamente, a partir de la relación con el término *fake news*, al cual describen como aquellas “noticias” falsas que circulan por los medios sociales digitales y que se enmarcan en temas políticos principalmente.

De la misma forma, reconocen haber recibido en algún momento, durante los últimos 24 meses, algún tipo de contenido falso. La recepción de estos mensajes proviene principalmente de contactos cercanos a sus entornos, como grupos de chat de la familia o algún contacto en su cuenta de Facebook que comparten en sus muros mensajes que resultan falsos. Sin embargo, coinciden en la negativa de compartir este contenido debido a las dudas sobre su veracidad, lo consumen de forma indirecta sin contribuir en la distribución del mismo, en su contacto o redes sociales, dado que principalmente, el tema no resulta de su interés particular. En ese sentido, señalan a los grupos de chat de amigos o familiares como fuentes poco creíbles a la hora de otorgar valores de veracidad a la información que comparten, cuyas características evidencia viralidad.

Consumo de desinformación

Los participantes demuestran comportamientos de desafección por el consumo permanente de medios de comunicación tradicionales, así como de medios digitales cuyo tráfico de contenido diario resulta excesivo. Prefieren contenidos breves, cortos, dinámicos y con datos de utilidad.

Respecto a contenidos de dudosa actualidad se observa un conocimiento deficiente tanto en conocer cuáles son los contenidos desinformativos como en conocer cómo verificarlos. Si bien, al momento de buscar información que parece falsa, acuden a cuentas de medios de comunicación para comprobar su veracidad antes de compartir, esta práctica no resulta extendida en todos los participantes, solo en tres de ellos. Los demás mencionan no estar interesados en compartir contenidos entre sus contactos o redes sociales, menos si no están seguros de su veracidad, aunque tampoco se interesan en averiguar si es verdad o no. Este dato de usabilidad de los medios digitales sobre contenido enmarcado en el campo informativo, permite inferir que son usuarios principalmente consumidores con un comportamiento bajo al momento de replicar, por medio de la opción de compartir, aquello que interactúan. La característica principal deriva en un grupo principalmente consumidor de contenido.

En el caso sobre su conocimiento acerca de medios dedicados a la verificación informativa, este grupo indica algunos puntos de referencia a través de medios de verificación como Ecuador Chequea u otros en internet, pero solo en dos de los participantes. De manera

general, este grupo de nativos desconoce la existencia de organizaciones dedicadas a la verificación de información y más aún proyectos gestados a escala nacional sobre el tema.

Interacción con un chatbot de verificación: Checkingbot

Durante la socialización de la herramienta Checkingbot se deja a los participantes interactuar de manera intuitiva, sin evidenciar dificultad para el entendimiento de su funcionamiento. En el proceso se recolectaron apuntes de las reacciones y comentarios de los participantes con la personalidad del chatbot. La relación se dio en intervalos de tiempo cortos, minutos, luego de haberse compartido a los participantes el link y número de celular con el cual funciona el chatbot, para que inicien su interacción.

Una vez que lo agregaron a sus celulares, los participantes manifestaron rapidez en comprender cómo se interactúa con un sistema de verificación de contenido en formato de chatbot. En este chatbot de verificación encontraron recomendaciones para conocer qué es desinformación, así como la opción de buscar temas a verificar, por medio de ingresar en el chatbot una frase sobre un hecho que haya sido atendido desde los medios de comunicación, debido a que el chatbot Checkingbot ofrece un menú de navegabilidad que emite instrucciones.

En este proceso se identifica como poco relevante, para los participantes, que el chatbot proporcione links de noticias de diferentes medios, lo cual empata con sus hábitos de consumo de noticias, enmarcados en la preferencia por los contenidos breves. Para ellos, es preferible que este tipo de tecnologías de verificación entre pocos pero buenos enlaces de temas verificados que les permitan conocer de manera rápida sobre qué trata el tema consultado.

Al interactuar con el chatbot Checkingbot, los usuarios lo encuentran funcional. Las respuestas más comunes de las interacciones que se despliegan coinciden en el menú de opciones y se lo enmarca como novedoso y útil. Por ello, indican que podrían mantener la herramienta para consultas específicas entre sus contactos de WhatsApp, aunque no reconocen en este tipo de tecnologías la necesidad de un uso a largo plazo ni de forma permanente, sino para cuestiones muy concretas.

Sin embargo, la propuesta de contar con un chatbot como herramienta para contrarrestar la desinformación les resulta estimulante para la búsqueda de datos específicos. Reconocieron que despertó su interés por el uso de chatbot fuera del ámbito comercial, como ocurre con algunas marcas, y trasladarlo como un canal de comunicación especializado en verificación, que podría convertirse, con el tiempo, en parte de los hábitos de consumo informativo en canales y ecosistemas digitales.

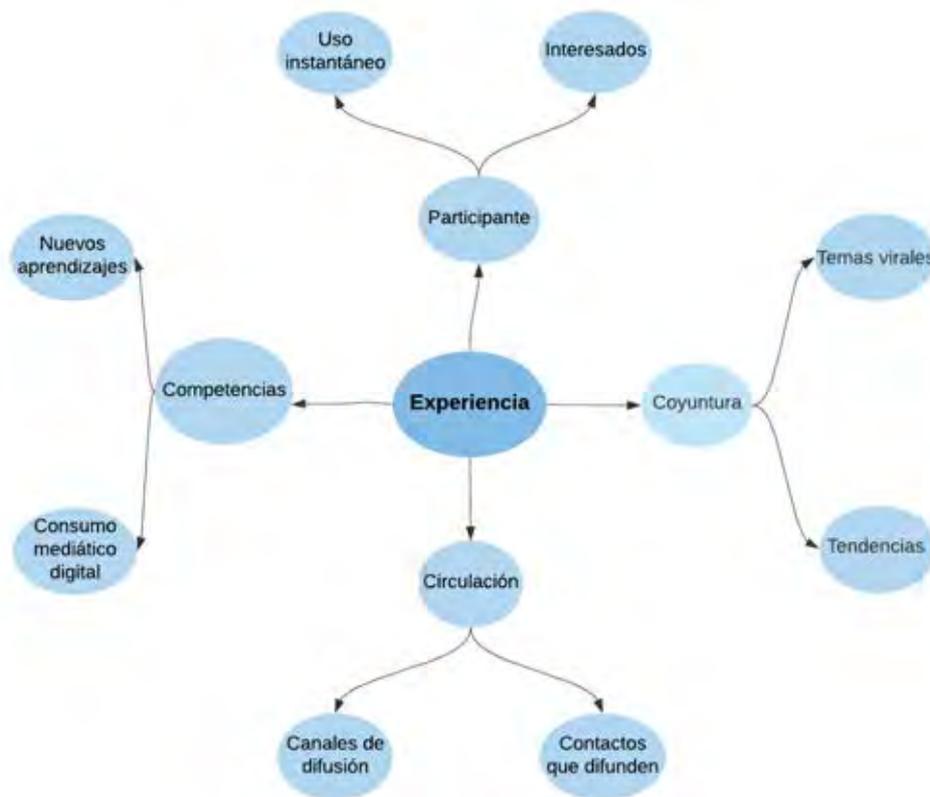
La Figura 3 arroja información consolidada que permite comprender los picos de interacción que resultan comunes en los integrantes de los tres grupos focales, prevalece la experiencia que genera la herramienta con la circulación de contenidos, los temas de coyuntura, los canales de difusión, los nuevos aprendizajes. Esto marca una experiencia de uso de la herramienta de verificación de desinformación mediante inteligencia colectiva, especificada en la propuesta de una chatbot de verificación informativa cuyo funcionamiento se da por medio de WhatsApp.

La experimentación del chatbot permite recolectar la experiencia sobre la interacción con esta herramienta. Este resultado se enmarca en despertar curiosidad en el uso de chatbot de verificación en esta población. Resulta novedosa y factible de utilizar para búsquedas concretas. Algunas observaciones comunes son: las poblaciones jóvenes tienen conocimientos generales sobre la existencia de *fake news*, sin que alcancen a dimensionar la incidencia de

estas como atributos del fenómeno más amplio que supone la desinformación, en la comprensión de temas de interés social, su forma de abordar o los sesgos que pueden incidir un contenido desinformativos, acerca de hechos, declaraciones, decisiones públicas o personajes públicos.

Figura 3

Concordancia en la experiencia de interacción con Checkingbot



Resultados y Discusión

Los nativos digitales consideran útil el uso de tecnologías como chatbot de verificación y aunque estas no son conocidas, su uso resulta intuitivo y de fácil acceso por medio de sus celulares y WhatsApp. El uso de un chatbot de verificación informativa permite acceder a una herramienta especializada en contenido verificado. Contar con herramientas de verificación implica en una medida contribuir en desarrollar responsabilidades tanto de medios de comunicación como de los ciudadanos, al momento de consumir medios. Según Palau-Sampio (2017) depende de la percepción de que esta actividad de verificación, sea interpretada como una imparcial, puesto que se convierte en una herramienta que puede renovar la profesión. Esta herramienta pretende ser un canal especializado en verificación, por lo cual, su empleo se puede convertir en momentos específicos de indagación de contenidos.

Para esta población, la desinformación es igual que *fake news* y su apreciación es que buscan manipular a las personas con contenidos principalmente enfocados en lo político. La Figura 3 lo relaciona a los temas de coyuntura que resultan ser también virales. Al respecto García-Marín (2021), se refiere a que los desórdenes desinformativos constituyen una práctica común de la desinformación, que requiere en la actualidad, fomentar nuevos ejercicios que

permitan comprender los lenguajes de los contenidos digitales desinformativos. Aunque los nativos digitales muestran habilidades sociales y de interacción con distintos formatos de contenido e incluso herramientas digitales, fortalezas de socialización según Flores & Brownw, (2016), los nativos digitales principalmente se muestran como consumidores de contenido y no evidenciaron interés en replicar contenidos virales entre sus cuentas o grupos.

Acerca de la verificación informativa, se observa que los participantes de este estudio desconocen la existencia de procesos de verificación fact-checking, por lo que indican que la existencia de estas herramientas es novedosa y a la vez, despierta interés en conocer más sobre su uso como canales especializados en el contenido verificado.

Los nativos digitales advierten como importante que los contenidos que entreguen estas tecnologías deben ser cortos, breves, directos y útiles. Esta apreciación se relaciona con lo expresado en la Figura 1 en la cual se destaca el lenguaje e interfaz empleado para el chatbot. Sobre estos aspectos, autores como Golob et al. (2021) indican que los sistemas mediáticos proporcionan una visión selectiva del mundo, cuya percepción varía incluso por la edad y nivel de educación de las poblaciones, como ocurre en los procesos de contrastación de desinformación digital, verificación informativa y uso de tecnologías chatbot, aún de incipiente creación y aplicación en los campos de verificación.

Conclusiones

De lo expuesto en este estudio, se infiere entre la relación existente entre los nativos digitales y la desinformación, nociones generales sobre los contenidos falsos sin llegar a dimensionar los alcances de la desinformación como un fenómeno presente en el campo comunicativo. Existe un reconocimiento de *fake news* en sus comunicaciones digitales sin que ellos contribuyan a expandir su propagación, pero tampoco se preocupen por averiguar sobre su veracidad la interacción es escueta.

Para los nativos digitales el relacionamiento con tecnologías como chatbots de verificación resulta una herramienta de contenido especializado para ser utilizado en casos específicos. Esta población incluye, en sus hábitos de consumo informativo, una preferencia dominante hacia contenidos ligeros que resulten útiles a sus intereses. Por ello, la herramienta de verificación informativa cumple con esta expectativa al ofrecer datos en un formato corto y dinámico, además de la posibilidad de ser ampliado hacia consultas de interés específico para el usuario a través de los links. Este resultado permite descartar la entrega de una mayoría de links para que aporten en contexto sobre un tema y prevalece el uso de links específicos, breves y útiles.

Contar con la tecnología chatbot de verificación, Checkingbot, abre la posibilidad de ampliar las metodologías fact-checking hacia el desarrollo de otros canales de distribución de contenido verificado, de un tipo de contenido que pretende contrarrestar la desinformación digital con el uso de los mismos canales de interacción directa, como es el caso de WhatsApp. Para ello, se requiere mayores ajustes a los lenguajes que conforman el menú de interacción de estos chatbots hasta lograr que se asemejen lo más posible a contenidos ligeros, breves y útiles, que permitan satisfacer la necesidad de encontrar contenidos veraces en código comunes para los usuarios digitales jóvenes.

La propuesta de verificación por medio de chatbot puede ser mejorada si incluye iniciativas colaborativas en la creación de contenidos, una posibilidad es el periodismo de colaboración que se extienden en iniciativas que conectan proyectos o medios para averiguar

mayores datos sobre un tema, esto permite alimentar con datos de mayor calidad las entregas que podría hacer Checkinbot.

El chatbot asoma como una herramienta adaptable que pueden potenciarse como una estrategia para contrarrestar la desinformación e impulsar otros hábitos de consumo, más medido y verificado, de temas o hechos que en apariencia, son noticiosos.

Las poblaciones jóvenes muestran conocimientos generales sobre desinformación a partir de los atributos *fake news*. Estos están asociados principalmente a dos factores: la abundancia de contenidos que circulan en Internet, y de modo particular en las redes sociales. Sin embargo, no se descarta la necesidad formativa sobre estos temas, por lo cual una de las consideraciones de estas herramientas es ser insertada en los sistemas educativos a fin de adiestrar a las poblaciones más jóvenes sobre su uso y a crear una cultura de verificación informativa y difusión responsable de información.

Las limitaciones del estudio fueron en cuanto al alcance de la herramienta chatbot ya que para acceder a esta es necesario ser parte de la población con acceso a Internet y contar con WhatsApp, para así conocer el número de celular o link de acceso al chatbot y poder interactuar. Se evidencia que la herramienta requiere mejorar el lenguaje hasta contar con una comunicación ligera y amigable para el consumo de los nativos digitales. Adicionalmente, dados los comentarios positivos en cuanto la herramienta resulta novedosa como un canal especializado en la verificación informativa, y al ser aún desconocida para poblaciones más amplias, se plantea la consideración de contar con estrategias de difusión, que además explique sobre fact-checking y proyectos de verificación informativa que existen en el país.

Futuras investigaciones podrían enfocarse en otros grupos poblacionales como los adultos mayores, con el fin de desarrollar una visión más amplia acerca del uso de la inteligencia artificial en la verificación informativa, así como trabajar en desarrollar una personalidad más específica del chatbot o mejorar la base de datos que utiliza para mostrar contenidos verificados.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación Detección de fake news a través de métodos de inteligencia colectiva, del grupo de Investigación Comunicación, Poder y Ciudadanía en Red, de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Los autores desean expresar su agradecimiento a Anthony Cabrera, por su participación en el trabajo en el desarrollo de la herramienta de chatbot de verificación informativa, CheckingBot.

Referencias

- Aguado-Guadalupe, G., Bernaola-Serrano, I. (2020). *Verificación en la infodemia de la Covid-19. El caso Newtral*. Revista Latina de Comunicación Social. 78, 289-308. <https://www.doi.org/10.4185/RLCS-2020-1478>.
- Bacci, S. (2020). COVID-19. *Una pandemia de desinformación*. Med Interna. 31-34. Medicina Interna, Educación médica y comunidad. <https://svmi.web.ve/ojs/index.php/medint/article/view/539/527>.
- Bekoulis, G., Papagiannopoulou, C., Deligiannis, N., (2021). *Undertanding the Impact of Evidence-Aware Sentence Selection for Fact-checkign*. Workshop on NLP for Internet Freedom, 23-28. Association for Computational Linguistics. <https://www.aclweb.org/anthology/2021.nlp4if-1.4.pdf>.

- Badillo A. (2019). *La sociedad de la desinformación: propaganda, fake news y la nueva geopolítica de la información*. Documento de trabajo. Real Instituto Elcano. <https://www.almendron.com/tribuna/wp-content/uploads/2019/05/la-sociedad-de-la-desinformacion.pdf>.
- Barón, M., Duque, A., Mendoza, F., Quintero, W. (2021). *Redes sociales y relaciones digitales, una comunicación que supera el cara a cara*. Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa. <https://editic.net/ripie/index.php/ripie/article/view/29/24>.
- Barrio, M., Borges, E., García, F. (2017). *Redes sociales y jóvenes en la era algorítmica*. Vidas registradas. TELOS dossier. <https://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/25849#YMuwzS2xB8c>.
- Calderón, J., R., Arteaga (2020). *Nativos digitales: perspectivas de su rol como consumidor*. Journal Business Science. 15-22. https://revistas.uleam.edu.ec/index.php/business_science/article/view/47/45.
- Crosas, M. (2020). *Los chatbots que combaten las “fake news” sobre el coronavirus*. El Nacional.Cat. https://www.elnacional.cat/es/salud/chatbots-fake-news-coronavirus_494616_102.html.
- Flores, P., Browne, R. (2016). *Jóvenes y patriarcado en la sociedad TIC: Una reflexión desde la violencia simbólica de género en redes sociales*. Revista Latinoamericana. DOI:10.11600/1692715x.1510804082016.
- García-Marín, D. (2021). *Las fake news y los periodistas de la generación z. Soluciones post-millennial contra la desinformación*. Vivat Academia. Revista de Comunicación, 154. 37-63. <http://doi.org/10.15178/va.2021.154.e1324>.
- García-Marín, D. (2020). *Infodemia global. Desórdenes informativos, narrativas fake y fact-checking en la crisis de la Covid-19*. Profesional de la Información. Volumen 20. Nro. 4. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.jul.11>.
- González, M. (2019). *Fake News: desinformación en la era de la sociedad de la información*. Ámbitos. Revistas Internacional de Comunicación. DOI: <http://dx.doi.org/10.12795/Ambitos.2019.i45.03>.
- Golob, T., Makarovič, M., & Rek, M. (2021). *Meta-reflexibilidad para la resiliencia contra la desinformación*. Comunicar, 66, 107-118. <https://doi.org/10.3916/C66-2021-09>.
- Guallar, J., Codina, L., Freixa, P., Pérez-Montoro, M. (2020). *Desinformación, bulos, curación y verificación*. Revisión de estudios en Iberoamérica 2017-2000. Telos: revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, 22. Venezuela. DOI: www.doi.org/10.36390/telos223.09.
- Hassan, N., Adair, B., Hamilton, J. T., Li, C., Tremayne, M., Yang, J., & Yu, C. (2017). *The Quest to Automate Fact-Checking*. KDD '17: Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1803. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/3097983.3098131>.
- Innerarity, D. Colomina, C. (2020). *Introducción: desinformación y poder, la crisis de los intermediarios*. Revista CIDOB Dafers Internacionals. DOI: doi.org/10.24241/rcai.2020.124.1.7.
- IFCN. (2020). *FactChat: El poder está en tus manos - Poynter*. <https://www.poynter.org/ifcn/factchates/>
- Janarthanam, S. (2017). *Hands of chatbots an conversacional UI development*. Packt Publishing Ltd.
- López, N., y Gómez L. (2021). *Tendencias de cambio en el comportamiento juvenil ante los media: Millennials vs Generación Z*. Estudios sobre el Mensaje Periodístico. Ediciones Complutense. <https://dx.doi.org/10.5209/esmp.70170>.
- Lotero-Echeverri, G. Romero-Rodríguez, L. Pérez-Rodríguez, A. (2018). *‘Fact-Checking’ vs ‘Fake News’: Periodismo de confirmación como recurso de la competencia mediática contra la desinformación*. Index comunicación. Nro. 8.
- López Linares, C. (2020, 18 diciembre). *Con lenguaje coloquial, formatos atractivos e inteligencia*. Fundación Gabo. <https://fundaciongabo.org/es/blog/laboratorios-periodismo-innovador/con-lenguaje-coloquial->

formatos-atractivos-e-inteligencia.

- López, X. Vizoso., Á., Pérez, S. (2019). *Iniciativas de verificación en el escenario de la desinformación*. Journal. Volumen 15. Nro. 3. DOI: 10.25200/BJR.v15n3.2019.1215.
- Magallón, R. (2021). *Desinformación y pandemia. La nueva realidad*. Comunicación y Hombre. Número 17. DOI: <https://doi.org/10.32466/eufv-cyh.2021.17.664.385-387>.
- Mayora, J., Parratt, S., Morata, M. (2017). *Desinformación, manipulación y credibilidad periodística: una perspectiva histórica*. Historia y comunicación social. 395-409. <https://dx.doi.org/10.5209/hics.66267>.
- Mendiguren, T., Pérez, J., Meso, K. (2020). *Actitud ante las Fake News: Estudio del caso de los estudiantes de la Universidad del País Vasco*. Revista de Comunicación, Volumen 19. Nro. 1. DOI: <https://doi.org/10.26441/RC19.1-2020-A10>.
- Nakov, P., Corney, D., Hasanain, M., Alam, F., Elsayed, T., Barrón, A., Papatti, P., Shaar, S., Da San Martino, G., (2021). *Automated Fact-Checking for Assisting Human Fact-Checkers*. <https://arxiv.org/pdf/2103.07769.pdf>.
- Our World in Data (2021). Number of people using social media platforms, 2017 at 2019. <https://ourworldindata.org>.
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Guía de la infodemia sobre la covid 19: promover comportamientos saludables y mitigar los daños derivados de la información incorrecta y falsa*. <https://www.who.int/es/news/item/23-09-2020-managing-the-covid-19-infodemic-promoting-healthy-behaviours-and-mitigating-the-harm-from-misinformation-and-disinformation>.
- Palau-Sampio, D., (2017). *Fact-checking y vigilancia del poder: La verificación del discurso público en los nuevos medios de América Latina*. Communication & Society, 347-365. Doi: 10.15581/003.31.3.347-365.
- Prensky, M. (2001). *Digital Natives, Digital Immigrants Part 2: Do They Really Think Differently? On the Horizon*, 9(6), 1–6. <https://doi.org/10.1108/10748120110424843>.
- Pröllochs, N. (2021). *Community-Based Fact-Checking on Twitter's Birdwatch Platform*. University of Giessen, Germany.
- Raya, A. (2019). Una nueva IA es capaz de crear fake news muy fáciles de crear. *El Español*. https://www.elespanol.com/omicrono/software/20190531/nueva-ia-capaz-crear-news-faciles-crear/402710951_0.html.
- Rodríguez, C. (2019). *No digas fake news, di desinformación: una revisión sobre el fenómeno de las noticias falsas y sus implicaciones*. Comunicación Nro. 40. DOI: <http://dx.doi.org/10.18566/comunica.n40.a05>.
- Romero, L. (2013). *Hacia un estado de la cuestión de las investigaciones sobre desinformación/misinformación*. Correspondencias & Análisis. Nro.3. DOI: <https://doi.org/10.24265/cian.2013.n3.14>.
- Rodríguez, M., Rangel, P., (2021). *El fact-checking como práctica de verificación del discurso público en América Latina y Venezuela*. Un estado de la cuestión. Revista Invecom. Estudios transdisciplinarios en comunicación y sociedad. <http://revista.invecom.org/index.php/ojs/article/view/46/147>.
- Salnikova, L. (2019). Robots Versus Journalists: Does Journalism Have a Future? *Theoretical and Practical Issues of Journalism*, 8(4), 668–678. [https://doi.org/10.17150/2308-6203.2019.8\(4\).668-678](https://doi.org/10.17150/2308-6203.2019.8(4).668-678).
- Túñez, J., Toural, C., Cacheiro, S., (2018). *Uso de bots y algoritmos para automatizar la redacción de noticias: percepción y actitudes de los periodistas en España*. El profesional de la información. <https://revista.profesionaldelainformacion.com/index.php/EPI/article/view/epi.2018.jul.04/40574>.
- WeAreSocial. (2021). *Digital 2021*. <https://wearesocial.com/digital-2021>

Aplicación de Fuzzy-AHP y COPRAS en la selección de la mejor alternativa para el maquinado a alta velocidad de estructuras delgadas en aleaciones de aluminio Al 5083

Application of Fuzzy-AHP and COPRAS in the selection of the best alternative for high speed machining of thin structures in Al 5083 aluminum alloys

Hiovanis Castillo Pantoja¹ <https://orcid.org/0000-0003-0091-0904>, Ángel Infante Haynes¹ <https://orcid.org/0000-0002-6462-5339>, Roberto Pérez Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>,
Ricardo Lorenzo Ávila Rondón² <https://orcid.org/0000-0001-6730-5789>

¹Universidad de Holguín. Facultad de Ingeniería, Holguín, Cuba
sotosilva74@gmail.com, ehaynes@uho.edu.cu,
roberto.perez@uho.edu.cu

²Universidad Autónoma de Coahuila. Coahuila, México
rlar001@yahoo.com

Enviado: 2021/07/05

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

En la siguiente investigación se muestra una metodología que combina el método multicriterio COPRAS y el de inteligencia artificial AHP Difuso, que busca mejorar la toma de decisiones dentro de los procesos de planeación en los talleres de maquinado. El primero de los métodos permite determinar el criterio de mayor importancia a cumplir como exigencia en la fabricación; el segundo método, busca la selección de la mejor alternativa, con los valores para el maquinado a alta velocidad que permita fabricar la pieza rectangular de aleación de aluminio 5083. Para el análisis multicriterio los parámetros seleccionados en el proceso de maquinado de piezas de aluminio de estructura delgada son: la rugosidad superficial y la deformación de la pieza. Al aplicar el método Fuzzy-AHP, se determina que el criterio de mayor peso lo constituye la deformación de la pieza en la estructura delgada. Con la evaluación de los criterios, se aplica COPRAS y el resultado del índice de utilidad determina que la alternativa tres es la mejor, por tanto, al implementar los parámetros de entrada: $S = 15000$ rpm, $doc = 0.30$ mm, $ts = 7.0$ mm, $F = 9000$ m/min, se garantiza la calidad en la superficie y baja deformación de la pieza. Se concluye que la metodología de Fuzzy-AHP y COPRAS resulta una excelente

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Castillo, H., Infante, A., Pérez, R. & Ávila, L. (2021). Aplicación de Fuzzy-AHP y COPRAS en la selección de la mejor alternativa para el maquinado a alta velocidad de estructuras delgadas en aleaciones de aluminio Al 5083. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 109-121.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/836>

herramienta, con un bajo costo y buena fiabilidad, como solución a aplicar en los talleres de maquinado para mejorar la toma de decisiones en la planeación de procesos.

Palabras clave: AHP Difuso, COPRAS, maquinado a alta velocidad, inteligencia artificial.

Abstract

The following research shows a methodology that combines the multi-criteria method COPRAS and the artificial intelligence method AHP Fuzzy, which seeks to improve decision making within the planning processes in machining shops. The first method allows us to determine the most important criterion to be fulfilled as a manufacturing requirement; the second method seeks the selection of the best alternative, with the values for high speed machining that will allow the manufacturing of the rectangular piece of aluminum alloy 5083. For the multi-criteria analysis, the parameters selected for the machining process of thin-structured aluminum parts are: surface roughness and part deformation. By applying the Fuzzy-AHP method, it is determined that the most important criterion is the deformation of the part in the thin structure. With the evaluation of the criteria, COPRAS was applied and the result of the utility index determined that alternative three is the best, therefore, by implementing the input parameters: $S = 15000$ rpm, $doc = 0.30$ mm, $ts = 7.0$ mm, $F = 9000$ m/min, surface quality and low deformation of the part is guaranteed. We conclude that the Fuzzy-AHP and COPRAS methodology is an excellent tool, with low cost and good reliability, as a solution to be applied in machine shops to improve decision making in process planning.

Keywords: COPRAS, AHP Fuzzy, high speed machining, artificial intelligent.

Introducción

El fresado constituye uno de los procesos tecnológicos con más utilización en la industria contemporánea y el material de aluminio, por sus características físico-mecánicas, es el más relevante al construir piezas de estructura delgada. Es por ello, que ante la competencia productiva se necesita la introducción de equipamiento tecnológico especial para alcanzar las grandes metas productivas deseadas; este es el caso del fresado a alta velocidad, que permite disminuir un número especial de máquinas herramientas. Dentro de este proceso de fabricación las principales dificultades que se aprecian son relacionados con: la calidad de rugosidad superficial y las deformaciones en las piezas. Estas problemáticas están en gran medida relacionadas dentro de la planeación de procesos con la selección correcta de los parámetros de maquinado.

En este contexto, para dar solución a esta problemática, los ingenieros y especialistas buscan nuevos métodos que le proporcionen estrategias; es ahí donde el avance de la inteligencia artificial le ha abierto un extraordinario campo. Entre las soluciones más empleadas está la selección óptima de los parámetros de maquinado, desde el enfoque tradicional, hasta el novedoso y útil análisis multicriterios.

Para el caso de la fabricación con material de aleaciones de aluminio de piezas con estructura delgada, los expertos han definidos tres criterios con una marcada influencia, estos son: la rugosidad superficial en la dirección del avance, de la dirección transversal y la deformación de la pieza. El valor de los parámetros al fabricar las piezas puede dar como resultado varias alternativas, por lo que se define como objetivo, determinar la solución más óptima con inteligencia artificial: Método Fuzzy-AHP para definir el criterio de mayor validez y COPRAS para determinar la jerarquía de las soluciones.

En otro orden, (Paker et al., 2018), estudian la relevancia que tienen los procesos de manufactura y el diseño CAD enfocado en la industria del automovilismo y logran establecer, a través de métodos analíticos de jerarquía (AHP), los principales criterios que permitan alcanzar las mejores modificaciones de los diseños creados en cada uno de los proyectos para luego realizar su fabricación. (Bhowmik et al., 2019) revisa en los últimos 15 años varios de los métodos multicriterios para la toma de decisiones (MCDM), en los que se emplea la optimización de los procesos de manufactura.

Dentro de los autores que han utilizado los modelos de inteligencia artificial, Fuzzy-AHP están (Vukman et al., 2019), que aplica la lógica difusa en el fresado de piezas de estructuras delgadas, comprueba parámetros de corte y su influencia en el performance de la superficie de acabado de las piezas. En el conformado de chapas de metal, se tiene en cuenta las terminaciones de calidad a la hora de obtener las diferentes piezas. (Bhowmik et al., 2019) demuestra con la utilización del método COPRAS agrupa 4 criterios en su modelo, para mejorar los efectos mecánicos en el máximo adelgazamiento de las chapas y garantizar la calidad de las producciones.

En la industria actual de la fabricación de piezas por procesos de torneado a partir de los centros de maquinado con CNC, en su investigación (Patil & Kothavale, 2020) explican la prioridad que se establece a través del análisis jerárquico (AHP) que parte de cuatro criterios (SS, CNC, XZAS, TS, EES, and MT) como los más críticos para definir las estrategias correctas, siendo de gran utilidad en beneficiar los procesos de gestión de mantenimiento de estas máquinas herramientas. Durante la evolución de los procesos de fabricación modernos los sistemas de fabricación flexible, juegan un importante papel en cada uno de los talleres de maquinado (Patil & Kothavale, 2020) se encargan de presentar una investigación donde recorren las diferentes técnicas de modelados: matemática, inteligencia artificial, toma de decisiones a partir del análisis multicriterios y jerárquicos, redes de Petri y la simulación, resaltando finalmente la importancia de estos en los procesos de fabricación. (Patil & Kothavale, 2020) también proponen el framework Fuzzy-AHP y PROMETHEE para en análisis multicriterio, que busca a partir de 22 soluciones la mejor alternativa que permita disminuir la reducción de residuos en los procesos de manufactura. Señalan la utilidad de los métodos MCDM al buscar la mejor alternativa de los parámetros que garantizan las condiciones óptimas de calidad en la manufactura de orificios. Como criterios se avalúa (redondez, tamaño y conicidad), tomando como variables del análisis: el espesor de la pieza de trabajo, perfil de la herramienta, material y tipo, entre otros. El modelo se ajusta con los métodos MCDM de ARAS-TOPSIS. A partir de los prácticas tradicionales de maquinado la sostenibilidad es una temática importante en las empresas de manufactura, y en esencia en la toma de decisiones (Patil & Kothavale, 2020) en su investigación proponen una combinación de dos métodos MCDM: WESPAS-SECA e incorporan, para mejorar el mismo, la combinación de 2-fuzzy (IT2FSs) en su modelo para optimizar el análisis de incertidumbre y, de esta forma, realiza una mejor evaluación de las estrategias sostenibles. (Sen et al., 2020), en el correcto uso de líquido de refrigeración integración de los métodos Fuzzy AHP-ARAS. (Jasiulewicz-Kaczmarek et al., 2021), en la selección de estrategias de mantenimiento, analiza los procesos de fabricación sostenible desde el punto de vista de la evaluación de los factores de impacto en los procesos de mantenimiento, se aplica F-AHP para determinar la jerarquía y pesos relativos y con F-TOPSIS se demuestra su factibilidad para determinar la mejor solución y seleccionar los factores de mantenimiento más importantes que tienen un impacto en los procesos de fabricación sostenibles.

Como se puede apreciar son varios los trabajos que en su desarrollo, de una manera simple o combinado, han utilizado análisis jerárquico de proceso y método multicriterio en la

toma de decisiones para los procesos de maquinado. Sin embargo, en la literatura no se aprecian trabajos referidos a la combinación de análisis de incertidumbre y multicriterio para el maquinado a alta velocidad en piezas de estructuras delgadas de aluminio, por lo que resulta una novedad su aplicación.

Materiales y Métodos

Caso de estudio

Las operaciones de fresado de alta velocidad se realizaron en Quick Centro de mecanizado Jet AV1612, equipado con HEI-Sistema CNC de DENHAIN para un control preciso del mecanizado con una velocidad máxima de husillo de 20.000 rpm y velocidad de alimentación de 25 m / min. Se seleccionó la pieza de trabajo para el experimento de una aleación de Al 5083 en forma rectangular con medidas de 140 mm × 70 mm × 5 mm. La pieza de trabajo fue montada en un accesorio especial aplicando 6 pernos, además sujeta en la cama de la máquina herramienta. La composición química y las propiedades físicas del material de la pieza de trabajo son recogidas en la Tabla 1 y Tabla 2 respectivamente.

Tabla 1

Composición Química de la Aleación de Aluminio 5083

Elemento	% Presente
Si	0.4
Fe	0.4
Cu	0.1
Mn	0.4-1.0
Mg	4.0-4.9
Zn	0.25
Ti	0.15
Cr	0.05-0.25
Al	Balance

Tabla 2

Propiedades Físicas de la Aleación de Aluminio 5083

Propiedades	Valor
Density	2650 kg/m ³
Melting point	570 °C
Modulus of elasticity	72 GPa
Electrical resistivity	0.058 x 10 ⁻⁶ Ω-m
Thermal conductivity	121 W/m-K
Thermal expansion	25 x 10 ⁻⁶ /K

Tabla 3

Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio 5083

Temper	H32	0/HIII
Proof stress 0.2 % (MPa)	240	145
Tensile strength	330	300
Shear strength (MPa)	185	175
Elongation A5 (%)	17	23
Hardness Vickers	95	75

Fuzzy AHP

El proceso analítico jerárquico se ha convertido en una herramienta utilizada para diferentes investigaciones. Dentro de los métodos de la toma de decisiones Fuzzy AHP ayuda a establecer de manera cualitativa y cuantitativa las prioridades en vista a solucionar los diferentes problemas. En su desarrollo se puede determinar las mínimas acciones de evaluación a los criterios complejos. Sin embargo, a la hora de analizar las posibilidades de tomar decisiones existen incertidumbres y se hace difícil establecer valores numéricos al dar las respuestas. AHP se convierte en un método muy idóneo para que los usuarios se ocupen de la vaguedad o incertidumbre en la toma de decisiones de los procesos (Mehdi Ajalli, 2017).

FAHP se fundamenta a partir de una prioridad local con una porción de preferencia que combinado se genera, lo que se conoce como las prioridades globales. Las prioridades Fuzzy en el cálculo FAHP se basan en operaciones aritméticas para valores trapezoidales o triangulares. Sin embargo, a pesar de su alto uso, los críticos analizan su grado de consistencia, que está dado porque no existe la articulación específica de reconciliación entre la matriz de comparación y el empleo de la información, la probabilidad de errores al establecer el nivel de prioridad y la carencia de un mecanismo para eliminar la inconsistencia de los datos (Mehdi Ajalli, 2017). Para la solución del problema de selección de alternativas se emplea el Método Chang, en el que cada objeto es tomado y se extiende su análisis por cada meta analizada respectivamente.

La escala lingüística es empleada para realizar las comparaciones, reflexión de contenido impreciso debido a la incertidumbre que en ocasiones ocurre a partir de los criterios individuales o las variaciones en la percepción de los analistas (Kaori Ota, 2008). Para esta investigación se toma la tabla lingüística para una escala Fuzzy triangular, que aparece en la Tabla 4.

Tabla 4

Escala Lingüística para Nivel de Importancia en el Grado Fuzzy Triangular

1	Igual	(1,1,1)
3	Moderado	(2,3,4)
5	Fuerte	(4,5,6)
7	Muy Fuerte	(6,7,8)
9	Extremadamente fuerte	(9,9,9)
110	Valores Intermedios	(1,2,3)
		(3,4,5)
		(5,6,7)
		(7,8,9)

Paso 1. El valor fuzzy sintético extendido con respecto al objeto i_{th} es determinado por:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \oplus [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \tag{1}$$

Para establecer $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$, la operación de adición fuzzy del valor de análisis extendido m por la matriz determinada es realizado por:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \tag{2}$$

Y para obtener $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]$, por la realización de la operación suma de fuzzy de $M_{gi}^j (= 1, 2, \dots, m)$ como

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (3)$$

Y $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$ puede ser calculado por la inversa de la Ecuación 4 como sigue:

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4)$$

Paso 2. Como $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ y $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ son dos números triangulares fuzzy, la mínima posibilidad de $M_1 \geq M_2$ es definido como:

$$V = (M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad y \geq x \quad (5)$$

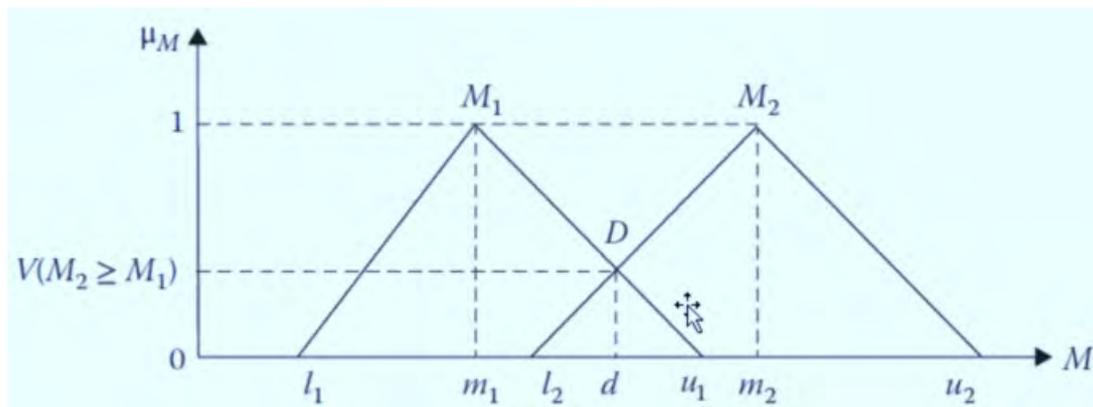
Y puede ser expresado de la forma siguiente:

$$V(M_2 \geq M_1) = hg(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_2 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - m_1 - l_1} \end{cases} \quad (6)$$

Donde d , como se muestra en la Figura 1, es la ordenada del punto de intersección alto D , entre μ_{m_1} y μ_{m_2} . Para comparar $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ y $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$, se necesita de los dos valores $V(M_1 \geq M_2)$ y $V(M_2 \geq M_1)$.

Figura 1

Intersección entre M_1 y M_2



Paso 3. La mínima posibilidad para el número convexo fuzzy es mayor que fuzzy convexo k , M_i ($i=1, 2, \dots, k$) los valores pueden ser definidos por:

$$V(M \geq M_1, M_2, M_k) = v[\geq M_1 \text{ y } M \geq M_2 \text{ y } M \geq M_k] = \min v M \geq M_i, i = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

Se asume que $d'(A_i) = \min(S_i \geq S_k)$ f ó $k=1, 2, \dots, n; k \neq i$, entonces el peso del vector se obtiene por:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (8)$$

Donde A_i ($i=1,2,\dots,n$) son n elementos.

Paso 4. Normalización, los vectores de pesos normalizados son:

$$W = (d(A_1), d(A_2), d(A_n))^T \quad (9)$$

Donde W es un número no fuzzy.

COPRAS (COmplex PROportional ASessment)

El método COPRAS (Turskis, 2008), selecciona las mejores alternativas de decisión considerando las soluciones ideales y las peores-ideales, en una clasificación y evaluación paso a paso de las alternativas en términos de su importancia y grado de utilidad. El algoritmo del método COPRAS consta de los siguientes pasos:

Paso 1. Desarrollo de la matriz inicial de decisión

$$X = [X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Donde m es el número de alternativas y n número de criterios.

Paso 2: Cálculo de la matriz de decisión normalizada (Ighravwe & Oke, 2020)

$$R = R = [r_{ij}]_{m \times n} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (11)$$

Paso 3: Determinar pesos de la matriz de decisión normalizada

$$D = [y_{ij}]_{m \times n} = r_{ij} X W_j \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ y } j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Paso 4: Las suma pesos normalizados de la matriz de decisión

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^n y_{+ij} \quad (13)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^n y_{-ij} \quad (14)$$

Se separan las sumas de los atributos beneficiosos y no beneficiosos.

Paso 5: Determinar la importancia relativa de las alternativas

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m (S_{-min}/S_{-i})} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

La importancia relativa Q_i de una alternativa muestra el grado de satisfacción alcanzada por esta alternativa.

Paso 6: Cálculo del índice de la utilidad cuantitativa

$$U_i = \left[\frac{Q_i}{Q_{max}} \right] \times 100\% \quad (16)$$

Tabla 5

Plan de valores experimentales y resultados de salida

NNo.	Parámetros de corte				Resultados		
	S(rpm)	doc(mm)	ts(mm)	F(m/min)	Ra-Fd(μm)	Ra-Td(μm)	TWD
1	12.431	0.21	4.00	3600	4.583	3.952	0.060
2	14.490	0.22	5.26	6668	5.457	4.742	0.066
3	15.000	0.30	7.00	9000	6.540	4.979	0.105
4	12.840	0.10	4.96	9000	5.716	5.169	0.059
5	11.935	0.15	3.00	8892	5.394	5.527	0.060
6	12.780	0.30	3.00	6192	5.356	5.275	0.100
7	9000	0.10	3.00	8055	5.174	5.432	0.064
8	9000	0.30	3.00	9000	5.833	6.264	0.084
9	9000	0.22	5.44	6867	6.019	5.173	0.061
10	15.000	0.10	3.00	3600	4.263	4.028	0.051
11	9000	0.30	7.00	3600	5.594	4.028	0.079
12	9000	0.10	7.00	9000	5.987	5.394	0.086
13	12.810	0.20	7.00	3600	5.262	3.844	0.069
14	14.490	0.22	5.26	6668	5.591	4.825	0.052
15	11.400	0.10	4.34	5652	5.055	4.640	0.056
16	12.000	0.20	6.92	8783	6.056	5.053	0.071
17	11.400	0.10	4.34	5652	5.081	4.372	0.077
18	9000	0.26	3.00	3600	4.495	4.353	0.070
19	15.000	0.20	3.00	9000	5.290	5.179	0.055
20	15.000	0.10	7.00	6354	5.510	4.038	0.052
21	12.840	0.10	4.96	9000	5.386	5.005	0.062
22	12.780	0.30	3.00	6192	4.885	4.788	0.106
23	15.000	0.30	5.08	3600	4.864	3.854	0.105
24	9000	0.10	6.26	3600	4.653	3.918	0.067
25	9000	0.22	5.44	6867	5.764	5.044	0.066

Resultados y Discusión

Cálculo de los pesos de los criterios con Fuzzy AHP

Para utilizar Fuzzy AHP en evaluar las alternativas se parte del análisis del modelo jerárquico presentado en la Figura 2. Este representa en su nivel superior el objetivo principal o las metas en la solución del problema. En el nivel inferior se encuentran los criterios que son evaluados entre sí y seguidamente con las alternativas. Estos criterios también pueden ser disgregados en sub-criterios. En el último nivel se encontrarán las alternativas que serán seleccionada por nivel de prioridad, y por el resultado de la ponderación que serán fruto cada criterio.

Figura 2

Modelo jerárquico para la evaluación de las alternativas



Obtención Matriz difusa por pares para la evaluación de las alternativas. En este paso es importante la evaluación de los expertos a cada criterio y se completan las variables lingüísticas, mediante la asignación directa de una escala, Tabla 4. Finalmente se obtiene la matriz, que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Matriz Difusa por Pares para la Evaluación de las Alternativas

	Ra-Fd(μm)	Ra-Td(μm)	TWD
Ra-Fd(μm)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)
Ra-Td(μm)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)
TWD	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,1,1)

Se realizan los cálculos empleando Microsoft Excel para componer la matriz Fuzzy y los valores de los pesos relacionado con los criterios para determinar la mejor alternativa a partir de la jerarquía que establece el método. Los resultados son agrupados en la Tabla 7, se muestra el valor de peso Fuzzy obtenido y su valor centralizado.

Tabla 7

Resultado del Pesos Fuzzy y el valor centralizado

<i>w_i</i>	<i>W_i Centralizado</i>
(0.0160,0.1462,0.1486)	0.1036
(0.3279,0.2878,0.2975)	0.3044
(0.6561,0.5660,0.5538)	0.5920

Los resultados jerárquicos por los pesos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Los pesos y el ranking de los criterios

	W_i	Rank
Ra-Fd(μm)	0.1036	3
Ra-Td(μm)	0.3044	2
TWD	0.5920	1

Jerarquía con método COPRAS

El método COPRAS (Isik, 2016), ayuda a escoger y evaluar la mejor alternativa paso a paso en términos de su importancia, grado de utilidad y decide las soluciones ideales y las peores-ideales. En la solución propuesta, seleccionamos como los atributos de beneficios: Ra-Fd (Rugosidad superficial en dirección del avance), TWD (Deformación de la pieza de estructura delgada) y Ra-Td (Rugosidad superficial en dirección transversal) como no beneficioso. La cantidad de alternativas escogidas es de 25 casos. A partir de los pesos obtenidos por Fuzzy AHP: $W_{Ra-Fd} = 0.1036$, $W_{Ra-Td} = 0.3044$ y $W_{TWD} = 0.5920$ y teniendo en cuenta que el criterio de mayor peso constituye TWD (Deformación de la pieza de estructura delgada).

Empleando la Ecuación 10, calculamos la matriz de decisión normalizada (X_{ij}^*), y para la matriz normalizada por pesos (D_{ij}^*) se calcula según la Ecuación 12, mostrado en la Tabla 9.

Tabla 9

Cálculo de la Matriz Normalizada por Pesos(D_{ij}^)*

No.	Ra-Fd(μm)	Ra-Td(μm)	TWD
1	0.0035	0.0101	0.0199
2	0.0042	0.0121	0.0219
3	0.0051	0.0127	0.0349
4	0.0044	0.0132	0.0196
5	0.0042	0.0142	0.0199
6	0.0041	0.0135	0.0332
7	0.0040	0.0139	0.0212
8	0.0045	0.0160	0.0279
9	0.0047	0.0132	0.0203
10	0.0033	0.0103	0.0169
11	0.0043	0.0103	0.0262
12	0.0046	0.0138	0.0286
13	0.0041	0.0098	0.0229
14	0.0043	0.0124	0.0173
15	0.0039	0.0119	0.0186
16	0.0047	0.0129	0.0236
17	0.0039	0.0112	0.0256
18	0.0035	0.0111	0.0232
19	0.0041	0.0133	0.0183
20	0.0043	0.0103	0.0173
21	0.0042	0.0128	0.0206
22	0.0038	0.0123	0.0352
23	0.0038	0.0099	0.0349
24	0.0036	0.0100	0.0222
25	0.0045	0.0129	0.0219

La sumatoria de los valores normalizados ponderados ($S_{(i+)}$), ($S_{(i-)}$), el resultado de la importancia relativa de las alternativas (Q_i) y el índice de utilidad (U_i), que determina la jerarquía de la mejor alternativa de todas las candidatas que permite alcanzar la mejor calidad de rugosidad superficial y la menor desviación lateral de la pieza delgada son calculados con las Ecuaciones 13, 14, 15 y 16 respectivamente y todos los cálculos se muestran en la Tabla 9.

Los parámetros de entrada de la mejor alternativa determinada para la operación de

fresado a alta velocidad de estructuras delgadas de Al 5083 se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10

Cálculo de (S_{i+}) , (S_{i-}) , (Q_i) y jerarquía COPRAS

No.	Ra-Fd(μm)	Ra-Td(μm)	TWD	S+i	S-i	Qi	Ui	Rank
1	0.0035	0.0101	0.0199	0.0235	0.0101	0.0236	58.8801	20
2	0.0042	0.0121	0.0219	0.0261	0.0121	0.0263	65.6078	13
3	0.0051	0.0127	0.0349	0.0399	0.0127	0.0401	100.0000	1
4	0.0044	0.0132	0.0196	0.024	0.0132	0.0242	60.3543	19
5	0.0042	0.0142	0.0199	0.0241	0.0142	0.0243	60.5943	18
6	0.0041	0.0135	0.0332	0.0373	0.0135	0.0375	93.6043	4
7	0.0040	0.0139	0.0212	0.0253	0.0139	0.0255	63.4714	15
8	0.0045	0.0160	0.0279	0.0324	0.0160	0.0326	81.3756	6
9	0.0047	0.0132	0.0203	0.0249	0.0132	0.0251	62.5949	16
10	0.0033	0.0103	0.0169	0.0202	0.0103	0.0204	50.8205	25
11	0.0043	0.0103	0.0262	0.0306	0.0103	0.0307	76.5646	7
12	0.0046	0.0138	0.0286	0.0332	0.0138	0.0334	83.2459	5
13	0.0041	0.0098	0.0229	0.027	0.0098	0.0271	67.6296	10
14	0.0043	0.0124	0.0173	0.0216	0.0124	0.0218	54.2868	23
15	0.0039	0.0119	0.0186	0.0225	0.0119	0.0227	56.5454	21
16	0.0047	0.0129	0.0236	0.0283	0.0129	0.0285	70.9317	9
17	0.0039	0.0112	0.0256	0.0295	0.0112	0.0297	73.9515	8
18	0.0035	0.0111	0.0232	0.0267	0.0111	0.0269	67.0249	11
19	0.0041	0.0133	0.0183	0.0224	0.0133	0.0226	56.2223	22
20	0.0043	0.0103	0.0173	0.0215	0.0103	0.0217	54.0561	24
21	0.0042	0.0128	0.0206	0.0248	0.0128	0.0249	62.1849	17
22	0.0038	0.0123	0.0352	0.039	0.0123	0.0392	97.6152	2
23	0.0038	0.0099	0.0349	0.0386	0.0099	0.0388	96.6587	3
24	0.0036	0.0100	0.0222	0.0258	0.0100	0.0260	64.8057	14
25	0.0045	0.0129	0.0219	0.0264	0.0129	0.0266	66.2289	12

Los parámetros de entrada de la mejor alternativa determinada para la operación de fresado a alta velocidad de estructuras delgadas de Al 5083 se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Los Parámetros de Corte de la Mejor Alternativa, para Operación de Fresado a Alta Velocidad de Paredes Delgadas de AL5083

Parámetros de corte				Resultados			
No	S(rpm)	doc(mm)	ts(mm)	F(m/min)	R _a -F _d (μm)	R _a -T _d (μm)	TWD
3	15	0.3	7	9000	6,5400	4.979	0.105

Conclusiones

Cada día en los centros de maquinado se hace más importante la evaluación y correcta selección de los parámetros para realizar los procesos de maquinado a alta velocidad. La elección de la mejor alternativa de manera rápida, prevalece en los criterios de los empresarios e ingenieros para mantener la calidad y bajos costos de las producciones.

En la evaluación de los criterios el método Fuzzy-AHP evalúa que, dentro de la solución óptima, el criterio de deformación de la pieza de estructura delgada (TWD), es el de mayor importancia con valor: $W_{TWD} = 0.5920$. A partir de lo anterior al aplicar COPRAS y calcular el índice de utilidad (U_i) se determina que la alternativa 3 ofrece con los parámetros de entrada $S = 15$ rpm, $doc=0.3$ mm, $ts = 7.0$ mm, la garantía de los resultados para una mejor calidad y sin deformar la pieza.

El trabajo de investigación demuestra que al emplear el método de inteligencia artificial Fuzzy-AHP y el multicriterio COPRAS como una herramienta de evaluación clara, objetiva y confiable, se logra el objetivo de su solución que es determinar la jerarquía de las alternativas analizadas para la toma de decisiones. Todo esto basado en los mejores factores que tienen mayor impacto para los procesos de fabricación a altas velocidades en piezas de estructuras delgadas y como material las aleaciones de aluminio AL 5083.

Como recomendación la investigación propone que el resultado de este trabajo se extienda en los talleres de maquinado para mejorar la toma de decisiones. Además, realizar las pruebas del mismo en piezas de estructura delgadas con material de alta dureza o aceros especiales.

Referencias

- Bhowmik, S., Jagadish, & Gupta, K. (2019). Modeling and Optimization of Advanced Manufacturing Processes. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00036-3>.
- Ighravwe, D. E., & Oke, S. A. (2020). A two-stage fuzzy multi-criteria approach for proactive maintenance strategy selection for manufacturing systems. *SN Applied Sciences*, 2(10), 1683. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03484-6>
- Isik, N. K. a. A. (2016). Integration of Macbeth and copras methods to select air compressor for a textile company. *Decision Science Letters*, 5, 381–394, Article 3. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5267/j.dsl.2016.2.003>.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Antosz, K., Wyczółkowski, R., Mazurkiewicz, D., Sun, B., Qian, C., & Ren, Y. (2021). Application of MICMAC, Fuzzy AHP, and Fuzzy TOPSIS for Evaluation of the Maintenance Factors Affecting Sustainable Manufacturing. *Energies*, 14(5), 1436. <https://doi.org/10.3390/en14051436>.
- Kaori Ota, N. T., Hayao Miyagi (2008). Group Decision-Making Model in Fuzzy AHP Based on the Variable Axis Method. In T. I. o. E. E. o. Japan (Ed.), (pp. 6).
- Keshavarz-Ghorabae, M., Govindan, K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antuchevičienė, J. (2019). An integrated type-2 fuzzy decision model based on WASPAS and SECA for evaluation of sustainable manufacturing strategies. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 27(4), 187-200. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2019.11367>.
- Mehdi Ajalli, H. A., Abdolkarim Mohammadi Balani, Mahdi Rezaei. (2017). Application of Fuzzy AHP and COPRAS to Solve the Supplier Selection Problems. *International Journal of Supply Chain Management*, 6, 8.
- Paker, F. A., Alppay, C., & Sertyeşilişik, B. (2018). Use of the AHP Methodology in Vehicle Design Process Dynamics: Determination of the Most Effective Concept Phases for the New Automotive Product. *Journal of Transportation Technologies*, 08(04), 312-330. <https://doi.org/10.4236/jtts.2018.84017>.
- Patil, R. B., & Kothavale, B. S. (2020). Criticality Analysis of CNC Turning Center Using Analytic Hierarchy Process. In *Reliability and Risk Assessment in Engineering* (pp. 61-76). https://doi.org/10.1007/978-981-15-3746-2_6

- Sen, B., Hussain, S. A. I., Gupta, A. D., Gupta, M. K., Pimenov, D. Y., & Mikołajczyk, T. (2020). Application of Type-2 Fuzzy AHP-ARAS for Selecting Optimal WEDM Parameters. *Metals*, 11(1), 42. <https://doi.org/10.3390/met11010042>
- Singh, R. P., Tyagi, M., & Kataria, R. (2019). Selection of the Optimum Hole Quality Conditions in Manufacturing Environment Using MCDM Approach: A Case Study. In *Operations Management and Systems Engineering* (pp. 133-152). https://doi.org/10.1007/978-981-13-6476-1_8
- Sivam Sundarlingam Paramasivam, S. S., Kumaran, D., Loganathan, G. B., Saravanan, K., Rajendran, R., & Sriram, H. (2019). Development and Influence of Setting Process Variables in Single Point Incremental Sheet Metal Forming of AA 8011 Using Complex Proportional Assessment and ANOVA. *SAE Technical Paper Series*,
- Sofuoğlu, M. A. A new hybrid decision-making strategy of cutting fluid selection for manufacturing environment. *Sādhanā*, 46(2), 94. <https://doi.org/10.1007/s12046-021-01618-z>
- Turskis, E. K. Z. a. Z. (2008). A new logarithmic normalization method in games theory. *Informática*, 19, 12.
- Yadav, A., & Jayswal, S. C. (2018). Modelling of flexible manufacturing system: a review. *International Journal of Production Research*, 56(7), 1-24. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1387302>
- Yadav, G., Seth, D., & Desai, T. N. (2018). Application of hybrid framework to facilitate lean six sigma implementation: a manufacturing company case experience. *Production Planning & Control*, 29(3), 1-17. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1402134>



Virtualización de las asignaturas de estudios generales en la formación universitaria. Propuesta de concepción teórico-metodológica para su aplicación

Virtualization of general studies subjects in university education. Proposal of a theoretical-methodological conception for its application

José Alberto Medina Crespo¹ <https://orcid.org/0000-0002-7052-5668>

¹ *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*, Guayaquil, Ecuador
jose.medina@cu.ucsg.edu.ec

Enviado: 2021/07/06

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

Los estudios generales en la formación universitaria al ser de tronco común en todas las carreras han acarreado problemas de espacio para cumplir con su oferta. Estas asignaturas proporcionan conocimientos y habilidades que complementan la formación profesional. La virtualización permite integrar o reemplazar, según sea el caso, la presencialidad en los procesos de enseñanza-aprendizaje, lo que favorece al ahorro de recursos y la adaptación en espacio-tiempo de las necesidades de los estudiantes y docentes conforme a la disponibilidad de herramientas tecnológicas que en la actualidad forman parte del proceso educativo. Este informe desarrolla una concepción teórico-metodológica con dimensiones y componentes que orientan el proceso de virtualización educativa para los estudios generales en la formación universitaria, como opción para la optimización de recursos y generación de nuevos espacios de aprendizaje basados en dimensiones con dos componentes: el teórico y el metodológico, en el cual se precisan las orientaciones para el desarrollo de la concepción. En el componente teórico se establecen las bases conceptuales de la propuesta mientras que en el componente metodológico se presentan las etapas del componente y sus respectivas acciones para su implementación en las asignaturas de estudios generales en la formación universitaria.

Palabras clave: virtualización, educación superior, estudios generales, universidad, formación general universitaria.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Medina, J. (2021). Virtualización de las asignaturas de estudios generales en la formación universitaria. Propuesta de concepción teórico-metodológica para su aplicación. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 122-133. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/837>

Abstract

The general studies in university education, being a common core in all careers, have caused problems of space to comply with the offer of these courses. These courses provide knowledge and skills that complement professional training. Virtualization makes it possible to complement or replace face-to-face attendance in the teaching-learning processes, thus saving resources and adapting space and time to the needs of students and teachers according to the availability of technological tools that are currently part of the educational process. A theoretical-methodological conception was developed with dimensions and components that guide the process of educational virtualization for general studies in university education, as an option for the optimization of resources and generation of new learning spaces based on dimensions with two components: the theoretical and the methodological in which the orientations for the development of the conception are specified. The theoretical component establishes the conceptual bases of the proposal, while the methodological component presents the stages of the component and their respective actions for its implementation in the general studies subjects in university education.

Keywords: virtualization, higher education, general studies, university, general university training.

Introducción

El estudio general es un elemento que ha marcado la formación profesional en todos sus ámbitos. Para citar un ejemplo, la formación comunicativa no es solo ese medio para transmitir elementos abstractos de lenguaje sino también para transmitir capacidades que permitan el desenvolvimiento de un profesional de diferentes áreas del conocimiento y es por lo que se aborda como un elemento importante dentro formación universitaria.

En aproximación a lo que se menciona, el impacto de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la actualidad juega un rol fundamental en el desarrollo de la sociedad en todas sus dimensiones. Es evidente que la tecnología, favorece a la educación ya que no solo permite desarrollar habilidades que hoy resultan necesarias, sino que proporciona herramientas a las instituciones, especialmente a la Educación Superior, para la mejora continua del proceso de enseñanza y aprendizaje (Medina & Rea, 2017).

Tal es el caso de la importancia de la tecnología que la implicación de la internet y el desarrollo de plataformas virtuales se han integrado a procesos que van desde la planificación y evaluación académica hasta la eficiencia en la utilización de recursos, lo que genera mayor rentabilidad y un mejor servicio en lo que respecta a la disponibilidad (Buhalis & Deimezi, 2003).

Dada la importancia del tema tecnológico en la Educación Superior, la Conferencia Mundial Sobre la Educación Superior en París (2009), precisa la importancia de las tecnologías como un mecanismo para el desarrollo sostenido de la educación. También de su renovación para enfrentar los retos que se generan ante nuevos escenarios sociales como el acceso al conocimiento y la eliminación de barreras que impidan la formación profesional (UNESCO, 2009).

De acuerdo con la Declaración de Quindao, propiciado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y Cultura (UNESCO) en el año 2015, se desarrolla el Foro Mundial sobre TIC y Educación 2030 bajo el lema “aprovechar las oportunidades digitales, liderar la transformación de la educación”, con la premisa de que la educación es fundamental para el desarrollo sostenible de las sociedades (UNESCO, 2019).

De acuerdo con el Informe Horizon (EDUCASE, 2019) sobre tendencias en Tecnología Educativa en su edición 2019, las tecnologías se desarrollan de forma acelerada y son adoptadas de manera inmediata por la educación superior. Cabe destacar que el informe consolida las opiniones e informaciones de expertos internacionales en el cual destacan aspectos tales como el rediseño de los espacios de aprendizaje y los diseños de espacios combinados mixtos.

A partir de lo expuesto en este informe, es importante destacar que el diseño de los espacios de aprendizaje debe tener como centro a los estudiantes con una naturaleza colaborativa, pero con escenarios que propicien el proceso formativo desde el uso de herramientas digitales hasta la facilidad para el acceso a ellas. En concordancia con lo expuesto, la implementación de las TIC en la educación superior gana considerable impulso en los últimos años. El diseño de estos espacios facilita el aprendizaje activo y colaborativo. Requiere, por lo tanto, de inversión y planificación estratégica, para construir o renovar esos ambientes donde se lleva a cabo el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Materiales y Métodos

El alcance de este estudio es descriptivo experimental con un enfoque metodológico mixto (Henández, Fernández, & Baptista, 2014). De esta manera, como desarrollo de una metodología general en el proceso científico, se recurrió al empleo de otros métodos, instrumentos y técnicas que posibilitaron un análisis del objeto de la investigación.

Entre los métodos teóricos empleados se precisan los siguientes:

Histórico – lógico, para el estudio de la virtualización en la Educación Superior y su desarrollo a finales del siglo XX y el XXI en orden histórico (orígenes) y cronológico (desarrollo), al revelarse sus particularidades, contradicciones y las marcadas tendencias en el proceso formativo universitario actual como fundamento de la estrategia teórica– metodológica propuesta.

Análítico – Sintético, que se empleó en el procesamiento de la información teórica acerca de la virtualización en la educación superior y de los datos obtenidos de la aplicación de instrumentos para el diseño del diagnóstico y la valoración de la concepción teórica metodológica de virtualización de las asignaturas de estudios generales en la carrera de Turismo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG).

A continuación, se precisan los métodos empíricos empleados en el estudio:

Estudio documental que contribuyó en la elaboración de la fundamentación teórico-metodológica de la propuesta, mediante la revisión bibliográfica y el análisis de la contextualización de la virtualización en la educación superior de Ecuador, en lo que respecta a los órganos rectores de la educación superior nacional y la propia UCSG, en las dimensiones jurídicas, pedagógicas, tecnológicas y organizacional.

Medición, se utilizó un cuestionario para obtener información sobre la base de los criterios de docentes, directivos, empleadores, estudiantes recién graduados y expertos durante la aplicación de la técnica de grupos focales, lo que permitió corroborar la concepción teórica metodológica en términos de pertinencia y factibilidad.

Observación científica: a partir de una guía de observación se valoró el estado actual del problema y la recepción de información en el propio desarrollo de actividades donde se empleen las TIC.

Criterios de expertos y Técnica de grupos focales, se emplearon para la obtención de criterios durante la valoración cualitativa de la concepción teórica-metodológica, lo cual permitió corroborarla en términos de pertinencia y factibilidad.

Modelación y experimentación, mediante la presentación gráfica de la concepción metodológica y su aplicación a modo de prueba para las respectivas conclusiones del investigador.

Métodos matemáticos y estadísticos, se emplearon en la cuantificación y procesamiento de la información obtenida a partir de operaciones porcentuales, media y empleo de base de datos.

Para el desarrollo de esta investigación, la población estuvo representada por coordinadores, docentes y estudiantes que conformaron la totalidad de estudiantes inscritos en la carrera de Turismo de la UCSG en el Semestre B (octubre – febrero 2018). La muestra fue determinada mediante la técnica de muestreo aleatorio simple.

Para el proceso de diagnóstico, se aplicaron instrumentos como la encuesta, entrevista y la observación científica para la determinación de resultados en función de la participación de estudiantes de la carrera de Turismo, Directivos y Docentes referente a la virtualización del conjunto de asignaturas denominadas Estudios Generales, las cuales son: Idioma Español, Introducción al Pensamiento Crítico, Humanismo Integral y Estudios Contemporáneos. Esta última se tomó para la modelación de la concepción teórico-metodológica.

Para diagnosticar la situación actual de la virtualización de las asignaturas de estudios generales en la Carrera de Turismo, se aplicó el cálculo de la muestra finita debido a que se conoce con precisión la cantidad de la población, para la determinación de la muestra y empleo de la encuesta (Rodríguez L. , 2007). En el semestre B 2018, la carrera registró una población total de 420 estudiantes en la modalidad presencial.

Realizado el cálculo, se determinó que la cantidad de la muestra fue de 201 estudiantes. Dentro de la muestra se tomó a estudiantes de los niveles básico y básico específico, niveles donde se encuentran las asignaturas de estudios generales y se utilizó la técnica de muestreo aleatorio simple, de los cuales el primer grupo corresponde a un total de 85 estudiantes (71% mujeres, 29% hombres) y al segundo grupo un total de 116 estudiantes (60% mujeres, 40% hombres).

Para los datos cuantitativos se utilizó a la población total de docentes de la carrera, quienes, en la fecha de aplicación del estudio, tenían más de cinco años de experiencia en docencia universitaria. Constaba de la siguiente forma: 4 docentes Titulares Auxiliares (25%), 10 docentes ocasionales a tiempo completo (38%), 5 coordinadores de área (31%) y la directora de carrera (6%). De la población docente de la carrera, el 81% tenía solo título de maestría y el 19% la maestría y cursaban estudios doctorales. En referencia a su afinidad, el 50% fueron graduados en Turismo, 38% en Ciencias Administrativas y Empresariales, y el 12% en Lengua Inglesa.

En el resultado de las encuestas aplicadas a los estudiantes se halló que el 39% de los encuestados manifestaron que el problema fue el cruce de horarios, ya que las bandas horarias se realizaban en función de las asignaturas específicas de las carreras sin tomar en cuenta las de estudios generales. El 31% de los encuestados mencionaron que los horarios no fueron

adecuados debido a que se implementaban en horas laborables lo que complicaba a quienes trabajaban.

Un 26% en cambio señalaron que el problema fue la disponibilidad de cupos por la alta demanda ya que son asignaturas que se integran en todas las carreras de la UCSG y finalmente, un 4% indicó no haber tenido problemas.

El Reglamento de Régimen Académico del Ecuador precisa que las programaciones académicas pueden optar por la modalidad *blended learning* que consiste en asistir a clases y tener ciertas horas de trabajo en plataforma lo que ha sido una alternativa socializada por la carrera en referencia a este documento. En este sentido se observó que un 70% de los encuestados mencionaron que, conocen lo estipulado en el Reglamento, mientras que un 30% indicó no conocerlo.

Se generó una expectativa para la solución de los inconvenientes generados al momento del registro, basado en la alternativa brindada por el régimen de educación superior ecuatoriano para que los estudiantes puedan realizar una modalidad diferente a la que están registrados, sin que afecte a sus créditos, siempre y cuando esta modalidad sea dada por una universidad acreditada.

Al consultarse sobre si la virtualización de las asignaturas de estudios generales mejoraría la disponibilidad de los cursos, el 60% manifestó que definitivamente esto mejorará la disponibilidad de estas asignaturas, y sus problemas para el registro. Un 30% precisó en un nivel de confianza no tan alto que probablemente si lo mejoraría y en último lugar un 10% estimó que de ninguna manera lo mejorará y que más bien será igual.

Con lo mencionado anteriormente, se hace referencia al uso de la plataforma Moodle UCSG como herramienta para la virtualización de las asignaturas de estudios generales en donde el 92% de los encuestados consideraron tomar las asignaturas de estudios generales en línea, mientras que el 7% indicó que no y el 1% le pareció indiferente el cuestionamiento. Este dato aportó con el seguimiento del hilo conductor de la encuesta la que va tomando forma de propuesta a la expectativa generada en los encuestados con respecto a la virtualización de las asignaturas de estudios generales en la carrera de Turismo de la UCSG.

La característica del aprendizaje en línea se fundamenta en la autonomía del estudiante resultando que un 31% indicaron que con seguridad se sienten muy preparados para asumir el aprendizaje autónomo en las asignaturas de estudios generales; mientras que un 64% representando la mayoría señalaron sentirse preparados, es decir, en un nivel menor a los anteriores. Finalmente, un 5% de los encuestados manifestaron sentirse poco y nada preparados lo que se puede establecer que hay un escenario alentador en la implementación de un componente de formación de manera autónoma.

Uno de los aspectos que se establecen en los ambientes virtuales de aprendizaje, es la dinámica comunicacional determinada por las diferentes herramientas que brinda la plataforma. En este aspecto, se consultó que sin la comunicación entre docentes y estudiantes en las asignaturas de estudios generales sería más dinámica que en aula presencial, se obtuvo que un 80% piensa que sí, mientras que el 16% manifestó que no y un 4% les resulta indiferente. En esta pregunta se estructuró también un componente abierto, solicitando fundamentación de la respuesta en la cual la mayoría de los encuestados respondieron que, en la virtualidad, se puede ser más directo, espontáneo y sin temor de participar en actividades comunicacionales.

Las impresiones de los estudiantes acerca de los docentes y el manejo de la plataforma fueron primordiales para las acciones propuestas en esta investigación. El 15% consideraron alto mientras que un 38% suficiente y un 41% medio, lo que mostró un escenario positivo en cuanto a esta impresión. En lo que corresponde a nivel “bajo” solo 6% de los encuestados lo consideraron así.

Presentada la propuesta de investigación, se consultó sobre la implementación de la virtualización de las asignaturas de estudios generales en la carrera de Turismo, dando un 93% de aceptación favorable de los encuestados versus una cantidad de 5% y 2% que lo consideraron poco viable y nada viable respectivamente. Este resultado fue importante ya que en el desarrollo del cuestionario se condujo a la presentación de una propuesta la cual, por parte de los encuestados, la encuentran muy viable.

Ya en el cierre del cuestionario aplicado a los estudiantes, y con el desarrollo del hilo de las dimensiones de la concepción teórico-metodológica para la virtualización de las asignaturas de estudios generales en la carrera de Turismo, el 95% de los encuestados indicaron su deseo de elegir estas asignaturas en la modalidad virtual. En el componente abierto de la pregunta en la cual se solicitó que se fundamente la respuesta, la mayoría de los encuestados indicaron que les resulta práctico y muy adecuada la alternativa para solucionar el problema de los horarios y que les parece muy atractiva esta modalidad de estudio combinada.

Concepción Teórico Metodológica para la virtualización de estudios generales en la formación universitaria

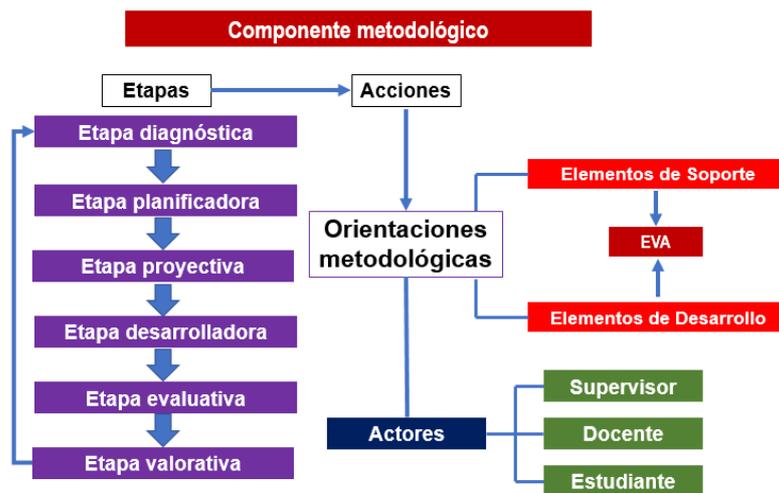
Con los resultados expuestos, se presenta una concepción Teórico-Metodológica para la virtualización de las asignaturas de estudios generales en la formación universitaria con una configuración que integra a los participantes de estos entornos, centrada en las necesidades del estudiante en un ambiente virtual. En esta concepción, el docente utiliza recursos y herramientas que se acoplan a la configuración del ambiente virtual y que permite el proceso de enseñanza aprendizaje en la ubicuidad (Barreto & Iriarte, 2017).

Fainholc (2016) y Fernández (2019) expresan que son un soporte al proceso de enseñanza-aprendizaje para las modalidades existentes y en sus diferentes combinaciones, como el blended learning y el e-learning. Un buen diseño de un entorno virtual de enseñanza – aprendizaje (EVEA) evidencia objetivos claros y precisos en el proceso formativo y guarda estricta relación con los contenidos, indistintamente de la modalidad de estudio en una interfaz amigable que motive la interacción de los sujetos en formación y la elaboración de herramientas dinámicas en el contexto pedagógico-tecnológico para el desarrollo de habilidades y destrezas.

La concepción teórico-metodológica se basa en cinco dimensiones, las cuales se interrelacionan e interactúan entre sí con un enfoque integrador para tener un campo específico. Contiene dos componentes, los cuales el componente teórico de la concepción se fundamenta a partir de los referentes de tecnología educativa y las teorías asumidas por investigaciones que caracterizan los procesos formativos actuales y logran una adecuada virtualización de la educación superior. Y el componente metodológico se refiere a las fases, momentos y pasos concebidos para desplegar la concepción teórico-metodológica con etapas definidas. En la Figura 1 se detallan las etapas que son: Etapa Diagnóstica; Etapa de Planificación, Etapa Proyectiva; Etapa Desarrolladora, Etapa Evaluativa y Etapa Valorativa.

Figura 1

Etapas del componente metodológico de la concepción propuesta



La Etapa Diagnóstica se caracteriza por conocer científicamente el estado real del objeto para determinar sus contradicciones e insuficiencias, evidencia el problema. Una premisa básica para lograr claridad de lo que se debe hacer con los estudiantes o grupo es la existencia de las etapas diagnósticas inicial, parciales y final. La Etapa de Planificación está dirigida a la determinación de cómo se desarrollará la tecnología educativa a emplear. Se tiene en cuenta el establecimiento del contexto y ubicación de las problemáticas a resolver, ideas y puntos de partida. Se caracteriza por poner en conocimiento de directivos, funcionarios y actores ejecutantes principales de cada uno de los años en la carrera, lo referente a concepción propuesta, y en consecuencia se planifiquen las acciones a tener en cuenta para la virtualización en dicha materia de la carrera en particular y del conjunto de acciones en los diferentes niveles de dirección y organizativos-metodológicos en general.

La Etapa Proyectiva responde al diseño de las líneas de acción resultantes del proceso de planificación, dirigidas a la definición de la guía para las acciones, a la ejecución de estas en su efecto. Establece la definición de metas u objetivos a corto y mediano plazo que permiten la transformación del proceso de enseñanza–aprendizaje desde su estado real hasta el estado deseado en función de la mediación de la tecnología educativa dispuesta, esto permite establecer las direcciones para el logro de dichas metas, y debe ser flexible y contextualizada. La Etapa Desarrolladora tiene como esencia la ejecución y desarrollo de las acciones y actividades planificadas desde la perspectiva del empleo directo de las tecnologías seleccionadas en el proceso de enseñanza–aprendizaje de las asignaturas de estudios generales de la carrera de turismo.

La Etapa Evaluativa se despliega en todas las etapas, pero en específico está presente en este apartado. Se expresa de manera gradual el tránsito del estado real al estado deseado. Se establecen formas de evaluación de acuerdo con las necesidades de aprendizaje de los estudiantes y de lo que plantean los objetivos a lograr por parte del currículo, así como también la evaluación del proceso formativo. La Etapa Valorativa tiene como centro de efecto expresar los logros y/o obstáculos sucedidos a lo largo del desarrollo de las etapas, sobre la base de la aproximación lograda desde el estado inicial al estado deseado.

Como la etapa anterior, también tiene una estrecha relación con las demás, ya que se van realizando en cada una de ellas valoraciones que al final se tienen en cuenta a modo de retroalimentación, con vistas al perfeccionamiento de la concepción en su totalidad.

En lo referente a las acciones del componente metodológico, las acciones que se plantean en esta etapa son las siguientes:

- Establecer un cronograma de cursos de capacitación a docentes y estudiantes en el manejo de las herramientas que se integran en esta concepción.
- Diseñar de los cursos de manejo de herramientas tecnológicas y elaboración del Diseño Instruccional con el apoyo del Centro de Innovación Educativa y Desarrollo Docente de la UCSG.
- Difusión de los cursos mediante el departamento de Comunicación y Marketing a estudiantes y docentes de la carrera de Turismo.
- Comenzar el montaje de la plataforma con los recursos tecnológicos y educativos para la ejecución de las asignaturas de Estudios Generales en modalidad virtual.

La Concepción Teórico–Metodológica presentada en la Figura 2, constituye un abordaje para la utilización de los medios tecnológicos en el proceso de desarrollo integral del estudiante universitario. Se concibe con el propósito de lograr objetivos relacionados con conocimientos, habilidades y valores comunicativos en los modos de actuación profesional, que son clave en la formación superior y que no siempre es posible lograrlos con la debida profundidad desde la óptica de una sola disciplina o asignatura.

Se define y se diseña la concepción como una herramienta para el incremento de la pertinencia y la calidad en el proceso de formación general del futuro profesional universitario, lo cual, permite organizar las asignaturas de estudios generales en un entorno virtual que genera el desarrollo de habilidades y competencias tecnológicas en su formación.

El funcionamiento de la concepción persigue un alejamiento de la improvisación y lo circunstancial. También, permite insertar las actividades que contemplan fundamentos teóricos, técnicos-metodológicos, criterios de diseño, sistematización, controles y retroalimentación, para alcanzar un resultado que satisfaga la necesidad y creatividad de su elaboración, y orientar estratégicamente la actividad formativa en el proceso de enseñanza y aprendizaje. A continuación, se representa de manera gráfica la concepción teórico–metodológica con todos los elementos que lo componen.

Figura 2

Representación gráfica de la concepción teórico–metodológico para la virtualización de las asignaturas de estudios generales en la formación universitaria



Resultados y Discusión

Aplicada la modelación de la concepción teórico–metodológica, se aplica una encuesta a los estudiantes participantes de la modelación del aula de prueba. La plataforma se estructura en una sección de presentación de la asignatura, organización y recursos para el seguimiento del syllabus y diseño instruccional. De la misma manera, se estructura en 16 semanas de estudio, cada semana con su respectivo recursos y actividades. Se evidencia que el 49.1% de los encuestados responden satisfactoriamente en función de la secuenciación coherente y adecuada.

En cuanto a las herramientas de comunicación e interacción utilizadas en la plataforma MOODLE UCSG, un 42,1% de los estudiantes contestan que fue un excelente recurso comunicacional. Seguido de un 30% que responden muy bueno. En este sentido se tiene un escenario favorable de un 70% aproximadamente que muestran su satisfacción a las herramientas de comunicación e interacción.

En lo que respecta al entorno de la plataforma, los estudiantes del aula de prueba consideran en un 51,7% que es de fácil manejo, sumado a un 31,1% que también considera que la interfaz es buena. En este escenario se tiene que un 83% aproximadamente están conformes al entorno de la plataforma MOODLE UCSG.

Como pregunta de cierre del cuestionario, se establece el nivel de satisfacción de los estudiantes por el curso en modalidad virtual, como forma combinada de estructura curricular con las asignaturas de estudios generales. Los estudiantes encuestados manifiestan que el 45,6% se sienten motivados en el uso de la plataforma, sumado a un 31,5% que la motivación es buena. Con este resultado se precisa que el resultado de la aplicación de la prueba es positivo.

Con base en el análisis realizado, el investigador expone que las TIC no solo trascienden en lo tecnológico con herramientas y programas; sino en la transferencia de conocimiento y que se ajusta a la necesidad de los sujetos en formación con bases en la pedagogía y la tecnología para diseñar recursos significativos para el desarrollo del proceso de enseñanza y aprendizaje. Se presentan como un grupo de herramientas que permiten la transmisión, el procesamiento y el almacenamiento de la información de manera digitalizada, y la creación de hardware y software para su utilización en la enseñanza (Medina, De la Herrán y Sánchez , 2012).

De acuerdo con Gros (2018), muchas plataformas en línea tienen soluciones integradas para facilitar el aprendizaje colaborativo con recursos comunicacionales como base de los aprendizajes emergentes (Castañeda & Adell, 2013), que generan experiencias más atractivas y ha sido insumo para el desarrollo del aprendizaje en línea.

Por todo lo antes mencionado, y al seguir la línea de García Aretio, García Blanco y Ruiz (2017) acerca de las TIC, los cambios en la educación superior traen nuevos paradigmas que, al estar centrado en dos objetos (estudiante y docente), cambian el objetivo de los modelos pedagógicos y de sus dimensiones, basándose en la interacción participativa, constructiva y cooperativa del proceso de aprendizaje, desarrollando habilidades y destrezas en los estudiantes y potenciando el proceso de enseñanza–aprendizaje.

La IX Jornada de Futuro Español (2019) representantes del sector tecnológico y universitario de habla hispana analizan las TIC a favor de la educación y como alternativa para la sostenibilidad económica de los países que se basan en el capital humano para su crecimiento. En este encuentro, se precisa que la tecnología no es el futuro, sino el presente y que está transformando la capacidad de aprender (Futuro en Español, 2019).

En efecto, dado los crecientes niveles de conectividad y acceso a la internet, el ciberespacio o web es fundamental para el desarrollo de la educación. Se justifica en la dinámica de sus recursos, herramientas y aplicaciones que sustentan la virtualización como una alternativa inmediata, masificadora y sinérgica que promueva la cultura de la innovación sin que este atada a circunstancias espaciales y burocráticas (Romero, Cuenca, & Lahera, 2019).

El paradigma de la enseñanza remota emergente

El impacto de la COVID-19 en el sistema de educación mundial y ecuatoriano genera cambios radicales en los modelos pedagógicos ejecutados hasta marzo 2020. Entonces, debido a la emergencia sanitaria se migra de manera radical a la virtualidad, dando paso a este nuevo paradigma y de esta forma ofrecer una respuesta inmediata al proceso de enseñanza con el fin de evitar la paralización de un derecho fundamental como es la educación. A partir de ello, se originan los marcos normativos y legales, para garantizar la educación de calidad en este contexto.

Este nuevo escenario, cambia los hábitos y fortalece las herramientas tecnológicas que, entonces, se presentaban de manera tímida y sin mucha demanda. El confinamiento obliga a recurrir a las transformaciones pedagógicas, generando este paradigma educativo en donde el uso de las tecnologías se vuelve fundamental. En el contexto educativo, los espacios físicos se reemplazan por espacios virtuales con el uso de herramientas para videoconferencia como ZOOM, Google Meet, Microsoft Teams y demás; que se convierten en el medio necesario y obligatorio para la comunicación y transferencia de información (Aguilar, 2020).

Ese paso del aprendizaje en espacios presenciales a espacios virtuales, no se presenta como una alternativa sino como una necesidad que no solo se contextualiza en tiempos de pandemia, sino también en futuro inmediato donde el aprendizaje se desarrolla en espacios dinámicos que permitan el uso de tecnologías de manera eficiente, propiciando la conectividad de la comunidad educativa con recursos provistos desde las instituciones de educación superior (Crespo, 2021).

Considerando que los cambios en los modelos educativos establecen como centro del proceso formativo al estudiante, en la educación virtual se convierte en un protagonista indiscutible. La clase magistral por videoconferencia no es lo mismo que una clase magistral presencial, ya que en lo primero convergen acciones que se transforman en recursos en un proceso de orientación colaborativa y cooperativa que permiten al estudiante explorar contenidos en diferentes recursos educativos (Valero, Castillo, & Rodríguez, 2020).

Los momentos de crisis son la motivación principal para innovar y, en ese contexto, tanto personas como empresas han trabajado para desarrollar tecnologías que permitan superar estas situaciones. Sin embargo, no solo se debe pensar como una medida alternativa sino más bien como el momento correcto para evidenciar que la educación requiere ese salto a lo moderno, a lo necesario y pertinente y que, en un momento de crisis mundial, un mecanismo que permita avanzar y evolucionar (Hurtado, 2020).

La influencia de estos autores en el desarrollo de las TIC y el fortalecimiento de la educación parten con el desarrollo de la tecnología, en un inicio se centran en el profesor para transmitir información directa al estudiante sin ningún tipo de interacción. Ante ello, se plantean definiciones conceptuales de virtualidad de la educación, interacción, colaboración las cuales cambian el paradigma educativo y sus tendencias lo cual, con apoyo de la tecnología emergente, se logran modelos dentro de la tecnología educativa con herramientas para el

desarrollo de actividades (interactivo) y centrada en docentes y estudiantes (colaborativo-cooperativo).

Esto motiva a un cambio en la práctica educativa con la generación de espacios y ambientes virtuales en el cual, la interacción entre profesor y estudiante se da en la misma línea comunicacional. En la actualidad, virtualizar supone un modelo de gestión pedagógica que contribuye a la educación con nuevos escenarios de aprendizaje (Chan, 2016).

La tecnología siempre ha representado una herramienta que facilita la vida del ser humano. En términos más precisos, la tecnología es el resultado de diferentes teorías y concepciones que dan solución a problemas de la sociedad en función de tiempo, espacio y distancia, ya que transitan desde la idea y la concepción para transformarse en teoría y acción que respaldan la fundamentación científica de su estudio e implementación en el perfeccionamiento de la educación y su importante abordaje como camino al cambio y evolución de la sociedad.

Conclusiones

La importancia de la integración de la tecnología educativa con las asignaturas de estudios generales y su virtualización es el camino para la optimización de procesos educativos y formativos. Se basa en teorías y enfoques relacionados con el constructivismo y conectivismo que se estructuran en procesos de aprendizaje a través de recursos tecnológicos, que concurren a la interacción entre docente y estudiantes en un contexto innovador.

La virtualización de las asignaturas de estudios generales en la educación tiene un escenario viable ya que permite no solo la formación integral en función de los aspectos propios del desarrollo profesional, sino también un desarrollo de la habilidad tecnológica de los estudiantes y una alternativa para la optimización de los recursos, combinando modalidades de aprendizaje.

Referencias

- Aguilar, F. (2020). Del aprendizaje en escenarios presenciales al aprendizaje virtual. *Estudios Pedagógicos*(3), 213 - 223. doi:10.4067/S0718-07052020000300213
- Barreto, R., & Iriarte, F. (2017). *Las Tic en educación superior: Experiencias de innovación*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Buhalis, D., & Deimezi, O. (2003). E-tourism developments in Greece. Information Communication Technologies adoption for the strategic management of the Greek tourism industry. *Tourism and Hospitality Research*, 5(2), 103-127.
- Castañeda, L., & Adell, J. (2013). *Entornos personales de aprendizaje: claves para el ecosistema educativo en red*. Alcoy: Editorial Marfil S.A.
- Chan, M. (2016). La virtualización de la educación superior en América Latina: entre tendencias y paradigmas. *Revista de Educación a Distancia*, 1(48), 1-32. Obtenido de <https://www.um.es/ead/red/48/chan.pdf>
- Crespo, D. (2021). Enseñanza remota emergente. *Polo de Conocimiento*, 6(6), 1040-1051. doi:10.23857/pc.v6i6.2802
- EDUCASE. (2019). *Horizon Report Preview*. Obtenido de <https://library.educause.edu/~media/files/library/2019/2/2019horizonreportpreview.pdf>

- Futuro en Español. (Octubre de 2019). *IX Jornadas Futuro en Español*. Obtenido de Círculo Logroñés, Rectorado UNIR Y Auditorio del Ayuntamiento de Logroño: <http://www.xn--futuroenespaol-1nb.es/2019-2/ix-jornadas-futuro-en-espanol/>
- Henández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hurtado, F. (2020). La educación en tiempos de pandemia: Los desafíos de la escuela del siglo XXI. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología*(44), 176-187. Obtenido de [https://www.grupocieg.org/archivos_revista/Ed.44\(176-187\)%20Hurtado%20Tavalera_articulo_id650.pdf](https://www.grupocieg.org/archivos_revista/Ed.44(176-187)%20Hurtado%20Tavalera_articulo_id650.pdf)
- Medina, De la Herrán y Sánchez . (2012). *Formación pedagógica y práctica del profesorado*. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces S.A.
- Medina, J., & Rea, S. (2017). La educación a distancia como mecanismo de inclusión social en las Universidades del Ecuador. *Alternativas*, 2(17), 5 - 10. doi:<https://doi.org/10.23878/alternativas.v17i2.113>
- Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Romero, R., Cuenca, Y., & Lahera, M. (2019). Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el contexto de la actividad científica. *Opuntia Brava* , 11(2), 70 - 79. Obtenido de <http://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/742>
- UNESCO. (2009). *Conferencia Mundial sobre la Educación Superior - 2009: La nueva dinámica de la educación superior y la investigación para el cambio social y el desarrollo*. Obtenido de http://www.unesco.org/education/WCHE2009/comunicado_es.pdf
- UNESCO. (2019). *Las TIC en la Educación*. Obtenido de <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion>
- Valero, N., Castillo, A., & Rodríguez, N. (2020). Retos de la educación virtual en el proceso enseñanza aprendizaje durante la pandemia de Covid-19. *Dominio de las Ciencias*, 1201 - 1220. doi:<https://doi.org/10.23857/pocaip>

Plataforma para Análisis de Mercado a través de Datos de Redes Sociales

Platform for Market Analysis through Social Network Data

Ángel Patricio Fajardo Cárdenas¹ <https://orcid.org/0000-0002-7292-6983>, Néstor Ariel Bravo Chuqui² <https://orcid.org/0000-0002-7217-9455>, Andrés Vinicio Auquilla Sangolqui³ <https://orcid.org/0000-0002-3754-041X>, Paúl Fernando Vanegas Peña⁴ <https://orcid.org/0000-0002-3805-4130>

¹ *Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
patricio.fajardo96@ucuenca.edu.ec

² *Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
ariel.bravo@ucuenca.edu.ec

³ *Facultad de Ingeniería, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
andres.auquilla@ucuenca.edu.ec

⁴ *Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Espacio y Población, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
paul.vanegas@ucuenca.edu.ec

Enviado: 2021/07/11

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

En la actualidad, en especial en tiempos de pandemia, el comercio electrónico se convierte en la manera predominante de comercializar productos y servicios en el mundo. Un estudio realizado por la Cámara Ecuatoriana de Comercio Electrónico, en el año 2020, demuestra que las compras y ventas a través de canales digitales se han incrementado al menos 15 veces desde el inicio de la pandemia. Por lo tanto, para realizar estudios de mercado las empresas deben buscar nuevas formas de extraer información para luego desarrollar un análisis de la misma y así obtener una ventaja competitiva. La extracción de datos es un proceso complejo y poco escalable, de manera que, esta investigación presenta una metodología para la extracción de información de un sector industrial determinado. La metodología consiste en dos pasos fundamentales, primero se realiza un ranking de las principales fuentes de información disponibles y más utilizadas en un determinado sector de la industria, se consideran varias características y opinión de expertos. Segundo, se propone una plataforma, la cual integra las fuentes de información mejor rankeadas y realiza la extracción de datos. Finalmente, estos

Sumario: Introducción, Metodología, Discusión y Conclusiones.

Como citar: Fajardo, A., Bravo, N., Auquilla, A. & Vanegas, P. (2021). Plataforma para Análisis de Mercado a través de Datos de Redes Sociales. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 134-146.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/839>

datos se presentan en un Dashboard con la disponibilidad de poder descargar y hacer uso en estudios posteriores. Se concluye que las 4 plataformas que mayor beneficio ofrecen para esta investigación son: Google Trends, Facebook, YouTube y Twitter. También existen fuentes de información que al aplicar el análisis propuesto tienen una calificación alta, sin embargo, la extracción de los datos es difícil debido a sus políticas de seguridad.

Palabras clave: API, Dashboard, Comercio Electrónico, Metodología de extracción de datos, MiPymes.

Abstract

Nowadays, and more with the pandemic, e-commerce is becoming the predominant way of marketing products and services in the world. A study conducted by the Ecuadorian Chamber of Electronic Commerce in 2020 shows that purchases and sales through digital channels has increased at least 15 times since the beginning of the pandemic. Therefore, to conduct market research companies must seek new ways to extract information and then then carry out its analysis and thus obtain competitive advantage. Data extraction is a complex and not very scalable process; therefore, this research presents a methodology for the extraction of information from a given industrial sector. The methodology consists of two fundamental steps, first, a ranking of the main sources of information available and most used in the country in a given industry sector is made, several characteristics and expert opinion are considered. Second, a platform is proposed that integrates the best ranked information sources and performs data extraction. Finally, these data are presented in a Dashboard with the availability to be downloaded and used in subsequent studies It is concluded that the 4 platforms that offer the greatest benefit for this research are: Google Trends, Facebook, YouTube and Twitter. There are also sources of information that have a high rating when applying the proposed analysis, however, data extraction is difficult due to their security policies.

Keywords: API, Dashboard, Data Extraction Methodology, E-Commerce, SMEs.

Introducción

Hoy en día, el estudio de mercado es una herramienta de vital importancia antes de comenzar un proyecto de estrategia comercial de cualquier empresa. Además, contribuye en la evaluación de la rentabilidad del proyecto y aumenta la probabilidad de éxito, permite conocer mejor a los potenciales clientes, a la competencia, también puede ayudar a detectar nichos de mercado y obtener así una ventaja competitiva en las empresas (Barrientos Felipa, 2017). En la actualidad, y debido a la pandemia, las ventas y compras se han trasladado mayormente a la modalidad online mediante internet. En Ecuador, 2020, el comercio electrónico alcanza un volumen de negocio de \$ 2.300 millones; un crecimiento de \$ 700 millones (43,75%) respecto a 2019; esto según informe de la Cámara Ecuatoriana de Comercio Electrónico. Según (Barrientos Felipa, 2017), el internet se ha convertido en un insumo intangible de toda estrategia comercial para llegar al cliente; es, a su vez, un medio que puede ser utilizado tanto por grandes y pequeñas empresas.

Estudios como el de la Cámara de Comercio Electrónico del Ecuador 2019-2020 muestran que, a raíz de la pandemia, las compras por canales digitales aumentaron al menos en 15 veces en el país desde el inicio del distanciamiento social. Según esta misma investigación, la pandemia ha impulsado a ese 34% de usuarios que usaban las plataformas digitales como medio de compra secundario (Ecommerceday, 2017) a usar constantemente; así también los usuarios que las usaban esporádicamente o nunca ahora son usuarios de este medio para evitar salir de casa. La COVID-19 ha generado un futuro incierto en varias industrias, pero en el caso del comercio electrónico, las ha impulsado grandemente (E-commerce, 2020).

El comportamiento del mercado ha cambiado en los últimos años, ahora debido a la pandemia las empresas mayormente realizan sus ventas mediante plataformas digitales como redes sociales y páginas de E-Commerce permitiendo así a los clientes tener un medio para expresar su opiniones positivas o negativas sobre un producto. Por este motivo, la industria ha reconocido la importancia de las redes sociales y el contenido generado por el usuario para poder realizar análisis como estudios de mercado (Tripathi & S, 2015). Entonces es necesario implementar nuevos métodos para la recolección de información de las diferentes plataformas de manera efectiva. Esta recolección o adquisición de grandes cantidades de información digital se puede realizar de diferentes maneras, por ejemplo, Web Scrapping, Web Crawler, pero principalmente se utiliza el método de las API (Applications Program Interface) de cada plataforma (Perriam et al., 2020). Para iniciar con el empleo de este método es necesario realizar un análisis de las limitaciones de cada API, debido a que muchas plataformas están continuamente cambiando sus políticas de seguridad de acceso a los datos. En algunos casos, estos cambios de políticas son más restrictivas por lo que -en este trabajo- se propone una metodología que permita evaluar y rankear las plataformas disponibles considerando varias características con el fin de elegir la plataforma más adecuada para la extracción de datos, y además permitir que este proceso sea escalable.

Las API permiten a terceros la capacidad de consultar y obtener acceso a porciones de información a partir de los datos de usuarios creados al usar y experimentar plataformas digitales. Cada API especifica las reglas mediante las cuales el software se comunica entre sí, articulando qué elementos se pueden consultar, con qué frecuencia y cómo aparecen los resultados (Acker & Kreisberg, 2020). Los desarrolladores e investigadores pueden acceder a las API mediante scripts para recuperar, almacenar y manipular rastros digitales dejados por los usuarios para su respectivo análisis. Parte del atractivo de la investigación basada en las API es que la recopilación, organización, limpieza, preservación, y análisis de los datos se pueden automatizar, logrando que las API sean una herramienta de investigación altamente eficiente (Lomborg & Bechmann, 2014).

Investigaciones como las de (Aakash & Aggarwal, 2020; Amarouche et al., 2015; Nguyen et al., 2019) presentan algunos estudios relacionados a plataformas digitales y que son de utilidad para el análisis de mercado, es el caso de la detección de Hot Topics y Análisis de sentimientos. Para alimentar los modelos se realiza una extracción de datos a través de las API de las diferentes plataformas; sin embargo, estos estudios no se enfocan en la extracción de datos, sino en otros tipos de análisis. Otras investigaciones como (Kim et al., 2016) realizan una extracción de datos de redes sociales para encontrar el conocimiento del mercado comparando las opiniones de los consumidores con el desempeño de ventas de una empresa, donde se demuestra que los datos de las redes sociales contienen conocimiento valioso para obtener una ventaja competitiva. Por último, un estudio presentado en (Xue et al., 2018) utiliza datos extraídos de YouTube para encontrar posibles competidores de IBM y así obtener una ventaja competitiva. Todos estos estudios presentados tienen en común que la extracción de datos es mediante las API y como resultado final, se obtiene conocimiento para hacer un estudio de mercado. No obstante, la extracción de datos se maneja de una manera secundaria y no se cuenta con una metodología o proceso para priorizar las distintas fuentes de información, de forma que ayuden a tomar decisiones más informadas.

A base de lo mencionado, este artículo tiene dos objetivos, i) proponer una metodología para obtener datos de plataformas digitales que sean de utilidad para un estudio de mercado de un sector determinado que analice qué fuentes de información son relevantes y especifique parámetros que ayuden a crear un ranking de fuentes de información; y, ii) crear una plataforma en la cual las empresas puedan extraer fácilmente información como comentarios,

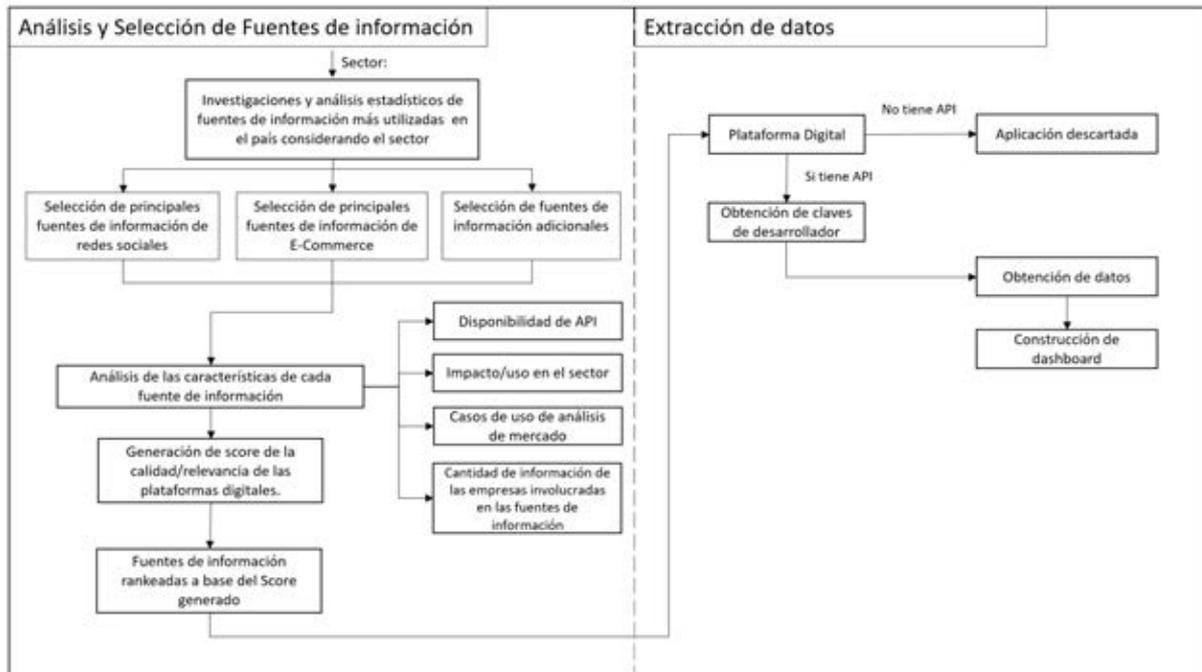
publicaciones, entre otros, de las fuentes de datos que se han determinado en la primera fase. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe la metodología propuesta para la creación de un ranking de las fuentes de información y la extracción de la información, además de un caso de estudio en el sector textil, y, por último, en esta sección también se explica detalladamente los pasos para la implementación del prototipo realizado. Finalmente, la sección 3 sintetiza las principales conclusiones y trabajos futuros.

Metodología

Para la implementación de una plataforma digital de extracción de datos de un sector definido se realizó dos pasos: i) selección y generación de un ranking de fuentes de información para el sector determinado y, ii) extracción de datos a las fuentes de información mejor rankeadas. En la Figura 1 se esboza la metodología propuesta, la cual se divide en dos partes: Ranking de fuentes de información y Extracción de datos. A continuación, se explica cada parte de la metodología con su respectivo proceso.

Figura 1

Metodología utilizada para la extracción de información



En el análisis y selección de fuentes de información se eligió el sector a estudiar. Posteriormente, se efectuó una selección de fuentes de información utilizando: i) investigaciones relacionadas y ii) análisis estadísticos digitales de empresas que presentan estudios como: plataformas más visitadas en el país, medios digitales mayormente utilizados en un sector, páginas propias de empresas más visitadas, etc. Luego de esta primera selección se realizó una clasificación de fuentes de información en redes sociales, sitios Web de comercio electrónico y otras fuentes adicionales. Posteriormente, se desarrolló el análisis con mayor profundidad sobre cada fuente de información considerando los siguientes parámetros: i) si tuvo disponibilidad de una API; ii) el impacto/uso en el sector analizado; iii) caso de uso de análisis de mercado; y iv) la cantidad de información disponible de las empresas involucradas en el proyecto. Por último, se generó un score (calificación) final para cada plataforma donde

cada parámetro considerado tuvo un peso de acuerdo a la importancia en este estudio para finalmente obtener la tabla con un ranking de las fuentes de información seleccionadas.

El segundo paso fue la extracción de datos de las fuentes de información seleccionadas siguiendo los siguientes pasos: i) se realizó la obtención de las claves de desarrollador o token de acceso de cada API a utilizar; ii) luego se implementó un programa utilizando las claves y se procedió a la obtención de los datos; y por último iii) se derivó a integrar todos los datos extraídos en una plataforma.

Caso de estudio

La aplicación de la metodología para la extracción de información se realiza con dos empresas MiPymes del sector textil pertenecientes al proyecto “Incorporating sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA)”. Según Karen Lucero en la Revista Gestión menciona que el sector textil es muy importante para el país debido a que representa 5,9% del sector industrial y aporta cerca de un punto porcentual al PIB (0,8%), pero debido a la pandemia este sector disminuyó sus ventas al menos un 36% en 2020 (Karen Lucero, 2021), motivo por el cual se selecciona este sector para analizar en este caso de estudio.

Análisis y Selección de Fuentes de Información.

Primero, se seleccionan las principales fuentes de información de acuerdo a investigaciones y/o análisis estadísticos para este sector dentro del contexto ecuatoriano. Participan estudios realizados por Similar Web, SemRush, Kepios y también la Cámara Ecuatoriana de Comercio Electrónico. Como resultado de este análisis se obtiene que las redes sociales más visitadas en Ecuador son Facebook, Instagram, Twitter y YouTube; los sitios web E-Commerce más visitadas en Ecuador son Mercado Libre y OLX, y se determina que el buscador preferido es Google.

Segundo, se toma en cuenta cuatro investigaciones en distintas provincias de Ecuador, y una investigación de Bogotá-Colombia, donde en cada uno se muestra la importancia de cada plataforma digital para el sector textil en el análisis de mercado.

- El primer estudio considerado se presenta en (Díaz, 2018), donde se realiza un análisis para determinar qué tanto utilizan las redes sociales las microempresas del sector textil. En este estudio se realizan entrevistas a 29 microempresas del sector textil en la ciudad de Quito, donde se determina que las fuentes de información más usadas por las microempresas son: Facebook, Google, Twitter, YouTube e Instagram, en ese orden. Por su parte en (Árcos;Valverde, 2016) se realiza una investigación para analizar la incidencia del uso de redes sociales aplicado en el sector textil en la ciudad de Guayaquil en 2016. En este estudio se realizan entrevistas a 385 clientes del sector textil, donde se dispone que las fuentes de información más usadas por los clientes son Facebook y Twitter.
- El segundo estudio considerado se presenta en (Muñoz Bustos, 2019), donde se realiza una investigación de una empresa del sector textil de la provincia de Tungurahua, la cual ofrece ropa interior masculina y femenina. Para este estudio los autores realizan una encuesta a 168 personas de diferentes ciudades como son Quito y Guayaquil, donde el objetivo principal es determinar los medios eficaces para realizar publicidad y encontrar posibles clientes. Después de implementar las encuestas y tabular los resultados se encuentra que las principales fuentes de información para los clientes son

las redes sociales Facebook, YouTube, Instagram y Twitter, en ese orden. Además, se destaca que el medio preferido por las personas para comunicarse es Facebook.

- El tercer estudio considerado se presenta en (Avila, 2019), aquí se realiza un estudio sobre la comercialización de productos haciendo uso del comercio electrónico y su incidencia en las Pymes del sector textil de Atuntaqui provincia de Imbabura. Para este estudio se toma una muestra de 163 pequeñas y medianas empresas de la ciudad, a las cuales se le implementa una encuesta sobre la utilización de herramientas de comercio electrónico. En este estudio se concluye que las Pymes que tienen presencia en redes sociales consideran que sus productos son vendidos en un nivel bajo alcanzando un 55,3% y en nivel medio en 42,16% por lo que consideran que las redes sociales son de gran utilidad para las empresas. Además, efectúa una prueba de chi-cuadrado y se determina que existe una relación entre las ventas de redes sociales y un nivel bajo de interactividad (nivel I, etapa II del modelo eMICA -Extended Model of Internet Commerce Adoption-), por lo tanto, al implementar estas plataformas las ventas aumentaron. Del mismo modo se realizan con la página de E-Commerce y determinan que las Pymes que tienen implementado página de E-Commerce generan más ventas y por lo tanto están dispuestas a seguir invirtiendo en esta tecnología. Por último, este estudio menciona la importancia de las redes sociales, pero no dice cuáles son las más importantes, lo mismo sucede con el E-Commerce.
- El cuarto estudio se presenta en (Neira, 2017), donde se realiza un análisis de la confianza e intención de compra en consumidores a través de redes sociales y comercio electrónico en el sector textil en Bogotá - Colombia. Se desarrolla una encuesta a 384 personas, donde el 32,6% de los encuestados usan con más frecuencia Instagram, 30,2% Facebook, 27,1% YouTube y 7,8% Twitter.
- Y el último estudio considerado se presenta en (Yánes, 2017), donde se presenta una estrategia de marketing digital para la empresa textil Andelas Cía. Ltda. de la provincia del Tungurahua. En este estudio se toma una muestra de 137 clientes potenciales conformado por distribuidores y confeccionistas al por mayor y menor, a los cuales se aplica una encuesta la que tiene como objetivo conocer hábitos, comportamientos, gustos y preferencias dentro del entorno digital. Como resultados respecto a la importancia y el uso que le dan a las redes sociales son: Facebook con una calificación de 32,8, YouTube con 27, y Twitter con el 14,6 sobre 35.

Tercero, se realiza un análisis de las API de cada fuente de información seleccionados considerando: i) la información disponible que se puede extraer de cada fuente y la personalización de la información obtenida, ii) las restricciones/limitaciones de la API ofrecida por la empresa, iii) las características adicionales de la API, por ejemplo, es necesario el uso del token de desarrollador y cuál es el proceso para obtenerlo.

Cuarto y última característica considerada es la información disponible de las empresas involucradas en las diferentes plataformas, donde se realiza una investigación de la cantidad de información disponible de cada empresa en las fuentes de información seleccionadas, se toma en cuenta si la empresa posee o no una cuenta en las distintas redes sociales y si tiene presencia o no en páginas de comercio electrónico o buscadores como Google.

Con todas estas características mencionadas se procede a calcular un score (calificación a una fuente de información) final para realizar el ranking. Cabe mencionar que para el caso de Google se logra identificar una herramienta llamada Google Trends, la cual muestra las búsquedas más frecuentes que se han realizado, y al contar con una API que se

puede integrar fácilmente a cualquier plataforma, se la considera en este estudio. Se detectan plataformas en las cuales su API no proporciona información de utilidad, es el caso de OLX. El score dado a cada plataforma se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Cálculo del Score de la Calidad/Relevancia de las Fuentes de Información

PLATAFORMA	IMPACTO/USO EN EL SECTOR TEXTIL (SOBRE 40)		CASOS DE USO DE ANÁLISIS DE MERCADO (SOBRE 20)		CANTIDAD DE INFORMACIÓN DE LAS EMPRESAS DEL PROYECTO (SOBRE 10)		ACCESIBILIDAD DE LOS DATOS MEDIANTE API (SOBRE 30)		SCORE FINAL (SOBRE 100)	SCORE FINAL (SIN TOMAR EN CUENTA ACCESIBILIDAD DE LOS DATOS MEDIANTE API)
	CALIFICACIÓN	PESO	CALIFICACIÓN	PESO	CALIFICACIÓN	PESO	CALIFICACIÓN	PESO		
Facebook	9,75	4	7,5	2	10	1	5	3	79	91,43
Instagram	6,75	4	6,25	2	8,25	1	5	3	62,75	68,21
Twitter	7	4	8,75	2	0	1	8,75	3	71,75	65
YouTube	7,75	4	6,25	2	0	1	10	3	73,5	62,14
Mercado Libre	0	4	6,25	2	0	1	6,25	3	31,25	17,86
Google Trends	8	4	10	2	10	1	7,5	3	84,5	88,57

Para el cálculo del score, cada parámetro tiene una escala de 0 a 10 puntos y con un grupo de expertos se asigna un peso a cada característica seleccionada de acuerdo a la importancia en este estudio, donde la suma total da un valor de 100. La metodología utilizada para cada uno fue la siguiente:

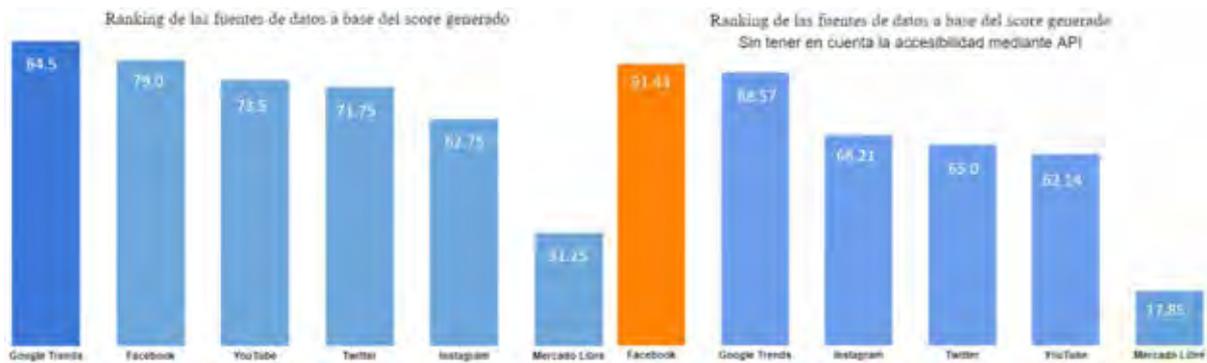
- Para el cálculo del “Impacto/uso en el sector textil” se toman en cuenta investigaciones realizadas en Ecuador sobre el uso de fuentes de información en el sector textil. En cada estudio se tiene un score máximo de 10 y para obtener el score final se realiza un promedio de los 5 estudios por fuente de información, donde se toma en cuenta el orden de importancia de cada fuente de información que presenta cada estudio. El primer lugar obtiene el máximo puntaje, el segundo lugar se penaliza 1.25 puntos, el tercer lugar 2.5 puntos y así sucesivamente. Para el caso de Google que solo se menciona en un estudio, se realiza una penalización de 0.1875 puntos por cada estudio en el que no se encuentra.
- Para el cálculo del segundo parámetro “Caso de uso de análisis de mercado”, de igual manera que el cálculo del “Impacto/uso en el sector textil”, se ordena de acuerdo al número de estudios encontrados que se tomen en cuenta en el análisis de mercado. La plataforma que está en el primer lugar es la que mayor puntaje tiene, el segundo lugar se penaliza con un valor de 1.25 que es el mismo del primer parámetro, el tercer lugar se penaliza con 2.5 y así sucesivamente.
- El parámetro “cantidad de información” considera la disponibilidad de información que hay de las empresas involucradas en la fuente de datos, y de acuerdo al número de seguidores y “me gusta” en las redes sociales se asigna un valor. También se toma en cuenta una penalización de 1.25 proporcional al resto de parámetros. Cabe mencionar que con respecto a Google se toma un valor de 10 puntos sí tiene presencia caso contrario se toma un valor igual a 0.

- Con respecto a la “accesibilidad de los datos mediante API” se toma en cuenta la información disponible, restricciones/limitaciones, características de la API, personalización que se puede realizar y con un grupo de expertos se determina cuan fácil es el acceso a los datos de cada fuente de información. De igual forma, se toma como máximo puntaje a la plataforma que es más fácil el acceso a los datos y al resto se penaliza con un valor de 1.25 como en los casos anteriores.

Después de realizar el análisis se obtiene el siguiente resultado ver Figura 2, se determina que las 4 plataformas que mayor beneficio ofrecen a este estudio son: Google Trends, Facebook, YouTube y Twitter. Adicionalmente, se realiza otro análisis sin tomar en cuenta el parámetro “Accesibilidad de los datos mediante API” debido a que se puede acceder a los datos mediante otras técnicas como Web Scraping. A base de este análisis se determina que las 4 plataformas que mayor beneficio ofrecen son: Facebook, Google, Instagram y Twitter. Con respecto a las limitaciones de las API, la de Twitter tiene una limitación en el número de consultas por día y se pueden extraer datos de los últimos 7 días únicamente. De ser necesario más datos, se tiene que realizar un pago. Así también, la API de YouTube tiene una limitación en el número de consultas por día que puede recibir, aunque para la mayoría de aplicaciones, este límite es casi imposible de superar.

Figura 2

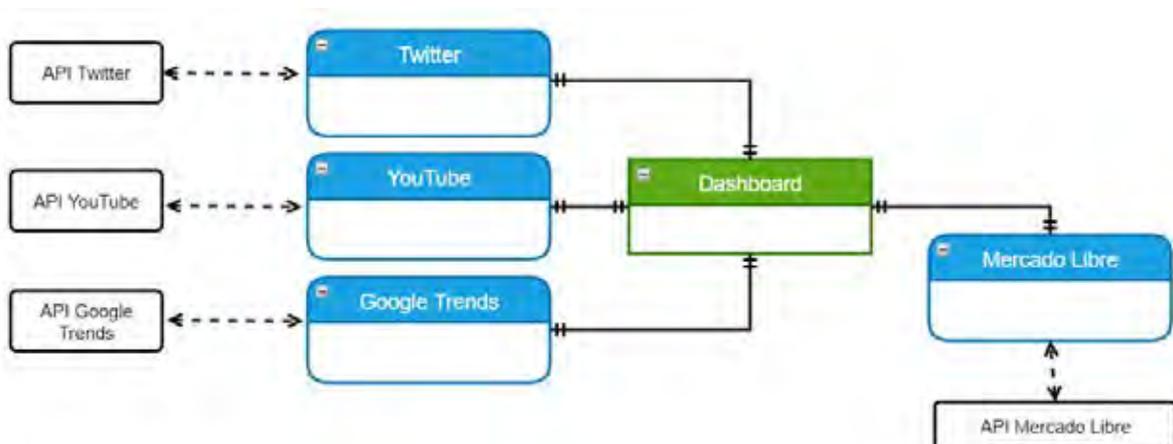
Ranking de las plataformas digitales



Desarrollo de la Plataforma

Figura 3

Arquitectura de la Aplicación



Para presentar de manera visual la información extraída: total de registros, número de datos extraídos de cada plataforma, se procede a implementar una aplicación web tipo dashboard de nombre Dashboard SUMA. Esta aplicación se desarrolla con el Framework Django y se utiliza la librería Chart.js para los gráficos. La plataforma cuenta con varios subsistemas, donde cada uno extrae datos de una plataforma digital. La arquitectura implementada se presenta en la Figura 3.

En la Figura 4 se presenta la estructura de la aplicación de Django y en la Tabla 2 se presenta una descripción de los componentes de la aplicación.

Figura 4

Estructura de la Aplicación Django

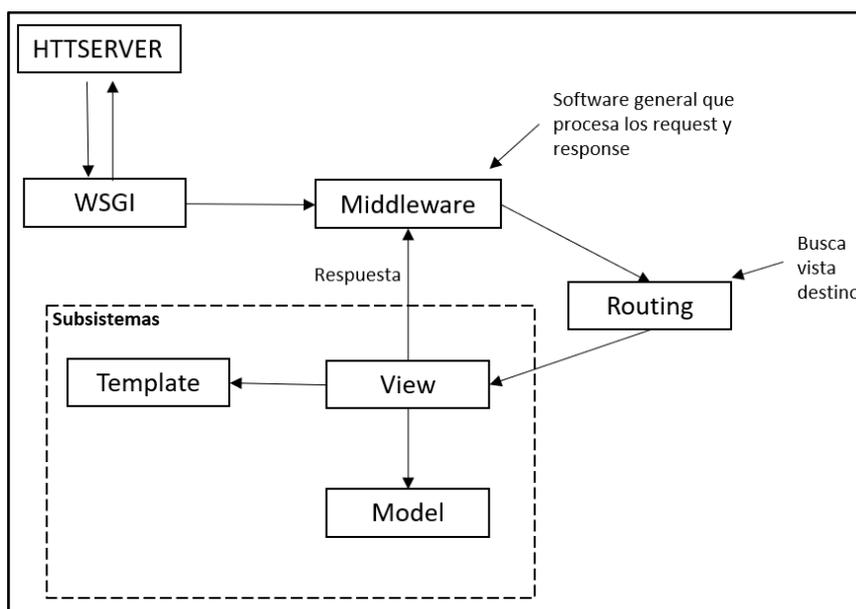


Tabla 2

Descripción de las Partes de la Estructura de la Aplicación

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
HttpServer	Es el servidor que escucha las peticiones. Entre los más conocidos están nginx, apache, iis.
WSGI	Modelo de interacción entre servidores web y aplicaciones.
Middleware	Software python dentro de django, definido en settings y que permite alterar la request y/o la response.
Routing	Módulo de django que usa las definiciones en el fichero urls.py, para seleccionar la vista.
View	Código python que recibe la request y la procesa y usando las templates genera la respuesta.
Model	La vista usa las clases que representan el modelo de datos.
Template	En conjunción con la vista, describe la salida, que será principalmente html. Usará datos proporcionados por la vista, que vendrán de la base de datos y las consulta a la API.

Finalmente, se presenta una vista para cada fuente de información donde el usuario puede ingresar su tema de interés y ejecutar la aplicación, en ese momento se realiza la extracción de datos mediante API y se muestra en una tabla con la disponibilidad para poder

descargar los datos en formato csv. En las Figura 5 se muestra la página principal de la aplicación con métricas como el número de datos extraídos por cada plataforma, el número total de datos extraídos y un historial de las búsquedas que se han realizado, en la Figura 6 se muestra la interfaz para extraer datos de Twitter y en la Figura 7 se presentan la interfaz con los datos extraídos. De la misma manera que las interfaces de Twitter son para las otras fuentes de información.

Figura 5

Página Principal de la Aplicación

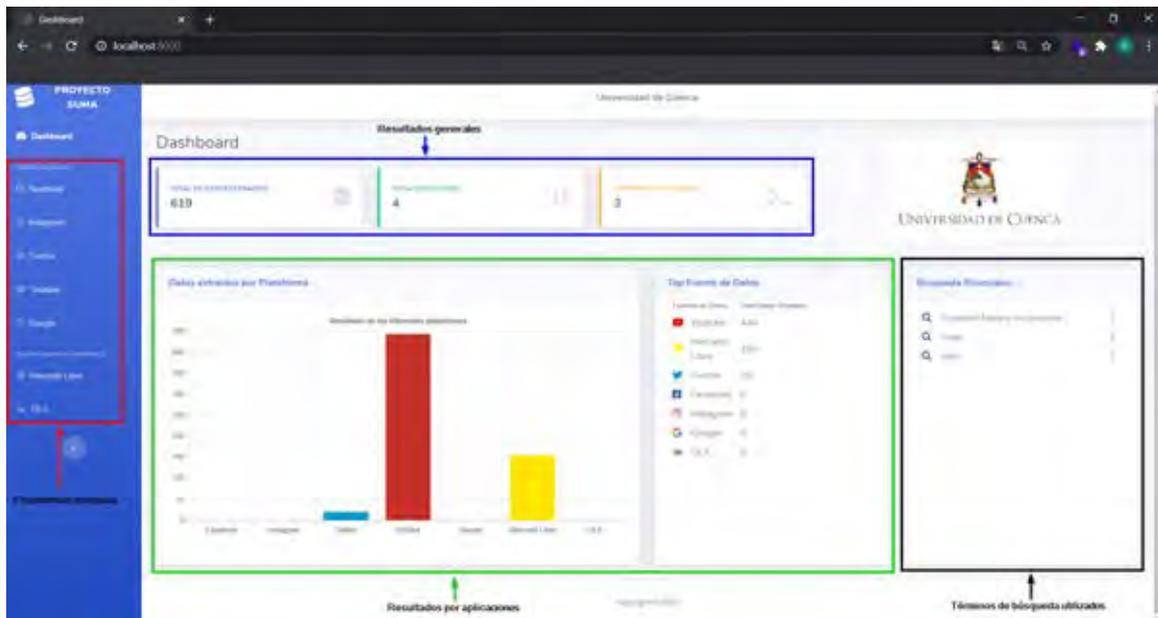
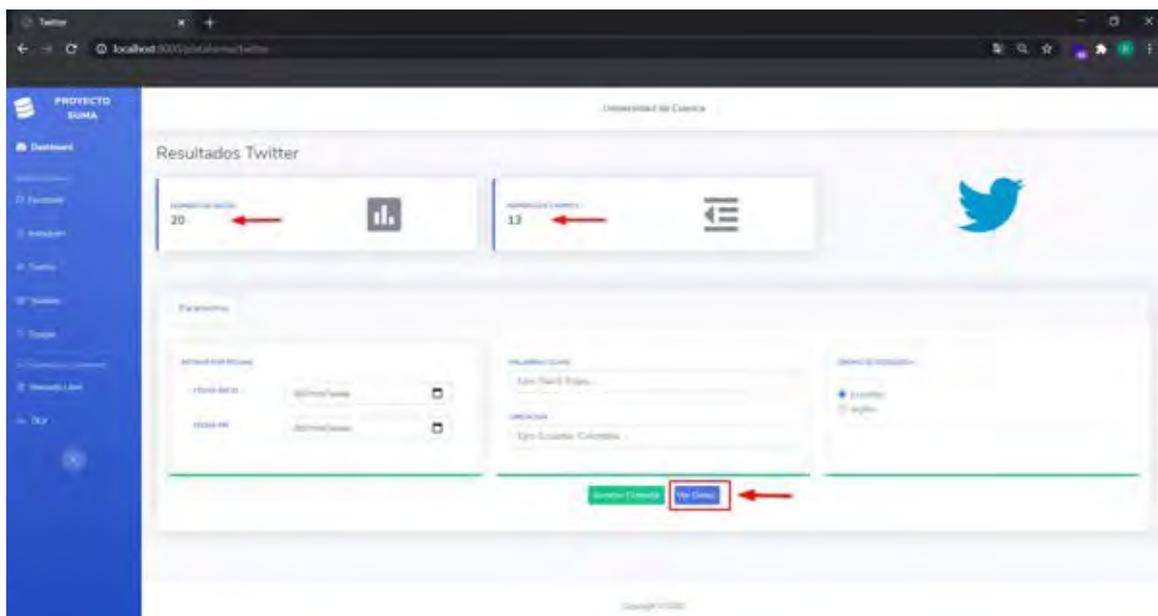


Figura 6

Página para Consulta de Datos de Twitter



El ranking realizado, en el caso de estudio se determina que las 4 plataformas que mayor beneficio ofrecen para esta investigación son: Google Trends, Facebook, YouTube y Twitter. Adicionalmente, se realiza otro análisis sin tomar en cuenta el parámetro “Accesibilidad de los datos mediante API” debido a que se puede acceder a los datos mediante otras técnicas como Web Scraping por lo que también es una alternativa para obtención de datos. A base de este análisis, se determina que las 4 plataformas que mayor beneficio ofrecen son: Facebook, Google, Instagram y Twitter.

Las redes sociales Facebook e Instagram tienen un ranking alto pero debido a la implementación de sus nuevas políticas de acceso a la información altamente restrictivas no puede realizar la extracción de datos. Únicamente se puede obtener datos propios de la cuenta del usuario o página administrada como publicaciones, comentarios de la publicación y reacciones de la publicación. En las plataformas que tienen API y no tienen grandes limitaciones en sus políticas de acceso a la información, se realiza la extracción de datos sin ningún inconveniente. Inclusive, se logra extraer información adicional en forma de metadatos que pueden ser de interés para estudios futuros como la determinación de lugares donde existen problemas como los productos, lugares determinados donde existen algunas necesidades, entre otros.

Como trabajo futuro, se plantea la necesidad de automatizar el proceso para la valoración de los pesos para cada característica y, de esta manera, facilitar la aplicación de esta metodología a cualquier sector. Así también, analizar a profundidad las API de otras plataformas, por ejemplo, Pinterest para determinar qué tipo de información se puede extraer y luego determinar su utilidad para el sector de estudio. Finalmente, considerando las limitaciones de acceso a Facebook e Instagram, se plantea explorar otras opciones para poder extraer datos de dichas plataformas, ya que son estas las que más se utilizan en la región.

Agradecimientos

Este estudio se enmarca en el proyecto de investigación “Incorporating Sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA)”, apoyado por el Consejo Interuniversitario Flamenco (VLIR) y el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC).

Referencias

- Aakash, & Aggarwal, A. G. (2020). An Analysis of EWOM Text that Contribute to EWOM Helpfulness. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 601, pp. 893–900). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1420-3_97
- Acker, A., & Kreisberg, A. (2020). Social media data archives in an API-driven world. *Archival Science*, 20(2), 105–123. <https://doi.org/10.1007/s10502-019-09325-9>
- Amarouche, K., Benbrahim, H., & Kassou, I. (2015). Product Opinion Mining for Competitive Intelligence. *Procedia Computer Science*, 73, 358–365. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.004>
- Árcos;Valverde, D. A. (2016). “Incidencia del uso de redes sociales aplicado en las estrategias de marketing en el sector textil de la ciudad de guayaquil año 2016.” <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14886>
- Avila Fuentes, L. F. (2019). *ARTICULO CIENTÍFICO: Comercialización de productos mediante el uso de herramientas de comercio electrónico y su incidencia en las PYMES del sector textil de Atuntaqui provincia de Imbabura*. <http://181.39.139.68:8080/handle/123456789/249>
- Barrientos Felipa, P. (2017). Marketing + internet = e-commerce: oportunidades y desafíos. *Revista Finanzas y Política Económica*, 9(1), 41–56. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2017.9.1.3>

- Díaz Agila, Y. M. (2018). "Análisis De Las Estrategias De Marketing Digital Aplicadas Por Las Microempresas En El Sector Textil De La Provincia De Pichincha." <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15305>
- E-commerce. (2020). *DC0-Información pública E-Commerce en Ecuador*. <https://www.pwc.ec/es/publicaciones/assets/e-commerce-ecuador.pdf>
- Ecommerceday. (2017). *Estudio de Comercio Electrónico en el País durante el eCommerce Day Ecuador 2017*. 2–4. <http://www.ecommerceday.ec/2018/2017/11/09/se-presento-el-primer-estudio-de-comercio-electronico-en-el-pais-durante-el-ecommerce-day-ecuador-2017/>
- Karen Lucero. (2021, May 2). El sector textil, un puntal de la industria que busca levantarse | Gestión. Economía y Finanzas. <https://www.revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/el-sector-textil-un-puntal-de-la-industria-que-busca-levantarse>
- Kim, Y., Dwivedi, R., Zhang, J., & Jeong, S. R. (2016). Competitive intelligence in social media Twitter: iPhone 6 vs. Galaxy S5. *Online Information Review*, 40(1), 42–61. <https://doi.org/10.1108/OIR-03-2015-0068>
- Lomborg, S., & Bechmann, A. (2014). Using APIs for Data Collection on Social Media. *Information Society*, 30(4), 256–265. <https://doi.org/10.1080/01972243.2014.915276>
- Muñoz Bustos, D. A. (2019). *Sistema organizacional aplicado al marketing digital en el sector textil de ropa interior de la provincia de Tungurahua*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29960>
- Neira, D. A. (2017). *Las redes sociales y la confianza del consumidor como factores en la intención de compra a través de canales de comercio electrónico en el sector moda colombiano*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60094>
- Nguyen, S., Ngo, B., Vo, C., & Cao, T. (2019). Hot Topic Detection on Twitter Data Streams with Incremental Clustering Using Named Entities and Central Centroids. *2019 IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RIVF.2019.8713730>
- Perriam, J., Birkbak, A., & Freeman, A. (2020). Digital methods in a post-API environment. *International Journal of Social Research Methodology*, 23(3), 277–290. <https://doi.org/10.1080/13645579.2019.1682840>
- Tripathi, G., & S, N. (2015). Feature Selection and Classification Approach for Sentiment Analysis. *Machine Learning and Applications: An International Journal*, 2(2), 01–16. <https://doi.org/10.5121/mlaij.2015.2201>
- Xue, Y., Zhou, Y., & Dasgupta, S. (2018). Mining competitive intelligence from social media: A case study of IBM. *Proceedings of the 22nd Pacific Asia Conference on Information Systems - Opportunities and Challenges for the Digitized Society: Are We Ready?, PACIS 2018*. <https://pennstate.pure.elsevier.com/en/publications/mining-competitive-intelligence-from-social-media-a-case-study-of>
- Yánes González, R. M. (2017). "Marketing digital para el sector textil de la provincia de Tungurahua: Caso Andelas CIA. LTDA. [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas. Carrera de Marketing y Gestión de Negocios.]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/26922>

Evaluación del reconocimiento de voz entre los servicios de Google y Amazon aplicado al Sistema Integrado de Seguridad ECU 911

Evaluation of voice recognition between Google and Amazon services applied to the ECU 911 Integrated Security System

Juan José Peralta Vásconez¹, Carlos Andrés Narváez Ortiz¹, Marcos Patricio Orellana Cordero¹ <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>, Paúl Andrés Patiño León¹ <https://orcid.org/0000-0001-9504-6498>, Priscila Cedillo Orellana^{1, 2} <https://orcid.org/0000-0002-6787-0655>

¹Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador
jjperalta@es.uazuay.edu.ec,
carlos.05.narvaez@es.uazuay.edu.ec, marore@uazuay.edu.ec,
andpatino@uazuay.edu.ec, icedillo@uazuay.edu.ec

²Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
priscila.cedillo@ucuenca.edu.ec

Enviado: 2021/07/09
Aceptado: 2021/09/28
Publicado: 2021/11/30

Resumen

El reconocimiento automático de voz (ASR) es una de las ramas de la inteligencia artificial que hace posible la comunicación entre el humano y la máquina, logrando que el usuario pueda interactuar con las máquinas de manera natural. En los últimos años, los sistemas ASR se han incrementado hasta el punto de lograr transcripciones casi perfectas, en la actualidad son muchas las empresas que desarrollan sistemas ASR tales como Google, Amazon, IBM, Microsoft. El objetivo de este trabajo es evaluar los sistemas de reconocimiento de voz de Google Speech to Text y Amazon Transcribe con el fin de determinar cuál de ellas ofrece una mayor precisión al momento de convertir el audio en texto. La precisión de las transcripciones se evalúa a través de la tasa de error por palabra (WER) la cual analiza las palabras eliminadas, sustituidas e insertadas con respecto a un texto de referencia de transcripción humana. Después de someter estos sistemas a diferentes ambientes de ruido se observa que el sistema con mayor rendimiento en el proceso de transcripción es el de Amazon Transcribe; por tal razón, se concluye que el servicio de Amazon muestra un mayor desempeño con respecto al servicio de Google tanto con audios con un nivel de ruido de fondo más alto y con audios con un nivel de ruido de fondo más bajo.

Sumario: Introducción, Trabajos relacionados, Metodología, Resultados y Conclusiones.

Como citar: Peralta, J., Narváez, C., Orellana, M., Patiño, P. & Cedillo, O. (2021). Evaluación del reconocimiento de voz entre los servicios de Google y Amazon aplicado al Sistema Integrado de Seguridad ECU 911. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 147-158.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/840>

Palabras clave: Amazon Transcribe, ASR, Google Speech to Text, transcripción, WER.

Abstract

Automatic Speech Recognition (ASR) is one of the branches of artificial intelligence that makes communication between humans and machines possible, making it the closest thing to the interaction between humans. In recent years, ASR systems have increased to the point of achieving near-perfect transcriptions; today, many companies develop ASR systems, such as Google, Amazon, IBM, and Microsoft. This study aims to evaluate the voice recognition systems of Google Speech to Text and Amazon Transcribe to determine which of them offers greater precision when converting audio into text. The accuracy of transcripts was evaluated through the Word Error Rate (WER), which analyzes the deleted, substituted, and inserted words concerning a human transcription reference text. After subjecting the systems to different noise environments, it was observed that the system with the highest performance in transcripts was Amazon Transcribe; therefore, it was concluded that Amazon services showed a higher performance compared to Google services both with audios with a higher background noise level and with audios with a lower background noise level.

Keywords: Amazon Transcribe, ASR, Google Speech to Text, transcripton, WER.

Introducción

Dentro del dominio de la inteligencia artificial, el reconocimiento automático de voz (ASR) permite la comunicación entre el humano y la máquina, tratando de asemejar al máximo, la forma en que los humanos interactúan entre sí (Këpuska, 2017). Anteriormente, el lenguaje humano no se consideraba una variante importante entre la comunicación humano - máquina, debido a que no existía una tecnología que cumpliera con los parámetros necesarios para el desarrollo y la implementación en casos de la vida real (Yu Dong, 2015). Los parámetros importantes que se deben tener en cuenta en el proceso de reconocimiento de voz son el retraso y la precisión, ya que afectan a la calidad de la experiencia del usuario de dichos servicios (Assefi et al., 2015). Los sistemas de reconocimiento de voz van avanzando y mejorando con el tiempo, de tal forma que estos sistemas realizan tareas de transcripción con una precisión que bordea el 90% (Mashao et al., 2010). En la actualidad, son muchas las empresas que optan por implementar el reconocimiento de voz en sus servicios, ya sea por la comodidad que ofrecen al momento de realizar ciertas tareas o porque cada año la tasa de error va descendiendo, lo que provoca que estos servicios sean mucho más eficaces y confiables.

Empresas como Microsoft, IBM, Google y Amazon desarrollan plataformas que ofrecen servicios en la nube y que utilizan algoritmos ASR (IANCU, 2019). Microsoft utiliza Azure Cloud Service, el cual brinda la posibilidad de transcribir a texto los datos de audio en tiempo real, o por otro lado, permite subir archivos almacenados en el dispositivo del cliente para transcribirlos (Microsoft, 2011). La empresa IBM cuenta con el servicio llamado *IBM Cloud Speech to Text*, el cual ofrece a los clientes la posibilidad de transcribir archivos de audio de una forma continua y con baja latencia; la empresa ofrece servicios estándar y premium (Service et al., 2019), finalmente está Google con el servicio denominado Google Cloud Speech-to-Text.

El presente trabajo tiene como objetivo la comparación entre las dos grandes empresas que se posicionan en el mercado del reconocimiento de voz, es el caso de Google y Amazon. Google con el servicio de *Google Cloud Speech-to-Text* trabaja en la Web y permite cargar archivos de audio o procesar sonidos en tiempo real. El servicio de Google proporciona a los usuarios la posibilidad de escoger el idioma y permite la detección de contenido inadecuado o

vulgar mediante filtros (Morbini et al., 2013). Google Speech-to-Text también ofrece otras características como la detección automática de idiomas o el reconocimiento automático de puntuación (IANCU, 2019). El servicio Amazon Transcribe, de la empresa Amazon, es una herramienta que ofrece a los consumidores la capacidad de agregar funciones de transformación de voz a texto en sus aplicaciones. *Amazon Transcribe* también utiliza el reconocimiento automático de voz (ASR) para generar transcripciones rápidas y de gran calidad (Amazon, n.d.).

Por otra parte, la necesidad de realizar tareas de transcripción automática varía de acuerdo al dominio que es usado. Un caso puntual son los centros de comando y control (C2s), conocidos comúnmente como centros de operaciones, las cuales son entidades de orden público que tienen la función de recopilar los datos provenientes de sensores o cámaras de monitoreo, que se encuentran distribuidos por todo el territorio nacional, toda la información que se recolecta se almacena para ser procesada y analizada a través de un conjunto de plataformas que ayudan en la toma de decisiones (Muse et al., 2020). En complemento a estas tareas, los C2 reciben constantemente llamadas de la comunidad en busca de despachos para emergencias o de soporte policial.

Este estudio realiza una comparativa, que permite evaluar las características de los productos existentes al sistema integrado de seguridad ECU 911, que es la entidad encargada de organizar y dar respuesta ante las situaciones de emergencia que se puedan presentar en el territorio nacional, coordinando la atención con los diferentes organismos en caso de siniestros o desastres. Esta entidad proporciona las grabaciones relacionadas con las alertas emitidas, las cuales se analizan para su registro y codificación considerando las particularidades de cada región. Además, una vez concluidas las configuraciones y entrenamientos necesarios, se determina que producto ofrece una mayor precisión al momento de convertir el audio a texto. También, se evalúa la calidad de las transcripciones de las herramientas utilizadas con relación a las transcripciones realizadas por humanos.

Este estudio se organiza de la siguiente manera: En la Sección 2 se presentan los trabajos relacionados, en la Sección 3 se explica la metodología que se usó para realizar las pruebas, en la Sección 4 se muestran los resultados obtenidos y en la Sección 5 se exponen las conclusiones.

Trabajos relacionados

En el campo de la conversión de voz a texto, existen varios aportes, mismos que abordan la evaluación de ciertos factores clave, que influyen en la calidad del resultado ofrecido. Sin embargo, estos sistemas trabajan con idiomas como el rumano, inglés o japonés. Dichos estudios consideran factores como el nivel de ruido o la tasa de error de las palabras convertidas. Los trabajos que se presentan a continuación se relacionan directamente con los métodos de evaluación y las tareas de transcripción.

En Këpuska (2017), se diseña una herramienta que permite comparar varios sistemas de reconocimiento automático de voz (ASR) como Microsoft Speech Api, Google Speech Api y Sphinx-4, que son ASR de código abierto. Para ello, se utilizan grabaciones de diferentes fuentes, en idioma inglés, para calcular la tasa de error de palabras (WER) y la exactitud de las mismas. Allí, se determina que la API de Google fue superior.

En el trabajo que realiza Kimura et al. (2018) se utiliza la métrica WER para comparar el rendimiento entre los ASR de Kaldi y la API de Google. Para el estudio se emplean audios de habla japonesa en tiempo real, lo que permite concluir que el ASR de Kaldi muestra una

alta precisión de reconocimiento cuando los datos se encuentran en un dominio cerrado y el nivel de ruido en los audios no es alto. En su lugar, el API de Google presenta una gran precisión y estabilidad en varios entornos y dominios, así como un tiempo de respuesta mucho menor. En Filippidou y Moussiades (2020), se compara la precisión de Google respecto a IBM Watson y Wit, utilizando WER junto con los cálculos de la tasa de error de palabras independiente de la posición de hipótesis (H_{per}) y la tasa de error de palabras independiente de la posición de referencia (R_{per}). Concluyen que el ASR de Google es más eficaz que los otros sistemas evaluados.

En (IANCU, 2019), se evalúa la API de Google Cloud Speech-to-Text, utilizando vídeos disponibles de YouTube en rumano. Los datos que se obtienen se indexan para transformarse en material para búsquedas. El autor utiliza WER para medir la precisión del contenido multimedia y concluye que los resultados para la indexación de estos recursos son satisfactorios. En el trabajo de Kodish-Wachs et al. (Kodish-Wachs et al., 2018) los autores desarrollan una comparación sistemática de ASR aplicada al lenguaje clínico convencional. En el estudio se usan audios grabados de escenarios clínicos y se evalúan ocho motores de ASR usando la tasa de error de palabra (WER). Como resultado se encuentra que los motores de ASR generan una amplia gama de errores de palabras.

Por otro lado, en Assefi, Liu, et al. (2015), comparan dos sistemas basados en la nube, Apple Siri y Google Speech Recognition (GSR), evaluando los sistemas de acuerdo a los parámetros de retraso y precisión de las transcripciones de cada herramienta. Se llega a la conclusión de que los sistemas que están basados en la nube son afectados por la pérdida de paquetes o por la fluctuación que se da comúnmente en sistemas conectados a la red inalámbrica y celular. En Assefi, Wittie, et al., (2015), se estudian los mismos sistemas de reconocimiento de voz basados en la nube, y se evalúa el rendimiento ante varias situaciones de red, en parámetros de precisión de reconocimiento de comandos y retardo de ida y vuelta. Los resultados obtenidos son similares a los detallados anteriormente (Assefi, Liu, et al., 2015); sin embargo, se propone una solución de transporte de codificación de red para aumentar la calidad de las transmisiones de voz.

En Wang (2019), se realiza un estudio sobre el reconocimiento de emociones basado en un modelo de red neuronal convolucional y recurrente (ARCNN), que es aplicado a diálogos telefónicos de atención al cliente. El modelo se entrena con el texto convertido de la voz del teléfono del cliente mediante la API de transcripción de Amazon. Así también, en Munot y Nenkova, (2019), se analiza cómo las emociones en los diálogos influyen en el desempeño de los sistemas. Se concluye que el rendimiento de los sistemas de reconocimiento depende de factores como el contenido léxico, la identidad del hablante y el dialecto. Se evalúan varias aplicaciones comerciales de compañías como Amazon, IBM y Google.

En Mashao et al., (2010), se realiza una investigación para la implementación del reconocimiento de voz aplicado a dispositivos móviles, bien sea en red o con reconocimiento de voz distribuido. Se llega a la conclusión de que el reconocimiento distribuido obtiene una mayor precisión.

Como se analiza, existen múltiples estudios de evaluación y comparación de sistemas de reconocimiento automático de voz (ASR); sin embargo, no se precisan estudios de comparación de dos grandes empresas como Google y Amazon. Tampoco se encuentran trabajos relacionados al reconocimiento de voz aplicado a los centros de comando y control, ni soluciones dirigidas al idioma español. Por ello, el presente estudio se centra en evaluar los sistemas de reconocimiento automático de voz de las empresas Google y Amazon, mediante

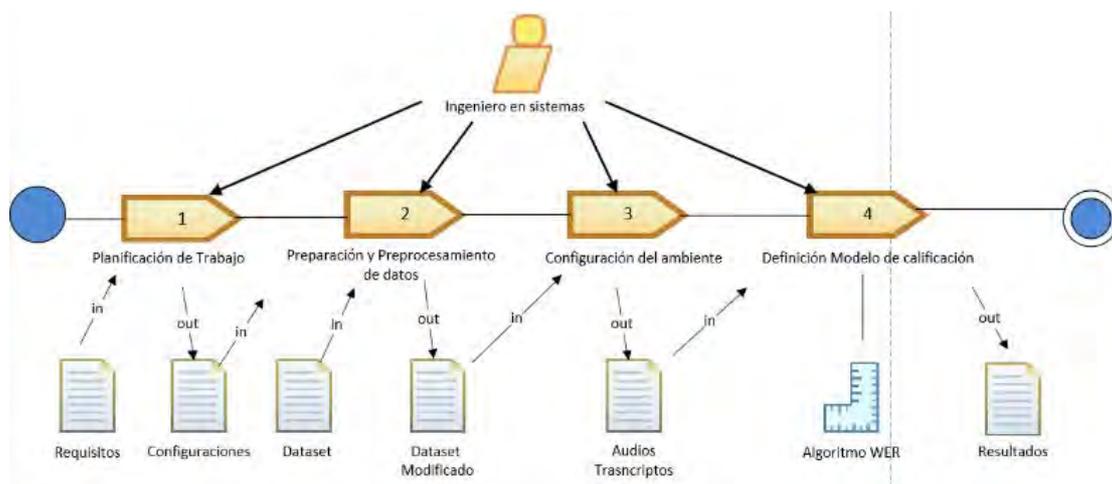
grabaciones de audio en situaciones de emergencia, determinando su calidad con respecto a transcripciones realizadas por humanos.

Metodología

La metodología empleada durante el proceso de comparación estuvo conformada por cuatro actividades detalladas en la Figura 1. Estas actividades utilizaron como entrada los datos provenientes de la recopilación de llamadas de emergencia realizadas al Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, los registros de llamadas incluían tanto el audio como su transcripción manual.

Figura 1

Actividades relacionadas a la metodología de evaluación de los sistemas ASR



Planificación de Trabajo

En esta actividad se detallan los pasos para configurar el entorno de trabajo, como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2

Esquema de Planificación de Trabajo



Se creó una cuenta en Google Cloud para tener acceso al servicio de Google Speech to Text. Debido a que la mayoría de audios tenían una duración superior a un minuto, se generó un storage en donde se almacenaron estos datos. Por otra parte, se creó una cuenta en los servicios Web de Amazon para poder tener acceso a los servicios de Amazon Transcribe, se precisó un espacio de almacenamiento para los audios (bucket) y se generó un espacio de trabajo para realizar las transcripciones (transcription job).

Finalmente, se creó un entorno de trabajo en Google Collaboratory, se trata de un documento compartido al cual se puede acceder desde cualquier dispositivo y que permite

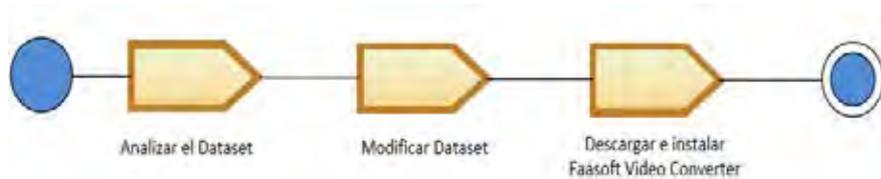
trabajar con el lenguaje de programación Python sin la necesidad de descargar ningún programa. En este documento se implementó tanto la API de Google Speech to Text como la API de Amazon Transcribe.

Preparación y Preprocesamiento de Datos

En la Figura 3, se detallan los pasos para la preparación y el preprocesamiento de los datos.

Figura 3

Esquema de Preparación y Preprocesamiento de Datos



Se analizó el Dataset proporcionado por el ECU 911, el mismo que contaba con diversos campos tales como: nombre del archivo de los audios, la dirección y las transcripciones, tanto del operador como del alertante.

Las distintas herramientas analizadas requerían que el archivo de audio fuera de 16 bits y que el canal del audio fuera estéreo (2 canales). Como parte de ajuste del requerimiento se pudo utilizar el software Faasoft Video Converter para modificar la codificación de las llamadas según las características deseadas.

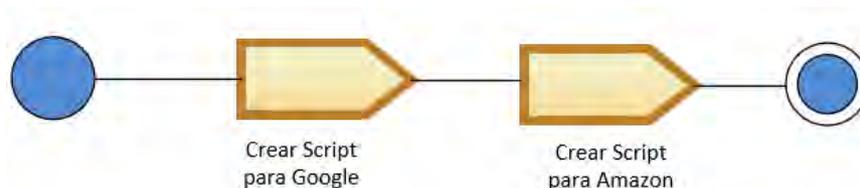
Para continuar, se dividieron los archivos de audio en dos categorías. En la primera categoría se agruparon los audios que no contenían un alto nivel de ruido de fondo y en la segunda categoría se agruparon los audios que tenían un mayor nivel de ruido de fondo.

Configuración del Ambiente

En la actividad que se presenta en la Figura 4, se detalla la creación de los Scripts para la transcripción tanto para Google como para Amazon.

Figura 4

Esquema de Configuración del Ambiente



Se creó el Script para la codificación e implementación de la API de Google, el cual permitió realizar las transcripciones de los audios. Para que la comparación esté dentro de los mismos parámetros fue necesario configurar la transcripción resultante, para lo cual se eliminaron todos los signos de puntuación, así como se utilizó un método *lowercase* el cual retornó todas las palabras en minúsculas.

Por otra parte, Amazon permitió realizar las transcripciones desde sus servicios Web (AWS), esta proporcionó un archivo de formato JSON con la transcripción del audio. Para el

análisis del mismo se creó un Script que permitió configurar la transcripción resultante para igualar a los parámetros anteriormente señalados, donde se utilizó un método *replace* para reemplazar los signos de puntuación por espacios en blanco y el método *lowercase* que permitió dejar el texto en minúsculas.

Definición del modelo de calificación

Para medir la efectividad de las transcripciones a texto de los dos servicios antes mencionados se utilizó el cálculo de la tasa de error por palabras (WER). El cual, en primera instancia, tomó un texto de referencia que contenía la transcripción del audio sin ningún error. Posteriormente, se consideró un texto de análisis el cual fue generado a partir de las transcripciones realizadas por los servicios de Google y Amazon. Se compararon los dos textos tomando en cuenta las palabras que fueron eliminadas, cambiadas y añadidas. Este cálculo dio como resultado el porcentaje de error de las transcripciones respecto al texto de referencia. El cálculo del WER se dio bajo la siguiente fórmula:

$$WER = \frac{I + D + S}{N}$$

Donde (I) son las palabras insertadas, (D) son las palabras eliminadas, (S) son las palabras que se sustituyeron y (N) es el total de palabras del texto de referencia.

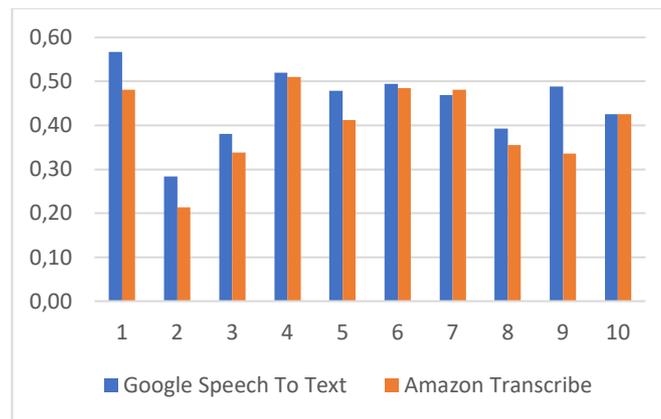
Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados que se obtienen para la tasa de error por palabra (WER) de 10 audios proporcionados por el sistema ECU911, los cuales no contienen ruido de fondo. El índice de WER que logra la API de Amazon Transcribe es menor que el índice que alcanza la API de Google Speech to Text, es decir la API de Amazon es más efectiva al momento de realizar las transcripciones en comparación a la API de Google.

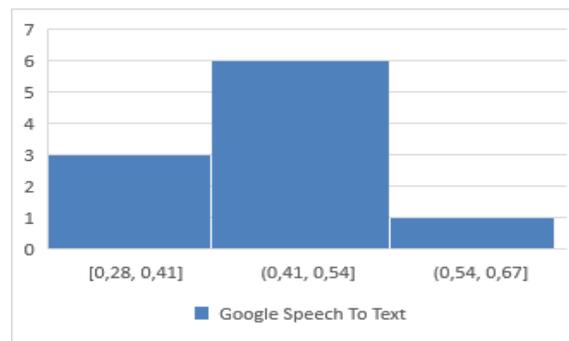
Tabla 1

Resultados de las Transcripciones (Sin Ruido de Fondo)

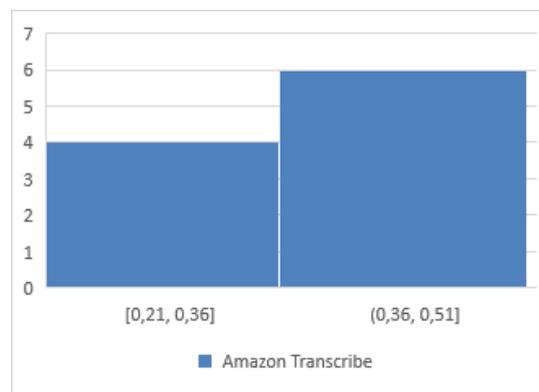
Nombre del archivo	Google Speech to Text	Amazon Transcribe
	WER (%)	
f58a547c-b84b-4d46-b2cfd2d5f21f8d2b	0,57	0,48
f2a3ae7f-aa13-4742-8030-82a274be4405	0,28	0,21
ddd5d0c-4453-4389-b960-fed73caa2bf7	0,38	0,34
d0fa229f-a710-465d-ac3f-d701a05ab071	0,52	0,51
cd82b677-0732-424e-a432-cc039c1eb520	0,48	0,41
9544243b-fc6a-4c1c-b622-c6812828d519	0,49	0,48
91ddd3ad-1ebf-43ca-b628-9f425c83d65b	0,47	0,48
56d63c4d-d64c-4022-bd4e-688c1f3a45b4	0,39	0,36
49bbd185-9b67-4355-b504-600a064f1049	0,49	0,34
45a51110-078a-4e5b-9366-196f4f12c3ce	0,43	0,43
Media	0,45	0,40

Figura 5*Comparación Entre los Dos Sistemas (Sin Ruido de Fondo)*

La Figura 6, presenta un histograma de los resultados que se obtienen de la API de Google Speech to Text de los audios que no presentan ruido de fondo. Se puede observar que existe una frecuencia mayor para los resultados que oscilan entre el 41 y 54 por ciento de WER.

Figura 6*Histograma de las Transcripciones de Google (Sin Ruido de Fondo)*

En la Figura 7, se observa el histograma con los resultados que se obtienen de la API de Amazon Transcribe de los audios que no presentan ruido de fondo, donde se puede observar que la mayor frecuencia se encuentra entre el 36 y 51 por ciento de WER.

Figura 7*Histograma de las Transcripciones de Amazon (Sin Ruido de Fondo)*

La Tabla 2 muestra los resultados que se obtiene para la tasa de error por palabra (WER) de cada uno de los audios del estudio. Se consideran elementos con un ruido de fondo más intenso para observar el comportamiento de las API en diferentes escenarios. El índice WER que se logra por la API de Amazon Transcribe es menor que el índice WER que se obtiene por la API de Google Speech to Text, es decir, la API de Amazon una vez más tiene mayor efectividad al momento de realizar las transcripciones en comparación a la API de Google.

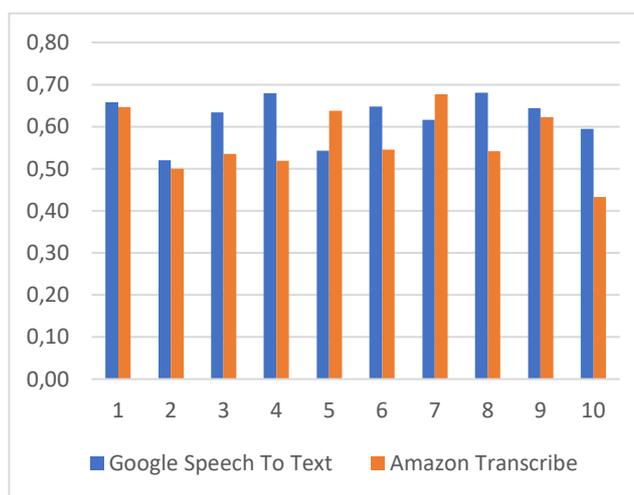
Tabla 2

Resultados de las Transcripciones (Con Ruido de Fondo)

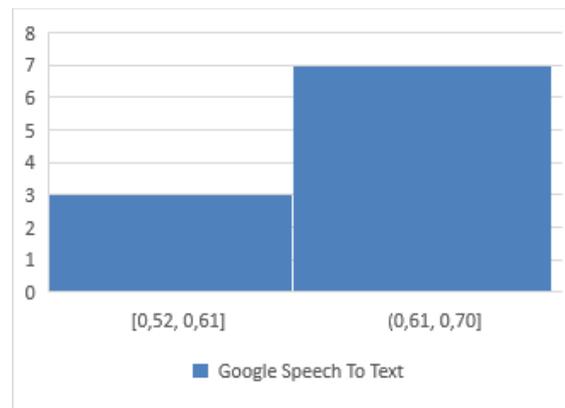
Nombre del archivo	Google Speech to Text	Amazon Transcribe
	WER (%)	
c4095c6e-e4d1-44c2-a03d-6b007269da15	0,66	0,65
cdf112ec-4be5-4aa0-9a8e-b5da95320660	0,52	0,50
ce0685b3-1c76-4e19-ae50-1e59c64d4f98	0,63	0,54
d3d7d6b5-8b04-4778-96d6-98f638fa05c1	0,68	0,52
e185a546-a73f-4dbf-90b7-64c32edfcb74	0,54	0,64
edb78b82-e5af-4892-b429-be2fe23af8be	0,65	0,55
f42dbd3a-890b-4df0-836d-21a6d0216255	0,62	0,68
fa66d704-aacb-4333-a847-03badd6f08f7	0,68	0,54
fa9148cf-5020-4992-b1ab-c59806508da8	0,64	0,62
fc4f4eb-4c21-45d9-ba71-321b0a1b3aab	0,59	0,43
Media	0,62	0,58

Figura 8

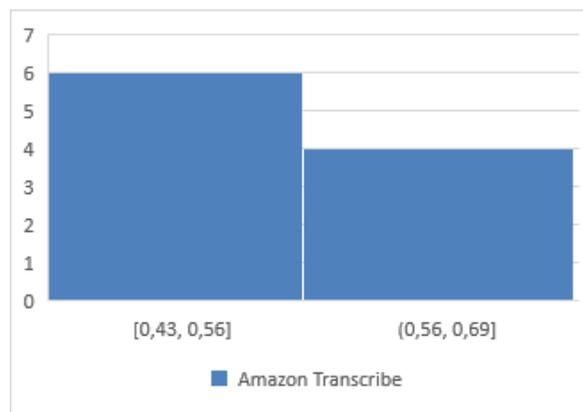
Comparación Entre los Dos Sistemas (Con Ruido de Fondo)



En la Figura 9. Se muestra el histograma de los resultados de la API de Google Speech to Text con audios que contienen ruidos de fondo, donde se puede observar que existe una mayor frecuencia en los resultados del WER que varían entre el 61 y 70 por ciento.

Figura 9*Histograma de las Transcripciones de Google (Con Ruido de Fondo)*

En la Figura 10, se muestra el histograma de los resultados de la API de Amazon Transcribe con audios que contienen ruidos de fondo, donde se puede observar que existe una mayor frecuencia en los resultados del WER que varían entre el 43 y 56 por ciento.

Figura 10*Histograma de las Transcripciones de Amazon (Con Ruido de Fondo)*

Conclusiones

Como parte de las conclusiones se puede identificar consideraciones a tener en cuenta para el procesamiento de los audios, tales como la separación de los canales, problemas de interferencia entre los dos interlocutores y en la codificación de los bits de los audios. Estos aspectos deben ser mejorados para elevar la calidad de los sistemas ASR en tareas de transcripción.

Con base en los resultados del estudio, los servicios de Amazon alcanzan una media de error del 40%, mientras que los servicios de Google alcanzan un 45% de media de error en aquellos audios que no contienen ruido de fondo. En audios con mayor ruido de fondo, los servicios de Amazon vuelven a tener un valor menor de tasa de error con un 58%, en comparación al 62% de los servicios de Google.

Se puede concluir que los servicios de Amazon muestran una mayor eficiencia respecto a los servicios de Google tanto con audios con un nivel de ruido de fondo más alto como en audios con un nivel de ruido de fondo más bajo. El método de evaluación como los resultados

que logra este estudio pueden ser considerados por otros trabajos que se enfoquen a realizar tareas de transcripción automática. Como trabajo futuro se propone buscar técnicas que mejoren la calidad de los audios, que permitan eliminar el ruido y elevar la claridad de la voz para una óptima transcripción.

Se planifica realizar, como próximos pasos, la comparación con otras herramientas tales como Microsoft e IBM. Además, se espera realizar una medición de otros aspectos como los modelos internos de cada uno de los servicios que se estudian, el tipo de redes neuronales que utilizan, análisis de corpus, arquitectura; además, características de calidad tales como: precisión, confiabilidad, eficiencia, entre otros.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad del Azuay por el apoyo financiero y académico, así como a todo el personal de la escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática, y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).

Referencias

- Amazon. (n.d.). *Amazon Transcribe Guía para desarrolladores*. 1–334.
https://docs.aws.amazon.com/es_es/transcribe/latest/dg/transcribe-dg.pdf
- Assefi, M., Liu, G., Wittie, M. P., & Izurieta, C. (2015). An experimental evaluation of Apple Siri and Google Speech Recognition. *24th International Conference on Software Engineering and Data Engineering, SEDE 2015*.
- Assefi, M., Wittie, M., & Knight, A. (2015). Impact of network performance on cloud speech recognition. *Proceedings - International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN, 2015- Octob*. <https://doi.org/10.1109/ICCCN.2015.7288417>
- Filippidou, F., & Moussiades, L. (2020). *A Benchmarking of IBM, Google and Wit*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49161-1>
- IANCU, B. (2019). Evaluating Google Speech-to-Text API's Performance for Romanian e-Learning Resources. *Informatica Economica*, 23(1/2019), 17–25. <https://doi.org/10.12948/issn14531305/23.1.2019.02>
- Kěpuska, V. (2017). Comparing Speech Recognition Systems (Microsoft API, Google API And CMU Sphinx). *International Journal of Engineering Research and Applications*. <https://doi.org/10.9790/9622-0703022024>
- Kodish-Wachs, J., Agassi, E., Kenny III, P., & Overhage, J. M. (2018). *A systematic comparison of contemporary automatic speech recognition.pdf*.
- Mashao, Daniel J, Isaacs, D. (2010). *A Comparison of the Network Speech Recognition and Distributed Speech Recognition Systems and their ect on Speech Enabling Mobile Devices*. February, 1–94.
<https://open.uct.ac.za/handle/11427/11232>
- Microsoft. (2011). *What is the Speech service*.
- Morbini, F., Audhkhasi, K., Sagae, K., Artstein, R., Can, D., Georgiou, P., Narayanan, S., Leuski, A., & Traum, D. (2013). Which ASR should i choose for my dialogue system? *SIGDIAL 2013 - 14th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue, Proceedings of the Conference, August*, 394–403.
- Munot, R., & Nenkova, A. (2019). Emotion impacts speech recognition performance. *NAACL HLT 2019 - 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies - Proceedings of the Student Research Workshop*, 16–21.

<https://doi.org/10.18653/v1/n19-3003>

- Muse, L. P., Martins, P. R., Hojda, A., Abreu, P. A. De, & Almeida, P. C. De. (2020). The role of Urban Control and Command Centers in the face of COVID-19: The case of COR in Rio de Janeiro, Brazil. *2020 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2020*. <https://doi.org/10.1109/ISC251055.2020.9239068>
- Service, C., Sheets, P. D., Levels, S., & Support, T. (2019). *IBM Cloud Additional Service Description IBM Watson Speech to Text Service Levels and Technical Support*. 09, 3–5. [https://www-03.ibm.com/software/sla/sladb.nsf/8bd55c6b9fa8039c86256c6800578854/78a62403a2752f7f862583b3006435bd/\\$FILE/i126-6945-09_03-2019_en_US.pdf](https://www-03.ibm.com/software/sla/sladb.nsf/8bd55c6b9fa8039c86256c6800578854/78a62403a2752f7f862583b3006435bd/$FILE/i126-6945-09_03-2019_en_US.pdf)
- Takashi Kimura, Takashi Nose, Shinji Hirooka, Yuya Chiba, A. I. (2018). *Comparison of Speech Recognition Performance Between Kaldi and Google Cloud Speech API* (Vol. 2).
- Wang, Y. (2019). *Sentiment Analysis of Customer Support Phone Dialogues using Fusion-based Emotion Recognition Techniques*. <https://repository.library.northeastern.edu/files/neu:m044wq01p/fulltext.pdf>
- Yu Dong, L. D. (2015). Automatic Speech Recognition. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 686). https://doi.org/10.1007/978-981-15-7031-5_63

Comparando técnicas de minería de datos en un centro de emergencias

Comparing data mining techniques in an emergency center

Bayron Gutierrez¹, Brandon Llivisaca¹, Andrés Patiño¹ <https://orcid.org/0000-0001-9504-6498>,
Marcos Orellana¹ <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>, Priscila Cedillo^{1, 2} <https://orcid.org/0000-0002-6787-0655>

¹Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador
bgutierrez@es.uazuay.edu.ec, brando@es.uazuay.edu.ec,
andpatino@uazuay.edu.ec, marore@uazuay.edu.ec,
icedillo@uazuay.edu.ec

²Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
priscila.cedillo@ucuenca.edu.ec

Enviado: 2021/07/10

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

El procesamiento del lenguaje natural es un campo dentro de la inteligencia artificial que estudia cómo modelar computacionalmente el lenguaje humano. La representación de palabras a través de vectores, conocida como Word embeddings, se populariza en los últimos años a través de técnicas como Doc2Vec o Word2Vec. El presente estudio evalúa el uso de Doc2Vec en un conjunto de conversaciones recopiladas por el centro de emergencia ECU911, perteneciente al cantón Cuenca de la provincia del Azuay durante el año 2020, con el fin de clasificar los incidentes para que el operador pueda tomar la mejor decisión, en cuanto a las acciones a realizar cuando se presente una emergencia. Además, se compara Doc2Vec con la técnica Word2Vec para verificar su nivel de desempeño tanto en precisión como en tiempo. A base de las pruebas realizadas se concluye que Doc2Vec tiene un desempeño sólido al utilizar modelos entrenados con gran corpus, superando a Word2Vec en este aspecto.

Palabras clave: minería de datos, centro de emergencias, Word2Vec, Doc2Vec, PLN.

Sumario: Introducción, Trabajos relacionados, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Gutierrez, B., Llivisaca, B., Patiño, A., Orellana, M. & Cedillo, P. (2021). Comparando técnicas de minería de datos en un centro de emergencias. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 159-171. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/844>

Abstract

Natural language processing is a field within artificial intelligence that studies how to computationally model human language. The representation of words through vectors, known as Word embedding, has become popular in recent years through techniques such as Doc2Vec or Word2Vec. This study evaluates the use of Doc2Vec in a set of conversations collected by ECU911 emergency center. The purpose was to classify incidents, consequently the operator is able to make the best decision regarding the actions to be taken when an emergency occurs. The data were recorded during 2020, in the emergency center located in Cuenca, Ecuador. In addition, Doc2Vec was compared with the Word2Vec technique to verify its performance level both in terms of accuracy and time. Based on the tests performed, it was concluded that Doc2Vec has a solid performance when using trained models with large corpus, outperforming Word2Vec.

Keywords: data mining, emergency center, Word2Vec, Doc2Vec, PLN.

Introducción

En la actualidad existe una amplia gama de algoritmos que mejoran el comportamiento de muchas tareas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN). También se encuentran varios trabajos relacionados con la identificación de nombres e idiomas, traducción automática, entre otros. Las técnicas de Word Embeddings (WE) codifican los significados de las palabras en espacios vectoriales de baja dimensionalidad, los mismos que se vuelven muy populares en la investigación del PLN (Senel et al., 2018). En este contexto, estas técnicas demuestran ser un mecanismo que facilita la tarea de calcular similitudes entre palabras (Guti & Keith, 2019); además, actúan mediante modelos matemáticos que codifican relaciones de palabras dentro de un espacio vectorial. Estas relaciones se crean mediante un proceso de formación no supervisado, es decir, basado en información de coocurrencia entre palabras en un corpus grande (Heimerl & Gleicher, 2018). Las relaciones codificadas incluyen propiedades semánticas y sintácticas de las palabras (Heimerl & Gleicher, 2018).

El interés por WE despierta gracias al algoritmo Word2Vec, que proporciona una forma eficiente de aplicar WE a partir de grandes corpus basados en el contexto de las palabras y el muestreo negativo (Gomez-Perez et al., 2020). Como consecuencia, Le y Mikolov propusieron Doc2Vec como una extensión de Word2Vec, aplicada a nivel de documento (Lau & Baldwin, 2016).

En términos generales, se puede definir a Doc2Vec como un algoritmo de PLN que incorpora palabras y oraciones, y se basa en representaciones de datos distribuidos y simbólicos denominados modelos de lenguaje de red neuronal (Kim et al., 2020). Además, puede capturar la relación semántica entre documentos de una gran colección de textos de forma eficaz. Este algoritmo aprende la semántica y composicionalidad de los elementos lingüísticos mediante el uso de una arquitectura de aprendizaje profundo. Esta arquitectura neuronal es simple, reduce significativamente el esfuerzo humano y comprime toda la información contextual y estructural en un vector numérico unidimensional (Nath Nandi et al., 2018).

Doc2Vec tiene la ventaja de permitir el análisis rápido de grandes cantidades de datos expresando palabras en el modelo de espacio vectorial y, al mismo tiempo, considerando el contexto (basado en la concurrencia de palabras) durante el aprendizaje (Kim et al., 2020). Sin embargo, dado que Doc2Vec asigna el mismo peso a todas las palabras de un documento, su eficacia se limita a encontrar un vector de palabras general que no expresa bien determinados temas (Kim et al., 2020).

En la actualidad, el Sistema Integrado de Seguridad ECU911 es el encargado de la atención y despacho de emergencias dentro del territorio ecuatoriano (Gobierno de la República del Ecuador, 2019). Los operadores que reciben las llamadas al número 911 utilizan los sistemas de despacho asistido por computadora (CAD) para priorizar y registrar las llamadas de incidentes, identificar el estado del mismo, así como establecer la ubicación de los socorristas en el campo y despachar eficazmente al personal de respuesta (Security & Directorate, 2011). A pesar de ser un sistema compatible con el análisis de incidentes, la clasificación de una llamada en diferentes niveles de emergencia no es automática y depende de varios factores relacionados con el operador, entre los que se encuentran su experiencia, capacitación y normativa interna de la plataforma ECU 911. Debido a la necesidad de mejorar el sistema de clasificación de incidentes, este artículo propone un proceso de clasificación automatizado basado en la técnica Doc2Vec, el mismo que se aplica para el análisis de textos originados por Sistema Integrado de Seguridad ECU911.

Finalmente, el documento está organizado de la siguiente manera. En la Sección I se presenta la introducción, en la Sección II, se describen los trabajos relacionados con el preprocesamiento de texto y se discuten los enfoques presentados por otros autores. Los materiales y métodos para implementar el sistema propuesto y los componentes básicos se analizan en la Sección III. La sección IV exponen los resultados y la discusión. Finalmente, se incluyen las conclusiones.

Trabajos relacionados

Los sistemas de despacho asistido por computadora (CAD) juegan un papel crítico en la respuesta a emergencias y la gestión de las unidades de rescate, sin embargo, aún cuentan con tareas que no están automatizadas como el ingreso de nombres, registro de direcciones y categorización de llamadas (Zhang et al., 2018). Estos procesos se pueden ver afectados por retrasos en la velocidad de escritura de los operadores, ruido de fondo e información incompleta o ambigua proporcionada por el llamante (Blomberg et al., 2019). Con base en estos antecedentes, se analizaron trabajos que involucran el uso de técnicas de PLN en el proceso de atención de llamadas de emergencia. Estas técnicas se utilizan en tareas de lectura y comprensión de audio y texto en grandes cantidades, detectando similitudes y diferencias (Nakata, 2017). Su propósito es el de clasificar y extraer información de forma automática, optimizando el tiempo de atención.

En el estudio de Ganguly y Ghosh (2018), se encuentra un nuevo enfoque de entrenamiento de vectores de palabras, que utiliza los tweets para mejorar las asociaciones entre ellas. En dicho estudio se utiliza un conjunto de datos relacionados a desastres, FIRE-2016. Su objetivo es demostrar que la representación de documentos con suma de vectores de palabras transformadas produce grupos más efectivos que otras técnicas como BOW o la suma de representaciones Word2Vec no transformadas. La efectividad de la clusterización mejora hasta un 14%.

Por otro lado, en la investigación de Dai (2017), se encuentra un método de agrupación basado en Word Embeddings para la clasificación relacionada con la salud, utilizando las redes sociales como fuente de datos. El modelo de WE que se emplea en esta investigación es Word2Vec. Se evalúa el desempeño en términos de precisión y recuperación, y se determina que el umbral más alto consigue una mayor precisión, mientras que el umbral más bajo se tiene una tasa de recuerdo mejor. El algoritmo obtiene simulaciones que demuestran un buen rendimiento y una precisión que alcanza un 87,1%.

Por otra parte, en la investigación de Shao (2019), se utiliza las funciones de Word2Vec y Doc2Vec para un conjunto de tareas de clasificación de textos clínicos. Además, comprueba BOW-1, 2-gram con Word2Vec y se deduce que, en el conjunto más grande de combinación de las seis modalidades es BOW-1, 2-gram que logra un mejor desempeño, mientras que en los conjuntos más pequeños de modalidades individuales, Word2Vec presenta un mejor desempeño en cinco de los seis casos.

En el estudio de Gautam y Basava (2017), se busca la identificación automática y clasificación de ayudas de emergencia en comunidades macro de redes sociales. Se utiliza un modelo que se basa en la formación de vectores de incrustación con la ayuda de preprocesamiento textual y estadístico, aplicando el modelo en un conjunto de datos del terremoto de Nepal, logrando un 6,81% de precisión promedio en 5.250.000 vectores de incrustación.

Por otro lado, en el estudio de Balcerek (2017), se analiza un nuevo enfoque de clasificación de conversaciones telefónicas de emergencia mediante una red neuronal artificial. En dicho estudio se emplea la herramienta Neural Network Toolbox, la misma que detecta casos específicos de emergencias. Esta técnica requiere valores numéricos para sus procesos. En el caso de datos nominales o no numéricos, por ejemplo (nombre de ciudades), se trabaja mediante la asignación de un número único a cada entrada. Finalmente, se presenta un modelo de red neuronal artificial basado en la recolección de llamadas grabadas para identificar la clase a la que pertenecen.

En el estudio de Blomberg (2019), se utiliza aprendizaje automático como herramienta de apoyo para reconocer un paro cardíaco en llamadas de emergencias. En dicho estudio se implementa un marco de aprendizaje automático para identificar un paro cardiorrespiratorio extrahospitalario (OHCA – Por sus siglas en inglés) a partir de grabaciones sin editar de las llamadas de emergencia a un centro de despacho médico. El objetivo del estudio es probar si un marco de aprendizaje automático único puede mejorar la tasa de reconocimiento de OHCA en comparación con la que se obtiene por parte de despachadores capacitados.

En la investigación de Balcerek (2017), se emplea la técnica de WE para representar la historia o anamnesis del paciente. En dicho estudio, utilizan los registros de las historias clínicas de 268,989 pacientes aplicando modelos Word2Vec y BERT. El objetivo de esta investigación es implementar un sistema de recomendación diagnóstica y clasificación de la anamnesis de los pacientes con cáncer. Con Word2Vec obtienen buenos resultados del modelo en textos donde la sintaxis está compuesta principalmente por las siglas de las especialidades.

En conclusión, existen varios métodos en el procesamiento de lenguaje natural para clasificar documentos, los mismos que demuestran resultados positivos en cuanto a la predicción de resultados clínicos o de otros tipos. El presente estudio aborda la implementación de PLN con la técnica de Doc2Vec, la misma que es una extensión de Word2Vec, cuya funcionalidad se enmarca en la captura de las relaciones entre palabras y que, a diferencia de los otros métodos, puede comparar documentos u oraciones completas.

Materiales y Métodos

En este estudio se propone la utilización y comparación de dos métodos de PLN: Word2Vec y Doc2Vec. En Word2Vec se usaron redes neuronales para la predicción de palabras y se consideraron dos técnicas: continuous bag of words (CBOW) y Skip-gram (SG) (Truşcă, 2019). En el caso de CBOW se predijo la palabra actual según el contexto, en tanto que en el modelo Skip-gram se usó una palabra actual para predecir las palabras que la rodean

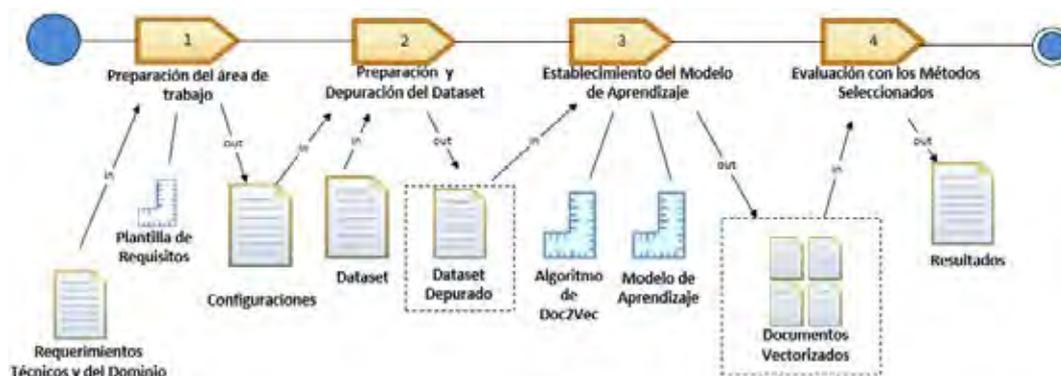
(Mikolov, Chen, et al., 2013). Doc2Vec se propuso como una extensión de Word2Vec que pudo ser igualmente aplicado a un párrafo o documento, es decir, fue independiente de la granularidad. Se buscó maximizar la probabilidad logarítmica media a partir de palabras de entrenamiento w_1, w_2 hasta w_t . Se consideró c como el tamaño del contexto de entrenamiento (Mikolov, Sutskever, et al., 2013).

$$1/T \sum_{t=1}^T \sum_{-c \leq j \leq c, j \neq 0} \log p(w_{t+j} | \omega_t) \quad (1)$$

Para representar el método utilizado en esta implementación se utilizó Software Process Engineering Metamodel (SPEM), el cual es un metamodelo diseñado para describir procesos y sus componentes siguiendo un enfoque de modelado orientado a objetos con base en UML (Bendraou et al., 2008). El diagrama esquemático del enfoque propuesto es representado en la Figura 1. Este proceso se dividió en cuatro tareas: i) preparación del área de trabajo, ii) preparación y depuración del conjunto de datos, iii) establecimiento del modelo de aprendizaje y, iv) evaluación con los métodos seleccionados (i.e., Word to Vec, Doc to Vec). Las entradas se muestran a la izquierda de los procesos y las salidas a la derecha a manera de artefactos.

Figura 1

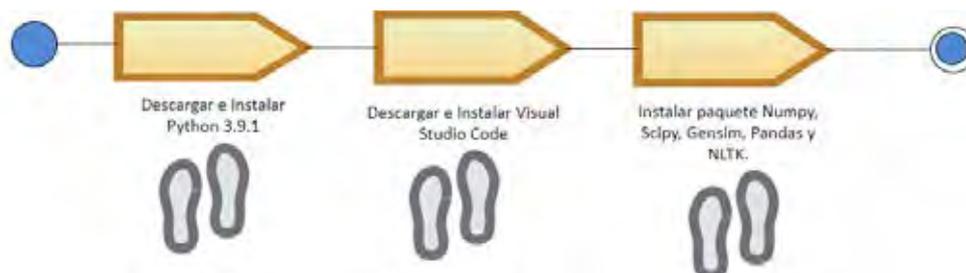
Proceso comparativo Doc2Vec – Word2Vec



Preparación del área de trabajo: La actividad representada en la Figura 2 muestra los pasos realizados para la preparación del área de trabajo. Se ha utilizado como entorno de desarrollo Visual Studio Code y como lenguaje de programación Python. Este lenguaje es ampliamente utilizado en el campo de la Inteligencia Artificial, por contar con varias librerías para su uso.

Figura 2

Preparación del área de trabajo



Se instaló Numpy, que es una biblioteca que da soporte a la creación de vectores y matrices multidimensionales de gran tamaño, junto con una gran colección de funciones matemáticas de alto nivel para operar con ellas (McKinney, 2013). Otro componente adicionado fue el paquete Pandas, el mismo que permite la lectura de archivos con formato delimitado por comas (CSV – por sus siglas en inglés). Se agregó la biblioteca de rutinas numéricas SciPy que proporciona bloques de construcción fundamentales para modelar y resolver problemas científicos, e incluyó estructuras de datos especializadas, como matrices dispersas y árboles k-dimensionales (Virtanen et al., 2020). Adicionalmente, se utilizó la biblioteca Gensim que permite: 1) la indexación de documentos digitales y búsqueda de similitudes; y 2) algoritmos escalables, rápidos y eficientes en memoria para la descomposición de valores singulares y la asignación de Dirichlet latente (Rehurek & Sojka, 2011). Finalmente, se instaló NLTK, la cual es una biblioteca para procesamiento de lenguaje natural y análisis de texto.

Preparación y Depuración del DataSet: Las tareas de preparación y depuración del dataset se ilustran en la Figura 3.

Figura 3

Preparación y Depuración del DataSet



Una vez configurada el área de trabajo, el dataset fue analizado. Los campos se definieron y se seleccionaron aquellos que intervienen en la clasificación, luego se depuró el dataset eliminando ruido y caracteres especiales como: (), [], {}, >, _, =, emoticones, entre otros. También se eliminaron las palabras que no tenían mayor relevancia dentro del contexto de estudio (como pronombres o artículos) sin que aquello signifique la pérdida de la similitud semántica del documento.

Establecimiento del Modelo de Aprendizaje: En esta actividad se incluyen los pasos a realizar para el definir el Modelo de Aprendizaje, con el cual se ejecuta la clasificación de una frase o documento (Figura 4).

Figura 4

Establecimiento del Modelo de Aprendizaje



Una vez preparado y depurado el dataset, se realizó la tokenización; este proceso dividió cadenas de texto más largas en piezas más pequeñas o tokens (Mayo, 2018). Un token es parte de un todo, por lo que una palabra es un token en una oración y una oración puede significar un token en un párrafo. Se ejecutó este proceso por medio del método `word_tokenize()`, el cual invoca a la instrucción `tokenize` para separar las palabras mediante espacios o puntuaciones; luego se utilizó el comando `lower()` para transformarlas en minúsculas

(Figura 5). Se consideró que la complejidad de la tokenización varió según la necesidad de la aplicación de PLN.

Figura 5

Ejemplo de Tokenización en Python

```
def tokenizacion(line):
    for d in line:
        tokenized_doc.append(word_tokenize(d.lower()))
```

Una vez tokenizado el documento, se aplicó el método TaggedDocument, el cual recorrió las listas tokenizadas, y las etiquetó empezando desde el valor cero (Figura 6).

Figura 6

Ejemplo de Etiquetación en Python

```
tagged_data = [TaggedDocument(d, [i]) for i, d in enumerate(tokenized_doc)]
```

Posteriormente se entrenó el Modelo de Aprendizaje, para lo cual se empleó la función Doc2Vec. Una vez que el modelo se entrenó, fue utilizado para la implementación, (Figura 7). Para empezar el entrenamiento se utilizó el método Doc2Vec y se establecieron siete parámetros:

Figura 7

Ejemplo de Doc2Vec en Python

```
model = Doc2Vec(tagged_data, vector_size=20, window=2, min_count=2, workers=4, epochs = 100, dm = 1)
model.save("ModeloEntrenado.model")
```

- tagged_data: documento etiquetado
- vector_size: dimensión de neuronas de la capa oculta y del vector de salida
- window: máxima distancia entre la palabra actual y la pronosticada dentro de una frase
- min_count: ignora palabras que aparecen menos que el valor configurado
- workers: número de threads para entrenar el modelo
- epochs: número de iteraciones sobre el corpus
- dm: define el algoritmo de training. Si dm = 1 significa 'memoria distribuida' (PV-DM) y dm = 0 significa 'bolsa distribuida de palabras' (PV-DBOW). El modelo de memoria distribuida conserva el orden de las palabras en un documento, mientras que la bolsa de palabras distribuida solo utiliza el enfoque de la bolsa de palabras, que no conserva ningún orden de palabras.

Finalmente, para clasificar una frase, se la comparó con los modelos de aprendizaje creados previamente, con lo que se catalogó de acuerdo con el mayor nivel de similitud (Figura 8).

Figura 8

Ejemplo de Clasificación en Python

```
def verificarSimilitud(color, frase):
    # Cargamos el modelo entrenado
    model = Doc2Vec.load(f'modelos/MODELO_{color}.model')
    # Imprimos el modelo de vectorización
    # print(model.wv.vocab)
    # print("\n", frase, "\n")
    test_doc = word_tokenize(frase.lower())
    print("\t", model.docvecs.most_similar(positive=[model.infer_vector(test_doc)], topn=1), "\n")
}
```

Resultados y Discusión

Evaluación con los Métodos

El experimento realiza utilizando la metodología propuesta por (Basili et al., 1986), que tiene los siguientes pasos: i) definición del alcance, ii) planificación del experimento, iii) operación, iv) análisis e interpretación de resultados y v) reporte de resultados. Estos pasos se detallan a continuación:

Definición del alcance

El alcance del experimento es la investigación del rendimiento de los métodos Word2Vec y Doc2Vec, basándose en un conjunto de conversaciones de un centro de emergencia, con el fin de determinar cuál de los dos métodos es el más eficiente al momento de buscar similitudes.

Planificación del experimento

Para realizar la evaluación de los métodos Doc2Vec y Word2Vec, se utiliza un programa que evalúa el porcentaje de similitud y el tiempo de ejecución de cada método utilizando los modelos entrenados anteriormente. La investigación busca responder: i) ¿Qué método es más eficiente en cuánto a similitud? y ii) ¿Qué método es más eficiente en cuánto a tiempo?

Operación

Las conversaciones de un centro de emergencias utilizadas en esta investigación son proporcionadas por Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática – LIDI de la Universidad del Azuay, las cuales son preparadas para PLN. El conjunto de datos consta de 1051 conversaciones de emergencias de los operadores del centro de comando y control ECU 911, las cuales se pueden dividir en cuatro tipos de alertas según su criticidad en: i) verde, ii) amarilla, iii) naranja y iv) roja. Se clasifican las conversaciones que corresponden a cada tipo de alerta (Tabla 1).

Tabla 1

Clasificación de las conversaciones del ECU911

TIPO DE ALERTA	NÚMERO DE CONVERSACIONES
Verde	97
Amarilla	76
Naranja	359
Roja	519
Total	1051

Análisis e interpretación de resultados

Una vez clasificadas las conversaciones se entrenan distintos esquemas, tanto Doc2Vec como Word2Vec, con el propósito de crear modelos de acuerdo con el tipo de emergencia. En la Figura 9 se muestran clusters con los modelos entrenados empleando el método Doc2Vec en donde cada punto representa la vectorización de cada una de las conversaciones, agrupadas por la similitud que tienen entre sí. Se forma un modelo para cada tipo de emergencia.

En cambio, en la Figura 10 se muestran clusters con los modelos entrenados empleando el método Word2Vec en donde cada punto representa la vectorización de cada una de las palabras de las conversaciones, agrupadas por la similitud que tienen con otras. De igual manera, se forma un modelo para cada tipo de emergencia.

Figura 9

Modelos entrenados con Doc2Vec

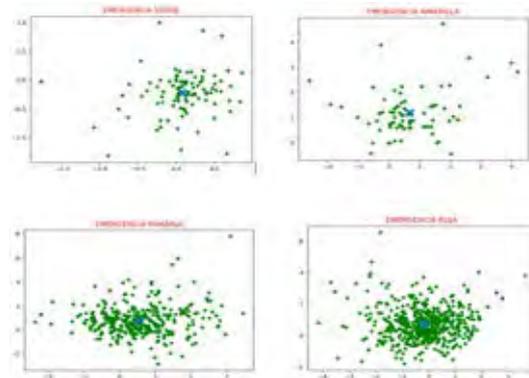
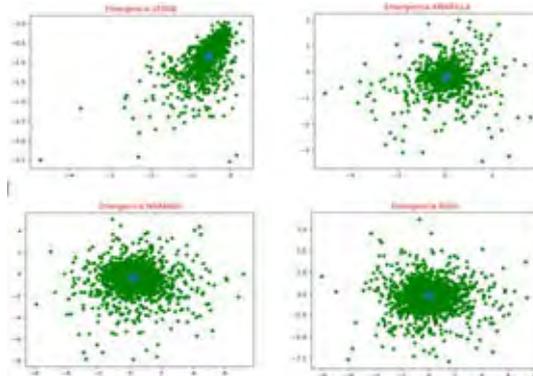


Figura 10

Modelos entrenados con Word2Vec



La Tabla 2 muestra las frases utilizadas para evaluar los modelos creados de Doc2Vec y Word2Vec. Cada frase fue depurada y cada palabra convertida en minúsculas.

Tabla 2

Frases para las pruebas en los modelos de Doc2Vec y Word2Vec

	FRASES A CLASIFICAR
A	amigo llamé hace ratito cuenca cerca camioneta toyota señor está manejando ...
B	buenas tardes hágame favor disculpe quien tengo hablar pasa aquí sector monay ...
C	aquí azogues buenas noches aquí azogues número para llamar policía pasa baile arriba local ...
D	buenas buenos días hablo policía verá pasa barrio totoracocha estoy aquí casa señor llegaron ...

En la Tabla 3 y Tabla 4 se detallan los resultados correspondientes en cuanto a similitud, utilizando los modelos de Doc2Vec y Word2Vec, empleando las frases de la Tabla 2. A continuación se realiza un análisis para predecir, mediante la frase ingresada, a qué tipo de emergencia pertenece.

Tabla 3

Porcentaje de Similitud empleando los modelos Doc2Vec

FRASE	MODELO	% DE SIMILITUD
A	Verde	0,866
	Amarilla	0,721
	Naranja	0,627
	Roja	0,614
B	Verde	0,874
	Amarilla	0,924
	Naranja	0,618
	Roja	0,607
C	Verde	0,796
	Amarilla	0,685
	Naranja	0,962
	Roja	0,611
D	Verde	0,867
	Amarilla	0,867
	Naranja	0,762
	Roja	0,981

Tabla 4

Porcentaje de Similitud empleando los modelos Word2Vec

FRASE	MODELO	% DE SIMILITUD
A	Verde	-0,092
	Amarilla	0
	Naranja	0
	Roja	0
B	Verde	0
	Amarilla	0,163
	Naranja	0
	Roja	0
C	Verde	0
	Amarilla	0
	Naranja	0,498
	Roja	0
D	Verde	0
	Amarilla	0
	Naranja	0
	Roja	-0,072

En la Tabla 5 y Tabla 6 se detallan los resultados correspondientes al tiempo de ejecución, utilizando los modelos de Doc2Vec y Word2Vec y empleando las frases de la Tabla 2. Se realiza un análisis para ver el tiempo de ejecución de cada modelo al ingresar una frase.

Tabla 5*Tiempo de ejecución empleando los modelos Doc2Vec*

FRASE	TIEMPO DE EJECUCIÓN (S)
A	0,173
B	0,161
C	0,114
D	0,105

Tabla 6*Tiempo de ejecución empleando los modelos Word2Vec*

FRASE	TIEMPO DE EJECUCIÓN (S)
A	1,478
B	1,382
C	1,430
D	1.110

Reporte de resultados

A base del análisis efectuado, se obtienen los siguientes resultados:

- El método Doc2Vec resulta más eficaz cuando se analiza la similitud que tiene una frase entre sus modelos entrenados. Esto se debe a que un vector representa una frase del documento utilizado para el entrenamiento, y por lo tanto existe una mayor similitud de resultados en un menor tiempo de ejecución, lo que facilita una mejor clasificación de la frase ingresada ya sea en verde, amarilla, naranja o roja.
- El método Word2Vec no resulta eficaz, dado que busca palabra por palabra en el modelo entrenado. Si el modelo tiene este tipo de búsqueda en que cada vector representa una sola palabra, se dificulta la búsqueda de una frase entera en vectores de palabras y da como resultado un mayor tiempo de ejecución.

Con estos resultados se concluye que el método más eficiente en cuanto a similitud de datos es Doc2Vec. De igual forma, se establece que el método más eficiente en cuanto a tiempo es Doc2Vec, debido a la forma de representar vectorialmente cada texto.

Conclusiones

En este estudio se ha explorado la aplicación de los modelos de aprendizaje automático sin supervisión Word2Vec y Doc2Vec en el Lenguaje de Programación Python. Se implementan modelos enfocados a recomendar una clasificación de los incidentes registrados por el Servicio Integrado de Seguridad ECU911. Se determina que Doc2Vec tiene mejor rendimiento para buscar similitudes en un corpus extenso, en tanto que Word2Vec es capaz de distinguir entre subconjuntos con diferentes proporciones de términos (positivo y negativo).

Para la evaluación se emplea un dataset de 1051 conversaciones de emergencias, sobre las que se aplican procesos de limpieza y depuración, para luego realizar la implementación del modelo y ejecutar las pruebas correspondientes. Como resultado se deduce que a nivel de rendimiento Doc2Vec es mejor al momento de comparar un texto y obtener su similitud, tanto en precisión como en tiempo. En cambio, Word2Vec realiza la vectorización por palabras, lo

que produce una pérdida en la semántica de la oración. En trabajos futuros se espera aplicar diferentes técnicas de PLN partiendo desde el análisis del audio de las grabaciones para luego procesar el texto asociado.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad del Azuay por el apoyo financiero y académico, así como a todo el personal de la escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática, y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).

Referencias

- Balcerek, J., Pawlowski, P., & Dabrowski, A. (2017). Classification of emergency phone conversations with artificial neural network. *Signal Processing - Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Conference Proceedings, SPA, 2017-Septe*, 343–348. <https://doi.org/10.23919/SPA.2017.8166890>
- Basili, V. R., Selby, R. W., & Hutchens, D. H. (1986). Experimentation in Software Engineering. In *IEEE Transactions on Software Engineering: Vol. SE-12 (Issue 7)*. <https://doi.org/10.1109/TSE.1986.6312975>
- Bendraou, R., Combemale, B., Cregut, X., & Gervais, M.-P. (2008). *Definition of an Executable SPEM 2.0*. 390–397. <https://doi.org/10.1109/aspec.2007.60>
- Blomberg, S. N., Folke, F., Ersbøll, A. K., Christensen, H. C., Torp-Pedersen, C., Sayre, M. R., Counts, C. R., & Lippert, F. K. (2019). Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls. *Resuscitation*, 138(October 2018), 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.01.015>
- Dai, X., Bikdash, M., & Meyer, B. (2017). From social media to public health surveillance: Word embedding based clustering method for twitter classification. *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON, Table I*. <https://doi.org/10.1109/SECON.2017.7925400>
- Gobierno de la República del Ecuador. (2019). *Servicio Integrado de Seguridad ECU911*. <https://www.ecu911.gob.ec/>
- Gomez-Perez, J. M., Denaux, R., & Garcia-Silva, A. (2020). A Practical Guide to Hybrid Natural Language Processing. In *A Practical Guide to Hybrid Natural Language Processing*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44830-1>
- Guti, L., & Keith, B. (2019). *A Systematic Literature Review on Word Embeddings (Issue April 2020)*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01171-0>
- Heimerl, F., & Gleicher, M. (2018). Interactive Analysis of Word Vector Embeddings. *Computer Graphics Forum*, 37(3), 253–265. <https://doi.org/10.1111/cgf.13417>
- Kim, S., Park, I., & Yoon, B. (2020). Sao2vec: Development of an algorithm for embedding the subject-action-object (SAO) structure using Doc2Vec. *PLoS ONE*, 15(2), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227930>
- Lau, J. H., & Baldwin, T. (2016). *An Empirical Evaluation of doc2vec with Practical Insights into Document Embedding Generation*. 78–86. <https://doi.org/10.18653/v1/w16-1609>
- Mayo, M. (2018). *Preprocesamiento de datos de texto: un tutorial en Python*. <https://medium.com/datos-y-ciencia/preprocesamiento-de-datos-de-texto-un-tutorial-en-python-5db5620f1767>
- McKinney, W. (2013). Python for data analysis. In J. S. and M. Blanchette (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Melanie Ya, Vol. 53, Issue 9). O'Reilly Media, Inc.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector

- space. *1st International Conference on Learning Representations, ICLR 2013 - Workshop Track Proceedings*, 1–12.
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1–9.
- Nakata, T. (2017). Text-mining on incident reports to find knowledge on industrial safety. *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*. <https://doi.org/10.1109/RAM.2017.7889795>
- Nath Nandi, R., Arefin Zaman, M. M., Al Muntasir, T., Hosain Sumit, S., Sourov, T., & Jamil-Ur Rahman, M. (2018). Bangla News Recommendation Using doc2vec. *2018 International Conference on Bangla Speech and Language Processing, ICBSLP 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICBSLP.2018.8554679>
- Rehurek, R., & Sojka, P. (2011). *Gensim — Statistical Semantics in Python* (Vol. 6611, Issue May 2010).
- Security, H., & Directorate, T. (2011). *Computer Aided Dispatch Systems Computer-aided*. September.
- Senel, L. K., Utlu, I., Yucesoy, V., Koc, A., & Cukur, T. (2018). Semantic structure and interpretability of word embeddings. *IEEE/ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing*, 26(10), 1769–1779. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2018.2837384>
- Shao, Y., Taylor, S., Marshall, N., Morioka, C., & Zeng-Treitler, Q. (2019). Clinical Text Classification with Word Embedding Features vs. Bag-of-Words Features. *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2018*, 2874–2878. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622345>
- Truşcă, M. M. (2019). Efficiency of SVM classifier with Word2Vec and Doc2Vec models. *Proceedings of the International Conference on Applied Statistics, 1*(1), 496–503. <https://doi.org/10.2478/icas-2019-0043>
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., ... Vázquez-Baeza, Y. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
- Zhang, J., Zhang, M., Ren, F., Yin, W., Prior, A., Vilella, C., & Chan, C. Y. (2018). Enable automated emergency responses through an agent-based computer-aided dispatch system. *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS*, 3, 1844–1846.

Implementación del algoritmo K-means para clusterización de señales EEG durante la aplicación de una prueba Stroop

Implementation of the K-means algorithm for clustering of EEG signals during the application of a Stroop test

Paúl Esteban Cárdenas¹ <https://orcid.org/0000-0003-0526-8519>,
Daniela Prado¹ <https://orcid.org/0000-0003-1241-1782>, Bruno Iglesias², Ronnie Urdiales², Marcos Orellana² <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>, Priscila Cedillo^{1, 2} <https://orcid.org/0000-0002-6787-0655>

¹Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
paul.cardenas@ucuenca.edu.ec, daniela.pradoc@ucuenca.edu.ec,
priscila.cedillo@ucuenca.edu.ec

²Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador
biglesias@es.uazuay.edu.ec, rurdiales@es.uazuay.edu.ec,
marore@uazuay.edu.ec, icedillo@uazuay.edu.ec

Enviado: 2021/07/11

Aceptado: 2021/09/28

Publicado: 2021/11/30

Resumen

El análisis de datos y la generación de modelos mediante aprendizaje automático (Machine Learning - ML por sus siglas en inglés) es una de las técnicas más usadas por la comunidad científica para obtener conocimiento que no se puede interpretar o analizar a simple vista. En este documento, se aborda el tema específico de la obtención, procesamiento de datos y modelado de los mismos mediante técnicas de agrupamiento, concretamente el algoritmo de K-Means. Los datos se obtienen a través de una herramienta de interfaz cerebro computador (ICC - BCI por sus siglas en inglés) basada en electroencefalograma (EEG), mientras un sujeto de prueba realiza una tarea de tipo Stroop, la cual permite a los psicólogos evaluar el control inhibitorio de las personas. La aplicación de este tipo de algoritmo en esta área específica, busca poder identificar patrones dentro de las señales EEG relacionados al estado del sujeto. La captura de datos se ejecuta en tres diferentes horas del día, matutina, vespertina, y nocturna, durante dos días consecutivos, con el objetivo de obtener variabilidad en los datos. Si bien la muestra de datos es pequeña, se puede emplear como punto de partida para el análisis del algoritmo K-means en señales EEG durante la ejecución del test Stroop. Los resultados se muestran tanto desde el punto de vista técnico como psicológico, y se puede ver en la

Sumario: Introducción, Trabajos relacionados, Metodología, Resultados, Discusión y Conclusiones.

Como citar: Cárdenas, P., Prado, D., Iglesias, B., Urdiales, R., Orellana, M. & Cedillo, P. (2021). Implementación del algoritmo K-means para clusterización de señales EEG durante la aplicación de una prueba Stroop. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 172-188.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/847>

clusterización realizada con las señales en el dominio del tiempo, que existe un patrón de agrupación según la hora del día en la que se realiza el test. Por otra parte, para la clusterización con las señales en el dominio de la frecuencia este patrón no resulta tan evidente. Desde la perspectiva psicológica, se comprueba que el proceso de aprendizaje y de acomodación al momento de realizar una prueba psicológica, disminuye su potencial.

Palabras clave: aprendizaje automático, electroencefalograma, agrupamiento, evaluación neuropsicológica, Interfaz Cerebro-Computador.

Abstract

Data analysis and model generation through machine learning (Machine Learning - ML) is one of the techniques most used by the scientific community to obtain knowledge that cannot be interpreted or analyzed with the naked eye. In this document, the specific issue of data collection, processing, and modeling is addressed using clustering techniques, specifically the K-Means algorithm. The data were obtained through a brain-computer interface (ICC - BCI) tool based on electroencephalogram (EEG), while a test subject performed a Stroop-type task, which allows psychologists to evaluate people's inhibitory control. The application of this type of algorithm in this specific area seeks to identify patterns within the EEG signals related to the subject's state. Data capture was carried out at three different hours of the day, morning, evening, and night, for two consecutive days, to obtain variability in the data. Although the data sample is small, it will serve as a starting point for analyzing the K-means algorithm in EEG signals during the execution of the Stroop test. The results obtained are shown both from a technical and psychological point of view. It can be seen in the clustering carried out with the signals in the time domain that there is a clustering pattern according to the time of day in which the test was performed. On the other hand, this pattern is not so evident for the clustering with the signals in the frequency domain. From the psychological perspective, it is found that the learning and accommodation process at the time of performing a psychological test decreases its potential.

Keywords: machine learning, electroencephalographic, groping, neuropsychological assessment, Brain-Computer Interface.

Introducción

Desde hace algunos años, la Inteligencia Artificial (IA) es una de las de las herramientas más importantes para el desarrollo de nuevas tecnologías que ayudan a las personas en tareas que, por dificultades físicas o psicológicas endógenas, tienen limitaciones al momento de ejecutarlas (Russell & Norvig, 2004). Debido a la proliferación de la IA, esta se ha dividido en varios subcampos para cubrir la diversidad de aplicaciones que presenta (Ayodele, 2010). Entre ellos está el desarrollo de técnicas de *Machine Learning* (ML), que es uno de los campos más importantes hoy en día, ya que, se basa en la aplicación de técnicas estadísticas como regresiones lineales, regresiones logísticas, entre otras, para la creación de algoritmos mucho más eficientes, con el objetivo de identificar patrones o realizar predicciones sobre un conjunto de datos.

En este contexto, se encuentran dos clasificaciones: algoritmos supervisados y no supervisados. En ambos casos, los algoritmos reciben variables de entrada o *inputs* y pueden o no contener variables de salida. Es decir, la diferencia radica en la presencia o no de variables de salida o *target*. Precisamente en el caso de los algoritmos supervisados se requiere indicar este tipo de variable; mientras que en los algoritmos no supervisados, no se requiere de esta variable. Por lo que este tipo de algoritmos buscan encontrar patrones que permitan entender

el comportamiento de los datos de mejor manera, ya sea con el fin de agruparlos, clasificarlos o realizar predicciones basadas en datos (Nasteski, 2017).

El *Machine Learning* se utiliza en un amplio espectro de contextos (Carvalho et al., 2019), uno de los más relevantes es la aplicación en el área de la salud, y particularmente en el cuidado del paciente (Ben-Israel et al., 2020). Además, en este subcampo de la IA se emplea para el análisis de información del comportamiento humano que sirve como insumo para el desarrollo de modelos de entrenamiento cognitivo (Rennie et al., 2020). Es decir, el *Machine Learning* brinda soporte para el análisis de datos provenientes de la intervención neuropsicológica para el entrenamiento personalizado de las funciones cognitivas (Shani et al., 2019), entendidas como los procesos mentales involucrados en la adquisición de conocimiento, la manipulación de la información y el razonamiento (Montañés & de Brigard, 2011).

Existen distintas funciones cognitivas como la atención, concentración, memoria, lenguaje, razonamiento, control inhibitorio, entre otras (Trápaga et al., 2018). Particularmente, el control inhibitorio es la capacidad que tiene un individuo para controlar reacciones impulsivas tanto a nivel atencional como comportamental, esta función depende principalmente de la corteza pre frontal (Peña Barrientos et al., 2017). A pesar de que Scarpina y Tagini (2017) realizan varias pruebas neuropsicológicas para analizar esta función a lo largo de los años, la técnica predilecta por expertos, y que se mantiene desde el siglo pasado, es el test de Stroop (Stroop, 1935).

Este test atencional tiene la finalidad de tasar la capacidad de un sujeto para resistir la interferencia de tipo verbal. Se trata de una herramienta de tamizaje útil para el diagnóstico de patologías del desarrollo y adquiridas (por ejemplo: Trastorno del espectro autista, traumatismos craneoencefálicos, síndrome de Tourette, trastorno por déficit de atención con hiperactividad). También se emplea para identificar la capacidad del sujeto de dar una respuesta impidiendo la intrusión de un proceso automático, donde la atención selectiva juega un papel fundamental, ya que el ser humano requiere controlar su capacidad atencional orientado a los estímulos de mayor beneficio y adaptación. Esta tarea consiste en indicar el color de la tinta con la que está escrita una palabra que no coincide con su significado, por ejemplo, si se escribe la palabra “azul” aunque está impresa con color verde, produce una interferencia semántica en el cerebro que causa un aumento en la latencia de respuesta verbal del sujeto de prueba.

A partir de la explicación dada, el objetivo de esta investigación se centra en implementar un modelo que agrupe las señales del Electroencefalograma (EEG) que se obtienen durante la ejecución de la prueba Stroop de un sujeto de ensayo con el fin de identificar patrones o características del estado actual del individuo durante la aplicación del test Stroop. Para ello, se plantea el empleo de un algoritmo muy utilizado dentro del *Machine Learning* denominado *K-Means* (Likas et al., 2003), el cual es un algoritmo de aprendizaje no supervisado que pertenece al tipo de algoritmo de agrupamiento o también conocido como *Clustering* (Alqurashi & Wang, 2019). Está claro que dentro del *Machine Learning* existen modelos o algoritmos más potentes que se pueden utilizar en este contexto, sin embargo, se considera este algoritmo debido a que es relativamente de fácil implementación y como una primera aproximación al objetivo de identificar patrones pertenecientes al control inhibitorio en señales EEG.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 presenta estudios relacionados, la Sección 3 introduce la solución y método planteado, la Sección IV explica el caso de estudio donde se aplica la solución y el resultado del análisis de datos, finalmente se expone la conclusión.

Trabajos relacionados

Las formas de evaluación, diagnóstico y predicción del estado de las funciones cognitivas, y particularmente, del control inhibitorio, avanzan de manera acelerada los últimos años (Emerenziani et al., 2020). Gracias a esto, se combinan metodologías de investigación de las ciencias sociales, médicas y técnicas; con el objetivo de que los estudios sean más exactos y que varias disciplinas se puedan juntar en una misma investigación para comprender, de mejor manera, los fenómenos humanos (Onwuegbuzie & Leech, 2005).

Priya et al. (2020) realizan un estudio en el que se predicen variables de condiciones psicológicas como la depresión, ansiedad y estrés mediante *Machine Learning*, específicamente árboles de decisión y algoritmos de Naive-Bayes. Ellos no consideran dividir los factores psicológicos en niveles o tipos, solo detectan la presencia o ausencia de alteraciones cognitivas. Se puede resaltar que los autores consideran que, en algunas ocasiones, los algoritmos de *Machine Learning* dan falsos positivos o falsos negativos, frente a ello, desarrollan un algoritmo que detecta estos falsos resultados, haciendo que el sistema sea mucho más eficiente.

Por otra parte, Wang et al. (2018) desarrollan un sistema para detectar la ansiedad usando un casco para la interacción cerebro computador (*Brain Computer Interface – BCI*) mediante la captura de señales EEG del sujeto. Medina et al. (2018) por su parte, depuran las señales con técnicas específicas y; posteriormente, desarrollan un sistema que detecta el nivel de atención del sujeto evaluado y predice cuantitativamente, por los diferentes picos que existen en determinadas señales, si el sujeto evaluado tiene ansiedad; esto resulta útil porque hay muy poco margen de error utilizando estas técnicas.

Kaneta et al. (2016) investigan la influencia del efecto Stroop en la onda cerebral, específicamente en los potenciales relacionados con eventos (ERP – por sus siglas en ingles). Para ello hace uso de la técnica de agrupamiento máquina de vector de soporte (*Super Vector Machine – SVM*), mediante la cual clasifican a las señales en dos grupos dependiendo si el estímulo es dirigido o no dirigido.

How et al. (2015), realizan la implementación de un clasificador mediante SVM, con el objetivo de clasificar los niveles de estrés en las señales EEG. Para esto utilizan la prueba Stroop como factor estresante. En sus resultados logran clasificar en cuatro niveles de estrés con una precisión media del 67,06%, en 3 niveles con una precisión del 75,22% y en dos niveles de estrés con una precisión del 85,71%.

Lim et al. (2016) analizan el estrés cognitivo en las señales EEG de 25 sujetos durante la aplicación del test Stroop. Para esto aplican tres técnicas o algoritmos como son: redes neuronales artificiales, k-Nearest Neighbor (KNN – por sus siglas en ingles) and Linear Discriminant Analysis (LDA – por sus siglas en ingles). Sus resultados les permiten identificar que el algoritmo que tiene mejor rendimiento es el KNN.

Como se puede observar, se realizan diferentes estudios respecto al análisis de señales EEG durante la aplicación del test Stroop, con el objetivo de clasificar o predecir distintas condiciones psicológicas (Al-Nafjan et al., 2017; Priya et al., 2020). Sin embargo, muchos de ellos se centran en la detección del estrés, siendo necesario investigar otros estados mentales o funciones cognitivas que puedan producirse durante la aplicación de este test (Popov et al., 2018). A partir de una indagación previa, se comprueba que no existe una investigación centrada en el análisis de señales EEG para determinar patrones del estado mental que se puedan relacionar al control inhibitorio. Por lo tanto, este artículo se centra en la

implementación del algoritmo *K-Means*, con el objetivo de que, mediante la toma de datos de las señales EEG de un sujeto durante la ejecución del test Stroop, se genere un agrupamiento que permita identificar patrones en las señales EEG capturadas en las diferentes fases del test y sesiones realizadas, para contrastarlos con los datos tomados de forma manual.

Metodología

La metodología de investigación seleccionada para la presentación de esta investigación es la propuesta por Runeson et al. (2012) que implica la delimitación de estudios de caso. A continuación se explican los pasos empleados: A) diseño y planificación, B) consideraciones éticas, C) preparación y recolección de datos, D) análisis e interpretación de los resultados, E) amenazas a la validez. Sin embargo, en este apartado a fines metodológicos se presentan los pasos A, B y C; dejando los pasos D y E para la sección 4. Resultados.

Diseño y planificación

El objetivo central de este estudio se presenta por medio de la propuesta *Goal Question Metric* (GQM) de Basili et al. (1994), ya que se puede plasmar de manera objetiva lo que se requiere evaluar por medio del estudio de caso (Tabla 1).

Tabla 1

Aproximación GQM

Analizar:	Patrones de las señales EEG relacionados al estado actual del sujeto durante la ejecución de la tarea tipo Stroop verbal.
Con el propósito:	Generar clusters de los patrones encontrados que proporcionen información de utilidad clínica.
Con respecto a:	Sujeto de estudio adulto sin precedentes de neuropatología.
Desde el punto de vista de:	Técnico.

Consideraciones éticas

Aunque un estudio de investigación se basa principalmente en la confianza entre el investigador y el caso (Amschler & Pradhan, 2001), se consideran algunas medidas de prevención explícitas para evitar problemas futuros relacionados con el bienestar del participante. Los principales factores éticos incluidos en este estudio de caso son: i) consentimiento informado, ii) revisión de la aprobación de un comité de bioética, iii) confidencialidad y iv) retroalimentación de los hallazgos.

Preparación y recolección de datos

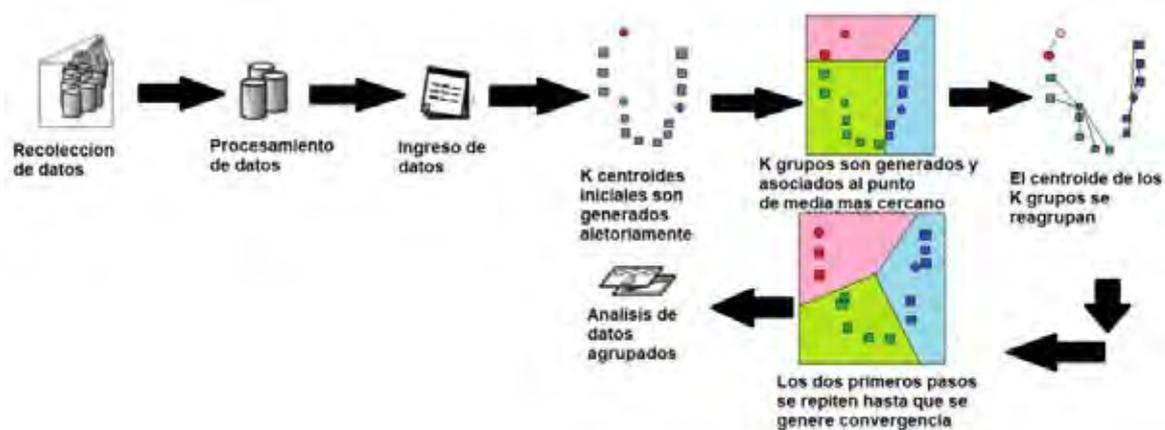
A continuación, se explica la metodología que orienta a la obtención de datos para esta investigación, esta corresponde a la propuesta de Fayyad et al. (1996) titulada *Knowledge Discovery in Databases* (KDD), que se refiere al proceso general de descubrimiento de conocimiento útil a partir de datos. Para garantizar que se deriven conclusiones útiles, se efectúan pasos como la preparación, selección y limpieza de datos. Además de la incorporación de conocimientos apropiados y la interpretación adecuada de los resultados de la minería.

En la Figura 1 se presentan los pasos para la recolección de los datos, clusterización a partir de la aplicación del algoritmo *K-Means* y análisis de los clusters encontrados. La ventaja de utilizar este procesamiento, radica en que este es un proceso no trivial de identificar patrones válidos, novedosos, potencialmente útiles y, en última instancia, comprensibles en los datos.

Los datos obtenidos del EEG, con los que se entrenó el modelo, se recolectaron mediante un casco BCI basado en EEG. La captura de los datos se la realizó en un solo sujeto mientras ejecutaba la prueba Stroop, en seis sesiones diferentes distribuidas en dos días, en tres períodos de tiempo: al despertar, al medio día y antes de dormir.

Figura 1

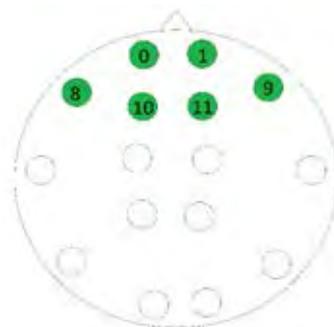
Pasos que constituyen el proceso KDD (Fayyad et al., 1996)



Específicamente, se utilizó un casco OpenBCI, con una placa “Cyton Boisensing Board + Daisy”, la cual permitió trabajar con 16 canales con electrodos secos no invasivos. Para visualizar los datos en tiempo real se utilizó la interfaz de usuario del software de OpenBCI (Suryotrisongko & Samopa, 2015), la cual permitió guardar el archivo de datos tanto en formato de texto (.txt), como en formato europeo de 24 bits (.bdf). Para este estudio, se utilizó el archivo de texto, ya que permitió analizar de forma simple las señales para los objetivos planteados. El archivo se organizó en columnas que corresponden a cada uno de los canales utilizados para el registro, en este caso se emplearon 6 canales posicionados en la corteza prefrontal, correspondientes a los electrodos 0, 1, 8, 9, 10, y 11, como se puede observar en la Figura 2. Esta selección de canales se la realizó, ya que es en la corteza prefrontal donde se podría evidenciar con mayor claridad la actividad de control inhibitorio en las señales cerebrales del sujeto. Por otra parte, en las filas se mostraron los potenciales en micro voltios de cada uno de los registros realizados en el tiempo, con una frecuencia de 125 Hz.

Figura 2

Distribución de los electrodos en la corteza cerebral

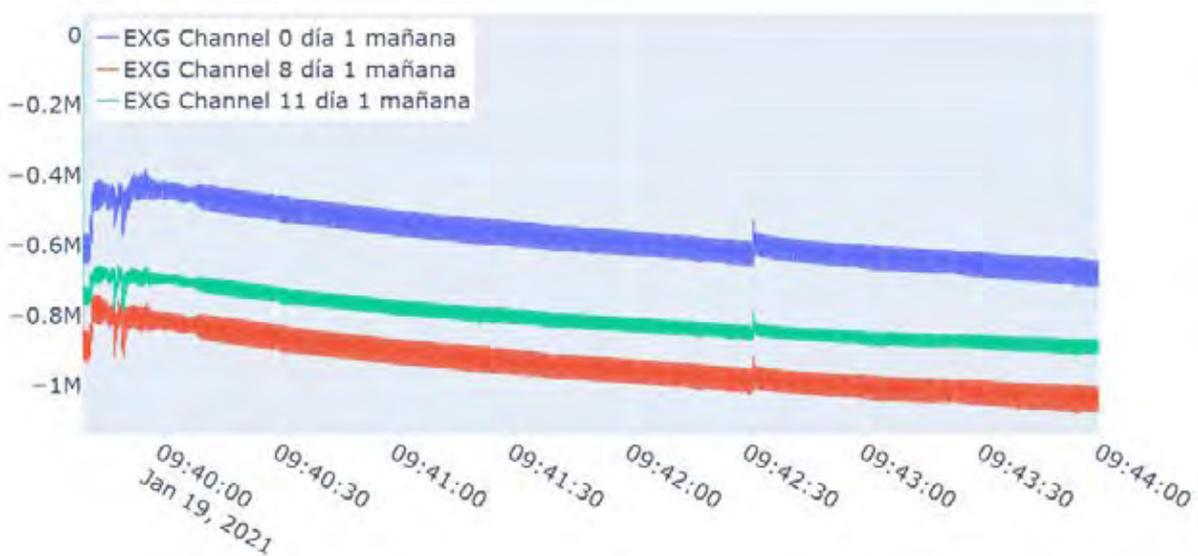


Para el preprocesamiento de los datos se emplearon diferentes librerías en Python, como Pandas, Numpy, Plotly, entre otras. Para utilizar el conjunto de datos en un modelo como *K-Means*, primero fue necesario realizar un análisis y preprocesamiento, lo cual permitió

desarrollar una correcta extracción de características de las señales capturadas. Para este estudio se analizaron las señales EEG tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, lo que dio paso a la identificación de la existencia de frecuencias no deseadas. El análisis se lo efectuó para cada uno de los canales de las seis sesiones realizadas. En la Figura 3 se puede observar un ejemplo de las señales captada por los seis canales durante la sesión de la tarde del día uno en el dominio del tiempo.

Figura 3

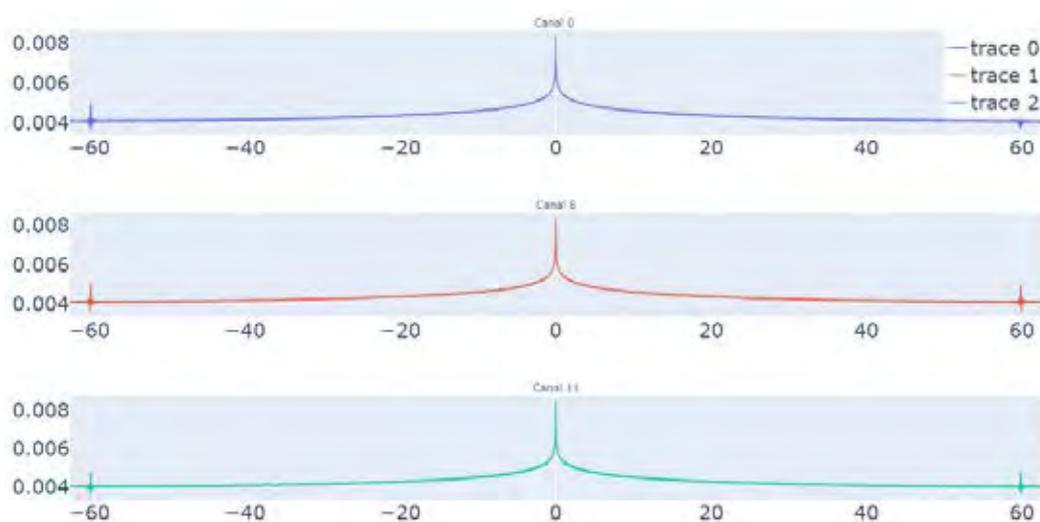
Señales en el dominio del tiempo de la sesión de la tarde en el día 1



Para realizar el análisis en el dominio de la frecuencia, se utilizó la transformada rápida de *Fourier* (FFT). La Figura 4 muestra un ejemplo de las señales captada por los seis canales durante la sesión de la tarde del día uno en el dominio de la frecuencia.

Figura 4

Señales EEG en el dominio de la frecuencia

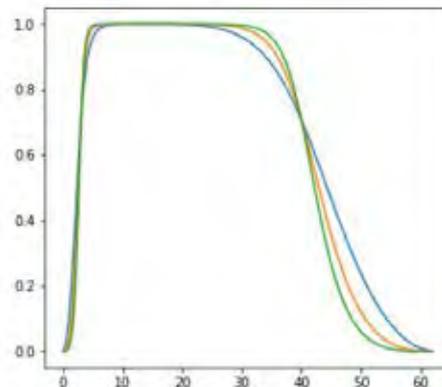


Después del análisis realizado, como se puede ver en la Figura 4, el espectro de frecuencia de las señales presentó un pico en frecuencias bajas cercanas a cero Hz, por lo que se aplicó un filtro paso banda entre tres y 40 Hz. Como se puede ver en la Figura 5, con el fin

de eliminar frecuencias atípicas que puedan representar ruido o niveles muy bajos de frecuencia correspondientes a ondas delta, y a su vez tener una mejor visualización de las bandas Theta, Alpha y Beta, ya que estas son las que contendrían mayor información respecto al control inhibitorio en la actividad cerebral del sujeto.

Figura 5

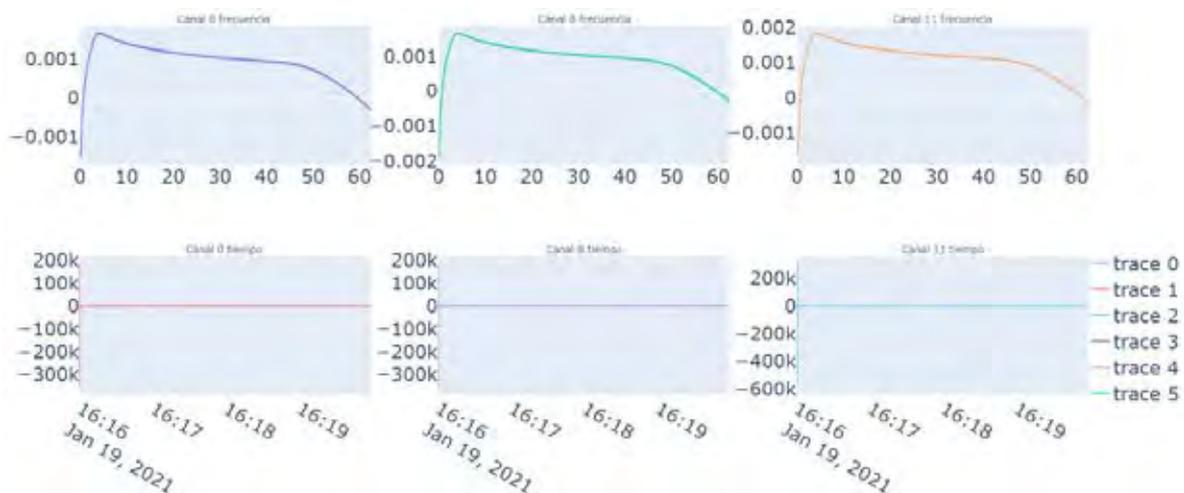
Filtro pasa banda aplicado a las señales EEG



En la Figura 6, se puede ver un ejemplo de tres de las señales capturadas por los seis canales durante la sesión de la tarde del día uno, filtradas en el dominio de la frecuencia y del tiempo. Además, se han atenuado las frecuencias cercanas a cero y se puede visualizar de mejor manera las frecuencias superiores correspondientes a las bandas de interés antes mencionadas.

Figura 6

Señales filtradas en el dominio de la frecuencia y tiempo



Para la implementación del algoritmo *K-Means*, se realizaron dos pruebas en el primer caso, con los datos en el dominio del tiempo, y en el segundo caso en el dominio de la frecuencia. En el primer caso, las características o columnas a utilizar, fueron de cada uno de los canales seleccionados previamente, y las filas cada una de las muestras tomadas a lo largo del tiempo, concatenando una sesión tras otra en orden cronológico. Por otra parte, en el segundo caso, para reducir la dimensionalidad de los datos en el dominio de la frecuencia, se realizó el cálculo y selección de características principales de las señales EEG capturadas. Entre las principales características utilizadas en este caso, se hizo uso de la densidad espectral de potencia, densidad relativa de potencia, potencia máxima de frecuencia, potencia mínima de

frecuencia, media de la potencia de la frecuencia, y finalmente la varianza y covarianza de la frecuencia.

Una vez que se obtuvo la tabla final con los datos procesados, tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, se realizó la normalización de los valores numéricos, para así obtener un mejor desempeño del algoritmo. En este estudio, debido a la poca cantidad de datos recabados, se utilizó el 100% del set de datos para realizar el agrupamiento mediante el algoritmo de *K-Means*.

Como ya se mencionó anteriormente, este estudio se enfoca en las bandas Theta, Alpha, y Beta, en la Figura 7 se puede observar un ejemplo de cómo están distribuidas las bandas de frecuencias en las señales ya filtradas que se utilizaron para entrenar el algoritmo. De igual manera en la Figura 8 se puede ver la densidad espectral de potencia de uno de los canales de las señales EEG a ser utilizadas para entrenar el algoritmo, en azul se puede ver las frecuencias a ser utilizadas para este estudio.

Figura 7

Bandas de frecuencias de las señales a ser utilizadas para entrenar el algoritmo

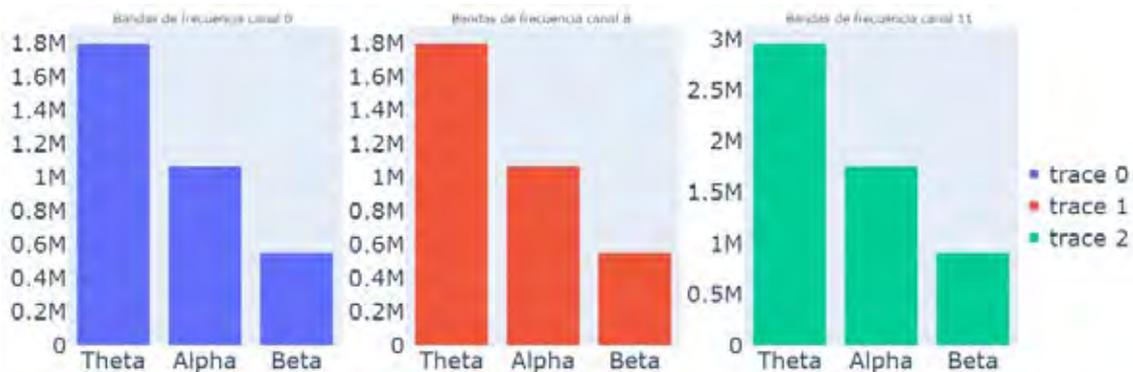
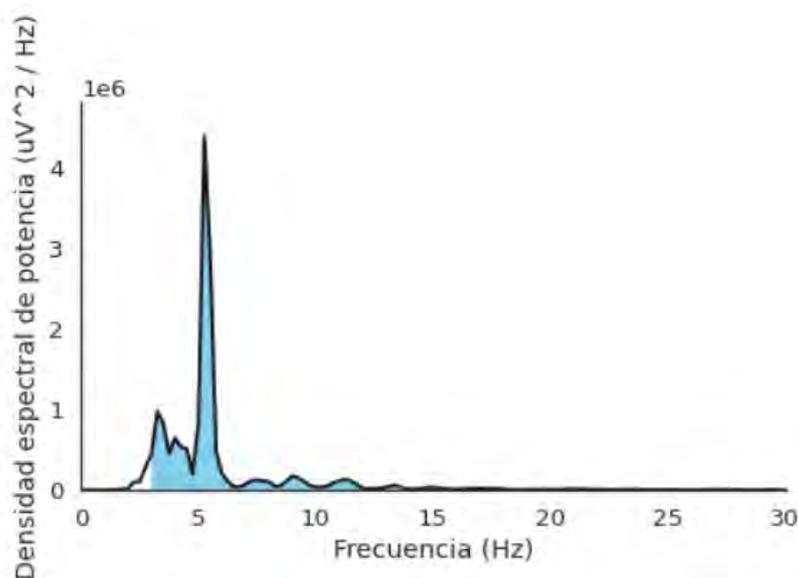


Figura 8

Densidad espectral de potencia de las señales a ser utilizadas para entrenar el algoritmo



Resultados

A continuación, se presenta la implementación del algoritmo *K-means* y el análisis de datos agrupados y las amenazas a la validez.

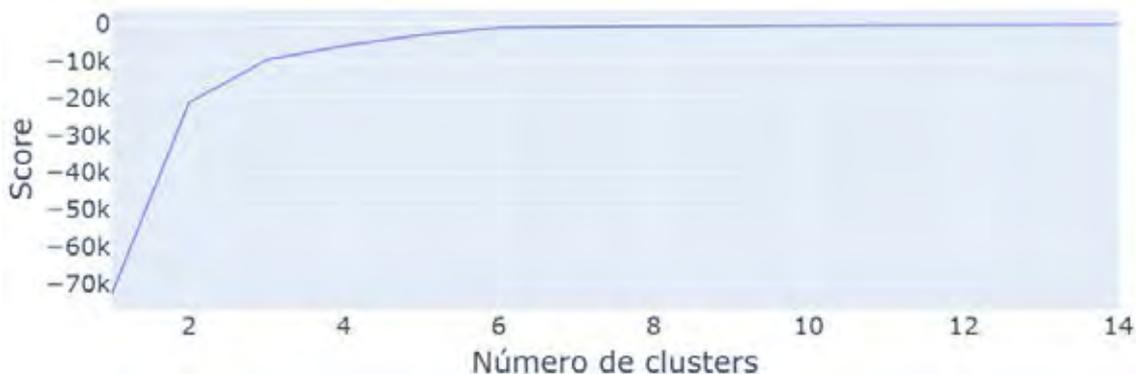
Análisis de datos agrupados

Para ejecutar el algoritmo de *Clustering*, se utilizó la librería *Sklearn* de *Python*, por razones de afinidad tanto con la librería como con el lenguaje de programación.

El algoritmo, en un primer caso, recibió como entrada el conjunto de datos de EEG, en este proceso, los seis canales en el dominio del tiempo seleccionados y preprocesados previamente. Como métrica de evaluación y para una elección adecuada del número de clústeres a realizar, se utilizó el método del codo, el cual empleó la distancia media de las observaciones a su centroide, es decir, se fijó en las distancias intra clúster, si el número de clústeres se incrementa, la varianza intra clúster tiende a disminuir. De acuerdo a la gráfica obtenida, como se puede ver en la Figura 9, se tiene que el número ideal de clústeres está entre dos a seis, para el caso de las señales en el dominio del tiempo.

Figura 9

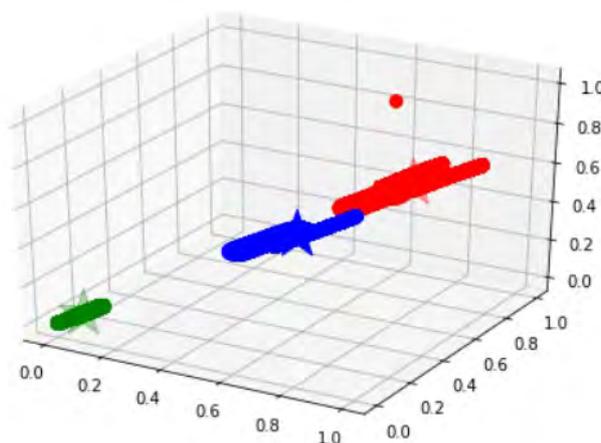
Gráfica de codo para los datos en el dominio del tiempo



Después de varias pruebas y análisis realizadas con diferentes valores de k clústeres, se estableció que tres es el número adecuado de clústeres. En la Figura 10 se puede ver el resultado de la clusterización realizada en tres dimensiones.

Figura 10

Clusterización con las señales en el dominio del tiempo



En un segundo caso, el algoritmo recibió como entrada los datos de las características principales extraídas de los canales en el dominio de la frecuencia seleccionados y preprocesados, mencionados previamente. Al igual que en el primer caso, como métrica de evaluación y para una elección adecuada del número de clústeres a realizar, se utilizó el método del codo. De acuerdo a la gráfica obtenida, como se puede ver en la Figura 11, se tiene que el número ideal de clústeres está entre dos y ocho, para el caso de las señales en el dominio de la frecuencia. Esto sucede posiblemente, porque en este dominio, se pudo detectar algunas señales en el espectro de frecuencia atípicas con respecto al resto de canales, principalmente de la sesión del día uno en la mañana. Otro aspecto importante a mencionar, es que el número de muestras disminuyó a 36, ya que al realizar el proceso de extracción de características en el dominio de la frecuencia, cada una de las señales capturadas correspondían a una muestra, mientras que las características extraídas a las dimensiones. Esto por un lado ayudó a que el rendimiento del algoritmo sea mejor, sin embargo, la poca cantidad de muestras utilizadas pueden representar un inconveniente para la obtención de resultados adecuados.

Figura 11

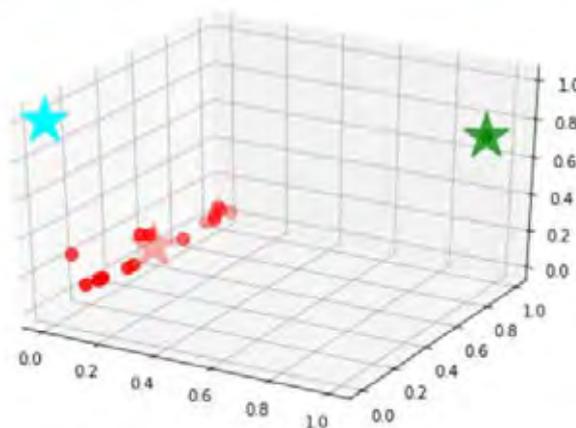
Gráfica de codo para los datos en el dominio de la frecuencia



Después de varias pruebas y análisis realizados con diferentes valores de k clústeres, se estableció que el número ideal de clústeres, con el fin de identificar similitudes con la clusterización realizada en el dominio del tiempo. En la Figura 12 se puede ver el resultado de la clusterización elaborada en tres dimensiones.

Figura 12

Clusterización con las señales en el dominio de la frecuencia



Los resultados obtenidos después de la clusterización se analizaron con base en tres características: i) hora del día (mañana, tarde, noche), ii) día (día 1, día 2), e ii) interferencia (baja, media, alta), esta última establecida según los valores calculados más adelante, obtenidos en la realización del test.

De acuerdo a esto en la Tabla 2 se puede observar la distribución de los resultados obtenidos mediante los dos casos de clusterización.

De acuerdo con estos resultados, se puede evidenciar que en la clusterización, en el dominio del tiempo, existe una mejor distribución de los datos, ya que se logra distinguir claramente que el algoritmo ha separado a las señales casi de manera perfecta según la hora del día en la que fueron capturadas, sin embargo, en relación tanto al día como a la interferencia, no se encontraron mayores diferencias entre clústeres ya que los porcentajes se distribuyen de manera similar.

En cuanto a la segunda clusterización, en el dominio de la frecuencia, los resultados no evidencian una clara distribución de los datos, ya que los porcentajes son similares para cada clúster, esto puede deberse a la poca cantidad de datos obtenidos, se puede probar a futuro el algoritmo en este dominio con un espectro mucho más amplio de datos y con más sujetos de estudio.

Tabla 2

Porcentaje de la distribución de los datos en los clústeres realizados a base de tres características analizadas

CLUSTERIZACIÓN EN EL DOMINIO DEL TIEMPO				CLUSTERIZACIÓN EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA			
JORNADA	CLUSTER 1 (ROJO)	CLUSTER 2 (VERDE)	CLUSTER 3 (CELESTE)	JORNADA	CLUSTER 1 (ROJO)	CLUSTER 2 (VERDE)	CLUSTER 3 (CELESTE)
Matutina	34,56%	0,00%	0,00%	Matutina	27,78%	2,78%	2,78%
Vespertina	17,72%	14,73%	0,00%	Vespertina	27,78%	0,00%	5,56%
Nocturna	0,00%	0,00%	32,98%	Nocturna	27,78%	0,00%	5,56%
DÍA							
DÍA	CLUSTER 1 (ROJO)	CLUSTER 2 (VERDE)	CLUSTER 3 (CELESTE)	DÍA	CLUSTER 1 (ROJO)	CLUSTER 2 (VERDE)	CLUSTER 3 (CELESTE)
1	37,03%	0,00%	18,45%	1	41,67%	2,78%	5,56%
2	15,25%	14,73%	14,54%	2	41,67%	0,00%	8,33%
INTERF.							
INTERF.	CLUSTER 1 (ROJO)	CLUSTER 2 (VERDE)	CLUSTER 3 (CELESTE)	INTERF.	CLUSTER 1 (ROJO)	CLUSTER 2 (VERDE)	CLUSTER 3 (CELESTE)
Baja	0,00%	0,00%	18,45%	Baja	41,67%	0,00%	8,33%
Media	327,03%	0,00%	0,00%	Media	27,78%	2,78%	2,78%
Alta	15,25%	14,73%	14,54%	Alta	13,89%	0,00%	2,78%

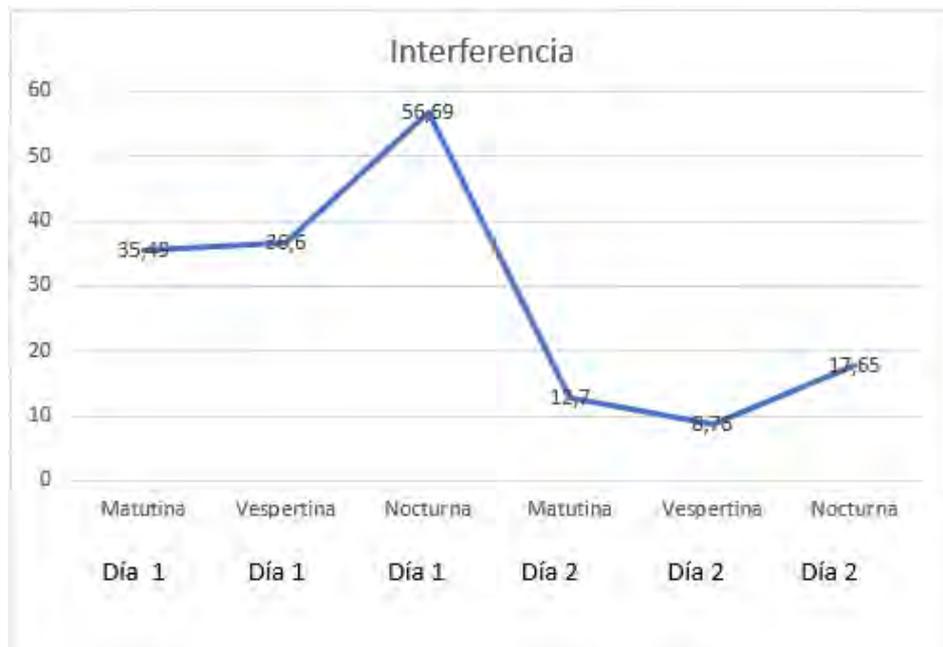
La Figura 13, presenta los resultados calculados según indica el manual de Scarpina & Tagini (2017), para ello, se emplearon los cálculos presentados en la Figura 14 (Stroop, 1935).

Como se ve en la Figura 14, existen cinco variables que se utilizan para obtener el valor de la interferencia, las cuales son:

- P: número de palabras leídas en la primera fase del test
- C: número de colores leídos en la segunda fase del test
- PC: número de palabras leídas en la tercera fase del test
- PC': Valor obtenido de la división entre la suma y el producto del valor de P con el valor de C
- Interferencia: Valor obtenido de la diferencia entre el valor de PC y el valor de PC'

Figura 13

Comparación de la interferencia en los días de prueba

**Figura 14**

Fórmula utilizada para el cálculo de la interferencia al realizar la prueba de tipo Stroop (Stroop, 1992)

	PD	PT
P		
C		
PC		
$\frac{P \times C}{P + C} = PC'$		
$PC - PC' = \text{INTERF.}$		

Amenazas a la validez

En los procesos de evaluación empírica existen cuatro tipos de amenazas a la validez que son necesarios señalar: i) validez de constructo, ii) validez interna, iii) validez externa y iv) fiabilidad.

Validez de constructo

La validez de constructo se centra en la relación entre la teoría detrás del caso de estudio y la observación. Para ello, se considera dos propuestas teóricas validadas. Por un lado el efecto

Stroop (1935) que ha sido validado estadísticamente por la comunidad científica para la valoración del estado de control inhibitorio y atención selectiva; además, el algoritmo *k-means* que ha sido demostrado matemáticamente (Xin, 2011).

Validez interna

La validez interna está relacionada con la calidad de los resultados del estudio. En este estudio de caso, se cuenta con información limitada para el análisis; por lo tanto, el resultado de la clusterización puede presentar imprecisiones; por ello, se procede a calificar los resultados de manera manual, para contrastar la información.

Validez externa

La validez externa está relacionada a la capacidad de generalización de los resultados obtenidos. En este estudio de caso, al contar con información de un solo sujeto, los resultados son poco generalizables. Sin embargo, el estudio sirve como una primera aproximación a la aplicación de tecnología a este tipo de herramientas psicológicas, puntualmente algoritmos de machine learning que permitan identificar patrones en los datos, y sirvan como soporte a la intervención de un psicólogo o personal de la salud.

Fiabilidad

El test Stroop tiene un alfa de Cronbach de 0.76, lo que significa que es un instrumento confiable para medir el control inhibitorio (Eliorraga, 2017).

Discusión

En este apartado, se presenta la discusión desde dos puntos de vista; por un lado, el técnico que visibiliza las fortalezas y limitaciones del estudio; por otro, desde el punto de vista psicológico y las implicaciones clínicas que este tipo de herramientas tienen para los profesionales de la salud cognitiva.

Desde el punto de vista técnico

La aplicación de algoritmos de agrupamiento a señales EEG ayudan a identificar patrones y relaciones con ciertas tareas que realiza un sujeto, como en este caso el teste Stroop. En este sentido el algoritmo implementado permite ver ciertas relaciones en los clústeres obtenidos con las señales en el dominio del tiempo, respecto a los horarios de realización del test, de esta forma se puede plantear la interrogante si el horario en el que un sujeto realiza el test influye en sus resultados o en el comportamiento de sus ondas de la corteza prefrontal. Por otro lado, la clusterización con las señales en el dominio de la frecuencia no muestra resultados del todo óptimos, esto debido a la poca cantidad de datos recabados para analizar las señales en este dominio, que por lo general permite obtener mayor información de las señales que en el dominio del tiempo.

Sin embargo, el obtener los modelos en este estudio, es un aporte a las pruebas del procesamiento de las señales y la extracción de características de las mismas, así como identificar los factores que influyen en la existencia de un modelo de clusterización en este dominio. Esto a su vez, da la pauta para una siguiente investigación, en la que se prueben los modelos planteados con un conjunto de datos mucho más robusto.

Desde el punto de vista psicológico

Los resultados que se derivan de la aplicación del test Stroop a un sujeto sin patología severa, denota que, en el segundo día, tal y como lo muestra la Figura 13, presenta un proceso de adecuación y aprendizaje de la tarea, por lo que, el efecto Stroop pierde fuerza. Además, se puede observar cómo la interferencia es mayor en el horario nocturno, es decir, se comprueba

que la capacidad del ser humano para inhibir o controlar las respuestas impulsivas (o automáticas), y generar respuestas mediadas por la atención y el razonamiento se reduce cuando existen factores como el cansancio o fatiga de la jornada laboral (MacLeod, 1991; Stroop, 1935). Todo esto, se comprueba con los hallazgos representados en la Tabla 1, particularmente en la clusterización. En el dominio del tiempo brinda información relevante, se observa que, el clúster uno concentra datos que corresponden a la jornada matutina, mientras que en el tres está la vespertina.

Tomando en cuenta que la media de interferencia para personas de entre 16 a 44 años oscila desde 30 a -30 (Stroop, 1935), en el día uno, el sujeto supera la media en interferencia, y que en el día dos se encuentra justo a la mitad. Cabe recalcar que, mientras menos interferencia presente el sujeto al realizar la prueba de Stroop la función cognitiva del control inhibitorio está conservada.

Conclusiones

En este trabajo se describe un proceso para implementar un agrupador de señales EEG, el mismo que fue realizado mediante Python usando el algoritmo de *K-Means* de la librería *sklearn*.

Los resultados se analizan desde la perspectiva tanto técnica como psicológica y se pueden identificar ciertos patrones en los clusters con respecto a los resultados psicológicos. Los mejores resultados se obtienen con las señales en el dominio del tiempo, sin embargo, para lograr un mejor rendimiento del algoritmo con los datos en el dominio de la frecuencia, es necesario utilizar un mayor número de datos, ya que como se conoce, en este dominio se pueden extraer mayor cantidad de características de las señales, las mismas que pueden servir para detectar patrones no identificables con un set de datos pequeño.

Desde la perspectiva psicológica, se puede comprobar que el proceso de aprendizaje y de acomodación al momento de realizar una prueba psicológica, disminuye su potencial.

Finalmente, para trabajos futuros se plantea repetir el proceso con una cantidad de datos mayor, que permita por un lado validar lo realizado y, a su vez, mejorar los resultados obtenidos. De igual manera, es importante entrenar el algoritmo con datos de varios sujetos de diferentes edades, para nutrirlo con una mayor diversidad de muestras y señales, mejorando el rango del de análisis y su capacidad de obtención de conocimientos.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad del Azuay por el apoyo financiero y académico, así como al personal de la escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática, y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI). Además, este trabajo es parte de los siguientes proyectos de investigación: “Fog Computing aplicado a monitoreo de dispositivos usados en ambientes de vida asistidos (Ambient Assisted Living). Caso de estudio: plataforma para el adulto mayor”; y “Diseño de arquitecturas y modelos de interacción para ambientes de vida asistida orientados a adultos mayores. Caso de estudio: ambientes lúdicos y sociales”. Ganadores de las convocatorias DIUC XVII y XVIII respectivamente, por ello los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) por su apoyo.

Referencias

- Al-Nafjan, A., Hosny, M., Al-Ohali, Y., & Al-Wabil, A. (2017). Review and Classification of Emotion Recognition Based on EEG Brain-Computer Interface System Research: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 7(12), 1239. <https://doi.org/10.3390/app7121239>
- Alqurashi, T., & Wang, W. (2019). Clustering ensemble method. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 10(6). <https://doi.org/10.1007/s13042-017-0756-7>
- Ayodele, T. O. (2010). Types of Machine Learning Algorithms. *New Advances in Machine Learning*.
- Basili, V. R., Caldiera, G., & Rombach, H. D. (1994). The goal question metric approach. *Encyclopedia of Software Engineering*, 2, 528-532. <https://doi.org/10.1.1.104.8626>
- Ben-Israel, D., Jacobs, W. B., Casha, S., Lang, S., Ryu, W. H. A., de Lotbiniere-Bassett, M., & Cadotte, D. W. (2020). The impact of machine learning on patient care: A systematic review. En *Artificial Intelligence in Medicine* (Vol. 103, p. 101785). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2019.101785>
- Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. da P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers and Industrial Engineering*, 137, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
- Emerenziani, G. Pietro, Vaccaro, M. G., Izzo, G., Greco, F., Rotundo, L., Lacava, R., Vignera, S. La, Calogero, A. E., Lenzi, A., & Aversa, A. (2020). Prediction equation for estimating cognitive function using physical fitness parameters in older adults. *PLoS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232894>
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data. *Communications of the ACM*, 39(11), 27-34. https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/240455.240464?casa_token=M2LKOWDtBmcAAAAA:Z_JvN1QHtQAdj4px-cISHRWzqwmFjrFq8cekNwgeEzMrYdMA7Rppimsq6Hxv5cwE_FqOMazrc4QPvW
- Likas, A., Vlassis, N., & J. Verbeek, J. (2003). The global k-means clustering algorithm. *Pattern Recognition*, 36(2). [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00060-2)
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.109.2.163>
- Medina, B., Sierra, J. E., & Ulloa, A. B. (2018). Técnicas de extracción de características de señales EEG en la imaginación de movimiento para sistemas BCI Extraction techniques of EEG signals characteristics in motion imagination for BCI systems. *Espacios*, 39(22).
- Montañés, P., & de Brigard, F. (2011). *Neuropsicología clínica y cognoscitiva*. Centro Editorial, Facultad de Ciencias Humanas. https://books.google.com.ec/books?id=-xW_DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=neuropsicología+clínica&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=neuropsicología clínica&f=false
- Nasteski, V. (2017). An overview of the supervised machine learning methods. *HORIZONS.B*, 4. <https://doi.org/10.20544/horizons.b.04.1.17.p05>
- Onwuegbuzie, A., & Leech, N. (2005). On becoming a pragmatic researcher: The importance of combining quantitative and qualitative research methodologies. En *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice* (Vol. 8, Número 5, pp. 375-387). Routledge . <https://doi.org/10.1080/13645570500402447>
- Peña Barrientos, M. C., Gómez Mazo, T., Mejía Rúa, D., Hernández, J., & Tamayo Lopera, D. (2017). Caracterización del control inhibitorio en adolescentes del grado once de la Institución Educativa Normal Superior de Envigado-Colombia. *Psicoespacios*, 11(18). <https://doi.org/10.25057/21452776.906>
- Popov, T., Westner, B. U., Siltan, R. L., Sass, S. M., Spielberg, J. M., Rockstroh, B., Heller, W., & Miller, G. A. (2018). Time course of brain network reconfiguration supporting inhibitory control. *Journal of*

- Neuroscience*, 38(18). <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2639-17.2018>
- Priya, A., Garg, S., & Tigga, N. P. (2020). Predicting Anxiety, Depression and Stress in Modern Life using Machine Learning Algorithms. *Procedia Computer Science*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.442>
- Rennie, J. P., Zhang, M., Hawkins, E., Bathelt, J., & Astle, D. E. (2020). Mapping differential responses to cognitive training using machine learning. *Developmental Science*, 23(4). <https://doi.org/10.1111/desc.12868>
- Runeson, P., Höst, M., Rainer, A., & Regnell, B. (2012). Case Study Research in Software Engineering: Guidelines and Examples. En *Case Study Research in Software Engineering: Guidelines and Examples*. <https://doi.org/10.1002/9781118181034>
- Rusell, S., & Norvig, P. (2004). Inteligencia Artificial. Un Enfoque Moderno. En D. F. Aragón; (Ed.), *Inteligencia Artificial* (Segunda).
- Scarpina, F., & Tagini, S. (2017). The stroop color and word test. En *Frontiers in Psychology* (Vol. 8, Número APR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00557>
- Shani, R., Tal, S., Zilcha-Mano, S., & Okon-Singer, H. (2019). Can Machine Learning Approaches Lead Toward Personalized Cognitive Training? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 13, 64. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00064>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Stroop, J. R. (1992). Stroop 1933.Pdf. En *Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 121, pp. 15-23).
- Suryotrisongko, H., & Samopa, F. (2015). Evaluating OpenBCI Spiderclaw V1 Headwear's Electrodes Placements for Brain-Computer Interface (BCI) Motor Imagery Application. *Procedia Computer Science*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.155>
- Trápaga, C., Pelayo, H., Sánchez, I., Bello, Z., & Bautista, A. (2018). *De la psicología cognitiva a la neuropsicología* (G. Moreno (ed.)). El Manual Moderno. https://books.google.com.ec/books?id=_T52zQEACAAJ&dq=psicología+cognitiva&hl=es&sa=X&redir_esc=y
- Wang, M., Zhang, S., Lv, Y., & Lu, H. (2018). Anxiety Level Detection Using BCI of Miner's Smart Helmet. *Mobile Networks and Applications*, 23(2). <https://doi.org/10.1007/s11036-017-0935-5>
- Xin, J. (2011). K-Means Clustering. *Encyclopedia of Machine Learning*, 563-564. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_425
- S. Kaneta, I. Wakabayashi and T. Kawahara, "Feasibility of BMI improvement applying a Stroop effect," 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016, pp. 681-684, doi: 10.1109/ICACT.2016.7423518.
- X. Hou, Y. Liu, O. Sourina, Y. R. E. Tan, L. Wang and W. Mueller-Wittig, "EEG Based Stress Monitoring," 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2015, pp. 3110-3115, doi: 10.1109/SMC.2015.540.
- Lim, Alfred & Chia, Wai. (2015). Analysis of Single-Electrode EEG Rhythms Using MATLAB to Elicit Correlation with Cognitive Stress. *International Journal of Computer Theory and Engineering*. 7. 149-155. [10.7763/IJCTE.2015.V7.947](https://doi.org/10.7763/IJCTE.2015.V7.947).
- Elorriaga, Sergio. (2017). Estandarización Mexicana del Test Stroop: Datos Normativos.

Artificial intelligence-controlled pole balancing using an Arduino board

Balanceo de un poste, controlado por una inteligencia artificial usando una placa Arduino

José Revelo¹ <https://orcid.org/0000-0003-1159-1523>, Oscar Chang¹ <https://orcid.org/0000-0003-1241-1782>

¹Yachay, Imbabura, Ecuador

jose.revelo@yachaytech.edu.ec, oscar.chang@yachaytech.edu.ec

Sent: 2021/07/11

Accepted: 2021/09/28

Published: 2021/11/30

Resumen

El proceso de automatización (AP) actual es de gran importancia en el mundo digitalizado, en rasgos generales, representa un aumento en la calidad de producción con el trabajo hecho a mano. El equilibrio es una capacidad natural del ser humano que está relacionada en trabajos y conducta inteligente. Equilibrarse representa un desafío adicional en los procesos de automatización, debido a la presencia de múltiples variables involucradas. Este artículo presenta el equilibrio físico y dinámico de un poste en el que un agente, mediante el uso de aprendizaje por refuerzo (RL), tiene la capacidad de explorar su entorno, detectar su posición a través de sensores, aprendiendo por sí mismo cómo mantener un poste equilibrado bajo perturbaciones en el mundo real. El agente usa los principios de RL para explorar y aprender nuevas posiciones y correcciones que conducen a recompensas más significativas en términos de equilibrio del poste. Mediante el uso de una matriz Q, el agente explora las condiciones futuras y adquiere información de política que hace posible mantener el equilibrio. Todo el proceso de entrenamiento y pruebas se realizan y gestionan íntegramente en un microcontrolador Arduino. Con la ayuda de sensores, servo motores, comunicaciones inalámbricas e inteligencia artificial, todos estos componentes se fusionan en un sistema que recupera constantemente el equilibrio bajo cambios aleatorios de posición. Los resultados obtenidos demuestran que a través de RL un agente puede aprender por sí mismo a utilizar sensores, actuadores genéricos y resolver problemas de balanceo incluso bajo las limitaciones que presenta un microcontrolador.

Palabras clave: aprendizaje por refuerzo, agente inteligente, microcontrolador, Industria 4.0.

Sumario: Introduction, Related work, Methodology, Results and Conclusions.

Como citar: Revelo, J. & Chang, O. (2021). Artificial intelligence-controlled pole balancing using an Arduino board. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 189-204.

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/852>

Abstract

Automation Process (AP) is an important issue in the current digitized world and, in general, represents an increase in the quality of productivity when compared with manual control. Balance is a natural human capacity as it relates to complex operations and intelligence. Balance Control presents an extra challenge in automation processes, due to the many variables that may be involved. This work presents a physical balancing pole where a Reinforcement Learning (RL) agent can explore the environment, sense its position through accelerometers, and wirelessly communicate and eventually learns by itself how to keep the pole balanced under noise disturbance. The agent uses RL principles to explore and learn new positions and corrections that lead toward more significant rewards in terms of pole equilibrium. By using a Q-matrix, the agent explores future conditions and acquires policy information that makes it possible to maintain stability. An Arduino microcontroller processes all training and testing. With the help of sensors, servo motors, wireless communications, and artificial intelligence, components merge into a system that consistently recovers equilibrium under random position changes. The obtained results prove that through RL, an agent can learn by itself to use generic sensors, actuators and solve balancing problems even under the limitations that a microcontroller presents.

Keywords: reinforcement learning, intelligent agent, Q-learning, microcontroller, Industry 4.0.

Introduction

Factories continue to improve and introduce new technology to reduce their production costs, such as the solution given to repetitive work in the delivery of goods industry (Azadeh et al., 2019). New technologies have to target and solve two main aspects to keep progressing and improve tasks in multiple areas: transparency of costs that makes replication easier and produce these technologies; recreate a more human-like robot behavior.

One primary aspect and basic act that robots should replicate from humans, is to be proficient at balancing. Whether we want a humanoid or a computer to replace the workers, they have to be capable of performing on a similar level to humans (Hyon et al., 2007). Ships' displacement is often dependent on careful balancing; in sea navigation, equilibrium is critical. The balancing mechanism is based on fin stabilizers, which rotate and change the fin angle to resist ocean disturbance (Sun et al., 2018). Balance is also present in aviation. Unmanned aerial vehicles (UAVs) use stabilizers that play an important role minimizing disruption effects and ensuring a smoother flight (Korkmaz et al., 2013), by dealing with three different angles known as yaw, roll, and pitch. Balancing is a critical component that affects the ability to perform a wide variety of tasks and is essential in the operation require by loaders, robotic arms, ships, anti-seismic systems, or robots themselves.

Machine activity does not present adaptation or reaction to new events that occur, and are not predictable during normal function. This is critical if correct balancing is a goal in changing environments. Unpredictable events and varying conditions of the environment are why automation has limited uses in many factories and moving vehicles. AI may be set to perform a task in varying circumstances; it may give improved results, and be efficient in activities currently executed only by humans. A contemporary and relevant tool in AI is Reinforcement Learning (RL), a methodology by which agents independently learn efficient control policies. They then use this knowledge to solve logical or mechanical problems (Foerster et al., 2017).

The first reason to use Arduino is its flexibility to adapt to different projects. AI requires data recollection and this may be a difficult task because data is proprietary or cost prohibitive. In this sense, Arduino is handy and very helpful for recollecting data from the world.

Arduino is reasonably priced for building several prototypes. Also, as shown in (López-Rodríguez & Cuesta, 2016; Taha & Marhoon, 2018), is how feasible it is to build more than one specific model or prototype with customizable devices, depending on the situation. The low cost advantage also decreases barriers to perform a study in different areas of AI devices, or reducing problems to replicate and produce multiple similar technologies that instantly interact with the real world.

With these premises, this paper develops a dynamic balancing pole that AI manages running in an Arduino microcontroller. Here, an RL agent, with the capacity to read sensors and control the angles of servo motors that drive an x, y balancing pole, learns by itself how to keep the pole balanced under noise disturbance, responding to natural changes of its environment. The prototype demonstrates the capabilities of microcontrollers that have some limitations, compared with regular desk computers, and how extensive is there potential.

Related work

The following section examines and evaluates works that are relevant to the planted objectives and share common themes, strategies, and method elaboration.

Arduino fully managed systems

Due to their low and medium cost, Arduino-based projects can be produced or recreated. Due to easy access to a variety of hardware resources, it is simple to execute multi-purpose projects. A mobile robotic platform is presented in (Araújo et al., 2015). In the work, it is claimed that robots must be as inexpensive as possible for students and researchers to conduct real-world experiments. The work in (Ram et al., 2017) demonstrates the versatility of Arduino when used in an IoT project, a proper power supply, wireless communication and sensor devices are good features of working with Arduino boards. The Arduino microcontroller is used in (González & Calderón, 2019) to build a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system with high configuration possibilities, easy access to libraries and a fast learning rate for new users. In (Wu et al., 2017) it is described the Arduino board's data collection, tracking, and scalability projection capabilities.

The majority of the work discuss the low-cost advantages of Arduino projects, as well as how to adapt or include more electronic devices to create more robust devices with no issues. Furthermore, the majority of the works incorporate two elements: automation and real-time operations. Arduino can conduct real-time operations without the use of simulations, concentrating on the problems that are important to the target, enabling it to detect planning mistakes or missed steps in the early stages of development. This has been a big help for researches, both technically and theoretically, showing that Arduino is a very useful tool.

Artificial intelligence with microcontrollers

In (Jain, 2018), a self-driving car is demonstrated using a Raspberry Pi and a Convolutional Neural Network. An Arduino board guides the movements of the vehicle. It receives an order and drives the car in a specific direction. The author concludes that the car's design and testing were successful. In addition, the work (López-Rodríguez & Cuesta, 2016) shows a mobile robot for educational purposes based on Android and Arduino. The robot has a light sensor, GPS, camera, accelerometer, Bluetooth, and Wi-Fi, and can accept commands from a smartphone via an Internet connection. The author claims that software alteration can

be easily applied for future projects. In the third study (Lengare & Rane, 2015), image processing is used to monitor the movements of a human arm and reproduce this action in a robotic arm controlled by an Arduino. The author claims that an Arduino board can monitor the robot's behavior; however, there are many ways to accomplish the same task.

It is clear from the previous work that the Arduino will perform actions with good results if the instructions come from a logical process of an efficient AI or a human. The argument is that with the use of a microcontroller, the majority of the work present no hardware problems. As a consequence, with the right instructions, Arduino will perform a variety of tasks. The intelligence of data analysis is executed outside the microcontroller in all previous projects, but as further projects illustrate, it is also possible to code the intelligence or incorporate learning techniques in the Arduino itself, without having to raise costs or resources.

Artificial Intelligence has shown better results than conventional approaches in several of projects; these works involve intelligent agents that perform several tasks in pursuit of optimum results. It was shown in (Jimenez et al., 2020; Salazar et al., 2013), that an intelligent agent's capable of considering timing, amount of water, and properly implementing them in what they detail as Spatio-temporal variations of the soil-plant-atmosphere system, gathering impressive results in terms of water efficiency and precision irrigation. As agents work with microcontrollers like Arduino, they may create further applications. For example, (Mata-Rivera et al., 2019) shows an intelligent traffic light control device that uses Arduino sensors to detect the color of traffic lights, as well as the tone, distance, and motion of vehicles in the streets where it is installed. The entire process is executed in Arduino, demonstrating how this platform can perform complex tasks using machine learning techniques.

Since the recently mentioned works used an Arduino to carry out the whole operation, these project reinforces the concept that Arduino hardware and software are plenty capable, and assisting this study in realizing that AI can be implemented in a microcontroller. Of course, Arduino has limitations, but the previous works only require a little extra effort to comprehend the obstacles, adapt the prototype, and include RL.

Reinforcement learning in Real environments

The aim of developing robots is to allow them to participate in a real-world environment where unexpected events can occur. The goal is to make machines more effective in performing various tasks in a manner that is equivalent to, if not superior to, a human. To accomplish this action in computers, a variety of techniques are used.

Three classifications of methods are given in (Kormushev et al., 2013), as well as mentioned how computers can learn to deal with such tasks. Direct programming is defined as the lowest method. This is more akin to a programming method than it is to learning. The second method is imitation learning, which is more comparable to a learning strategy. The problem with this approach is that it requires a specialist to perform a perfect presentation of how to complete the job. The last method, RL is defined as a trial-and-error method that explores the environment and the robot's body. RL has three benefits over the other two approaches: learning new tasks, optimizing efficiency, and adapting to new situations.

RL has been used in real-world settings to solve physical problems in various experiments, but simulations can also be used in training. According to (Pan et al., 2017), depending on the context, the training will present undesirable driving behaviors that can cause harm to the environment. As a result, depending on the case, a simulation or real-world environment may be used to train a computer. The problem with transitioning from a virtual to

a real-world environment is that it takes extra time to apply the learned skills to a different scenario than the one in which they were educated. The research of (Miglino et al., 1995) demonstrates how simulations can solve problems that appear to be closer to the original target but are not; in other words, the simulation environment lacks realistic behavior. However, conducting training in the real world poses a challenge; as mentioned in (Nagabandi et al., 2018), samples can be extremely costly. The tools used can influence this complication about cost of collecting samples. As mentioned, an Arduino's main advantage is its low cost.

The work from (Gu et al., 2017) creates and trains a robot to open a door from scratch, which is a realistic application that requires complex contact dynamics to imitate human physical abilities. In addition, it demonstrates how real robotic platforms can perform physical tasks in 3D real environments. It is also claimed that RL is an effective training method for these systems. The work of (Sharma et al., 2020) uses a free-reward RL algorithm to teach a robot how to travel properly within its structure and navigate, 20 hours of preparation, the machine had mastered a variety of locomotion gaits. After a short time, the RL methods yielded results. This research showed how RL can be used to teach an AI how to control its movements in the real world, without wasting too much time in the training process.

Methodology

This section describes the proposed system, which learns to detect a properly stable position. The construction of the balancing prototype has three main points to be described, divided into the following sections: General description of the system. A detailed description of the transmitter device. A detailed description of the receiver device. In the end, generating an algorithmic description of the training process.

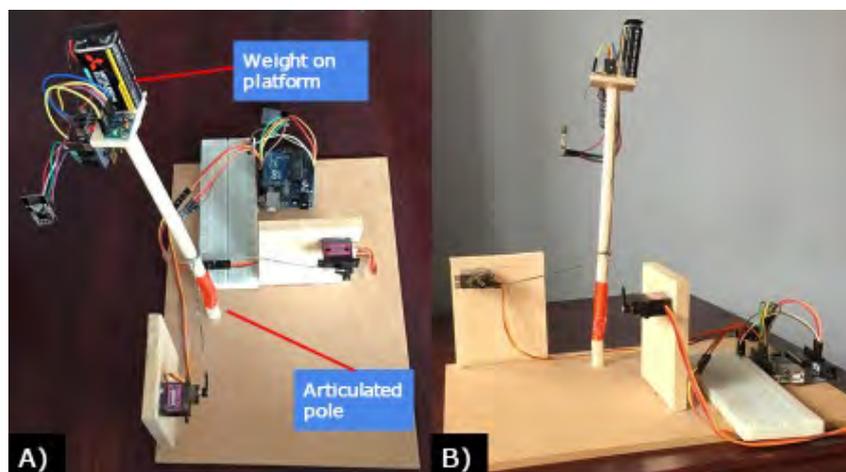
Problem Solving Phases

Problem Description

The structure to balance consists of a pole with a platform at the top, where objects can be placed. The pole cannot stand up straight due to a flexible component in the base, the pole is connected to this component which allows the pole to constantly bend in any direction. To control the pole displacement, two servo motors are connected using a rigid wire. One servo motor moves the pole up and down (north-south), the second moves the pole from left to right (east-west). An upper view of the balancing structure shown in Figure 1 A, and a front view in Figure 1 B.

Figure 1

A View of the Structure to Balance



Analysis of the Problem

The first issue is to translate the environment in terms that is possible to convert into a programming platform, select the correct data type, and attempt not to exceed the memory capacity of the Arduino.

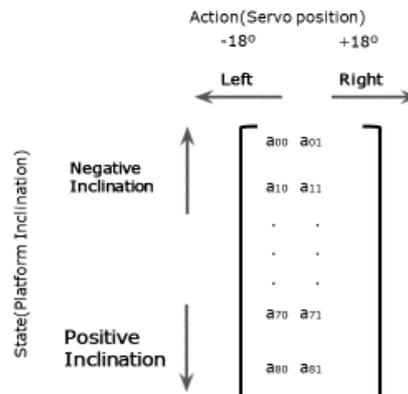
The speed execution of the code is enough to sustain the speed movement of the servo motors. To train an agent and measure a reward, is necessary to measure after a change or move is completed. The Arduino board can execute multiple moves virtually before a servo motor actually has finished the first move. In other words, the measurement has some imprecision issues, due to movements that are supposed to happen but are retarded because of inertial forces.

Implementation

The agent's work is to randomly explore the environment through its own actions. The agent will try different moves depending of its actual state, meaning that the agent will increase and decrease the angle in the servo, allowing the agent to explore which action will yield better or worse results, depending on the detected state. The Q-matrix, also known as a Q-table, represent the conditions and possible behavior of the agent represented. The dimensions of this Q-matrix are 9x2, represented in Figure 2, where the number of columns represents the number of possible actions from which the pole will pass. The number of files represents the inclination states in which the platform will be.

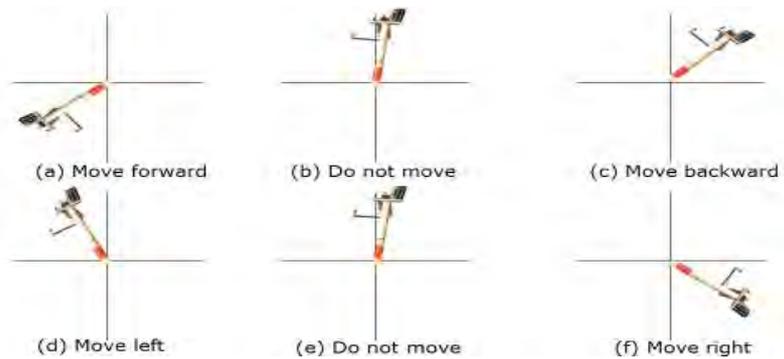
Figure 2

Q-Matrix, States(Rows) and Actions (Columns)



The servo motors in use operate in degrees from 0°-180; one pushes the pole forward or backward Figure 3 (a), while the other moves the pole left Figure 3 (c), or right Figure 3 (d). However, if the system detects that is in balance, both servo motors will not move pole Figure 3 (b) and Figure 3 (e). The first column depicts the action of decreasing the current angle at which the servo motor is located, while the second column depicts the action of raising the current angle at which the servo motor is located. The servo motor has 144° of inclination since the eighth row is 8, which is the highest value that can be found in this matrix beginning at state 0 from 0°, in the servo motor.

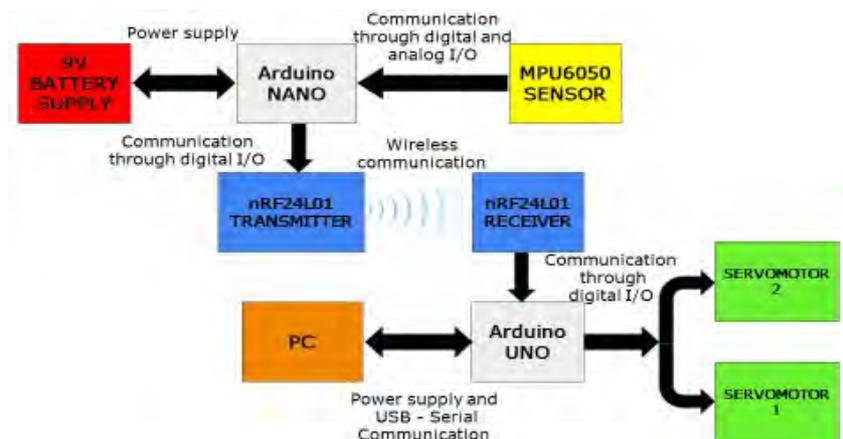
The error to balance the pole is 18° due to the Q-matrix design. Both servos increase or decrease its angle 18°, the angle was chosen to save space memory in Arduino, and also the servo motors have a better response with angle variations of a larger magnitude, one-degree variation will be a good improvement, but better precision servo motors are required.

Figure 3*Possible actions performed by the servos*

The prototype stabilizes the post in 18 steps, with each servo performing nine steps simultaneously, in a worst-case scenario. Delays measured in the servo's movement speed, allowing the balancing time to increase or decrease. Servos perform angle variations every 200 milliseconds; hence these nine moves can be completed in less than 1800 milliseconds. In the worst-case scenario, the prototype's balancing time is nearly two seconds.

System description

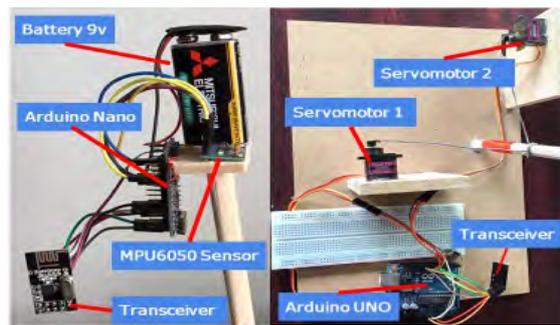
The prototype design is structured by two devices working together to balance the pole, as seen in Figure 4. This details which component is connected and how it communicates and flows. It is known as a Q-table, from upper components to which are below. the device A and B have wireless communication, the implementation and a deeper description of the internal process of each device will be described in the following sections. Device A, due to its structure, could be reused in more areas to estimate more precise position changes. The device B does not have the same reuse capacity; it has to be modified depending on the balanced structure.

Figure 4*Prototype Whole Process Flow Diagram*

Device A

Has the task to recollect and notify position changes of the platform in which it is placed. Figure 5 shows the electronic elements used as the Arduino Nano, the accelerometer and gyroscope that are in the MPU6050 sensor, and the nRF24L01 RF transceiver. Device A performs the flow process in Figure 6.

Figure 5

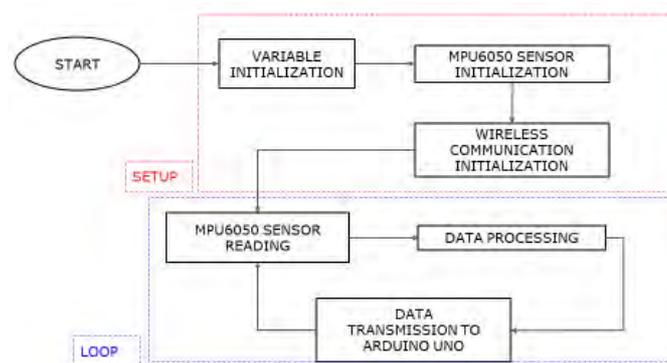


Device B

This device, managed by Arduino Uno, will execute the process from Figure 7. Afterwards, the Train process finishes and will execute the steps from Figure 8. Device A in Figure 5 shows the two servo motors, that manage the positions of the pole, also have the nRF24L01 RF transceiver for wireless communication.

Figure 6

Arduino NANO Process Flow Diagram



Device A process

Setup and Loop Functions

The setup and loop functions are the two main functions of most Arduino programs. After uploading the program to an Arduino microcontroller, the setup function is the first to run. The loop function is a loop that repeats the actions inside the microcontroller until the microcontroller resets or the power supply is disconnected. Both functions are required in Arduino programs.

Sense and Transmission Flow Process

The Arduino Nano carries out the entire process depicted in Figure 6. First, is the setup function, where all variables of the accelerometer and gyroscope in the three-axis x, y, and z are initialized in the variable initialization step. The data rate in symbols per second (baud) has several bits per second (bps) in which the Arduino will communicate during the transmission of data is setup. Sensor initialization begins the MPU6050 functionality after ensuring that it is operational. The Power Amplifier level, the channel between 2.400 and 2.524 GHz, the data rate, and the address of the receiver to which we will send data, are all set up in the wireless communication initialization step.

The loop, as seen in Figure 6, is the second part that constantly reads position changes. MPU6050 is constantly read during sensor reading, and the data obtained is then sent to data processing, where all information is processed in degrees and g (terms of standard gravity). After that, data transmission begins, which reports the changes in the pole's extreme to the Arduino UNO.

Device B process

Train Flow Process

Setup in Figure 7 and Figure 6 are very similar, except for the variables initialization step with the R and Q matrices for the training process. As seen in Figure 6, use the same parameters for wireless communication initialization.

In the loop section, the data reception is emitted from the accelerometer in the Arduino Nano. Action Selection consists of a random selection of the available options from the servo motors. Now Perform action executes the selected action from the previous step. Calculating a reward is the next step, updating the Q-table. A fixed number of iterations is achieved all the steps are repeated. The end section is saving the experience that is in the Q-table, earned in the loop section for forthcoming testing.

Figure 7

Arduino UNO Train Phase Process Flow Diagram

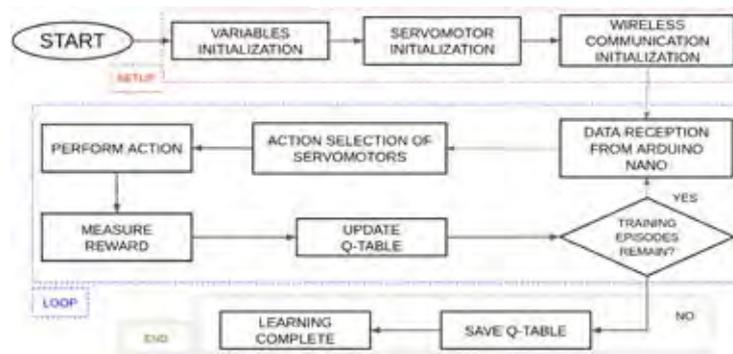
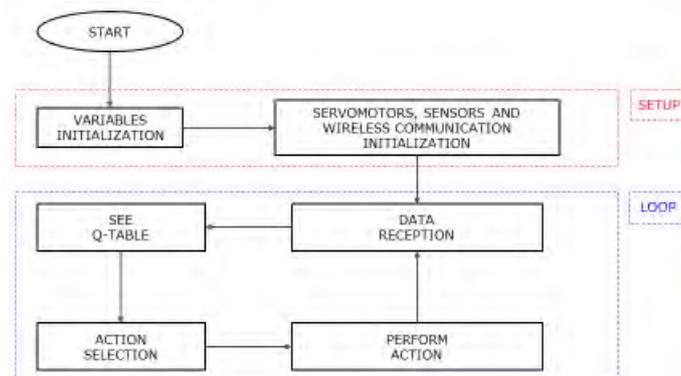


Figure 8



Testing Flow Process

Setup in Figure 7 and Figure 6 show the same steps. Then in the loop function, the data reception is received from the Arduino Nano, then it checks the Q-table, selects the best option,

and performs the action selected in the servo motors establishing the balance and repeating the process from the data reception.

Code structure

The pseudocode from Figure 9 is train agent and executed to train the agent. The input of the algorithm are the variables that describe the current state of the environment.

First are initialized the different variables the Qm is Q-matrix and all the values are initialized from zero, which will present changes in the values while learns the policy, K is the number of limited episodes, $Moves$ is the variable that limits the number of moves an agent can execute before finish an episode.

After the train starts, first are selected an x and y position, a random number selected between the 0 and the number of columns for x and the number of files for y of the Qm matrix, the variable $Agent$ is assigned a random starting action from $Qm[x][y]$ position.

The following inner loop works as a limited sequence of steps where the agent can move around the environment until it reaches the goal or executes a limited number of moves defined previously in the variable $Moves$. The function StepSelection looks at matrix Qm neighborhood values, selects an action of the possible options. The possible options of the act allow the agent to move in four possible ways; up, down, left, right.

Updating the variables $Agent$, x , y , depend on the previous move. The variable State saves the new environment variables. The matrix Qm updates the index x , y value calling the function reward, which uses the variables $State$ and $action$ to calculate the new value function Reward.

If the agent reaches the goal state the episode finishes, otherwise this inner loop is repeated until the end of the allowed number of steps. The output is a Q-table matrix, the Qm which has the experience obtained after the agent exploration.

Figure 9

Agent Training Pseudocode

Algorithm 1: Train agent

```

Input: "State" = Environment variables
1 Initialize of the Q matrix  $Qm$ , Initialize  $Qm$ ; Initialize number episodes  $K$ ;
2 Initialize number of moves  $Moves$ ;
3 for  $i \leftarrow 0$  to  $K$  do
4    $x = \text{Random}()$  and  $y = \text{Random}()$ ;
5    $Agent = Qm[x][y]$ ;
6   for  $j \leftarrow 0$  to  $Moves$  do
7     take an action  $a$ ;
8      $(step_x, step_y) = \text{StepSelection}(action)$ ;
9      $Agent = Qm[x + step_x][y + step_y]$ ;
10     $State' = \text{Current environment variables}$ ;
11     $Qm[x][y] = \text{Reward}(action, state)$ ;
12    if  $\text{CurrentStateBalanced}() == \text{True}$  then
13      | break;
14    end
15  end
16 end
Output: Q-table matrix

```

Results

Table 1 shows the Q-table values for the servo motor that pushes the pole left and right, while Table 2 shows the Q-table values for the second servo motor's forward and backward. The table depicts the Q-table during various training episodes, and it is possible to observe how the absolute value rises. The 0 value does not change during training because the episode ends when it enters this state; this state is considered the most stable because it receives a reward of 0, while the other states receive a punishment depending on the platform's inclination. It is easy to see how values that are farther from the stable state are punished more severely, resulting in extreme values gaining more knowledge, or learning faster than states closer to the optimal state. As compared to Q-tables with more iterations, it is possible to see that certain values in one column that should be lower than the other column are not. In the first 50 episodes in the table Q-table from Table 1, it was determined that the agent does not have the experience to choose the proper actions at this point in the training.

Table 1

Agent 1 Q-table Evolution of Values at Different Training Episodes

EPISODE	100		500		1000	
State	Actions					
0	-7.63	-7.63	-16.42	-16.42	-16.13	-16.13
1	-7.59	-5.66	-17.45	-13.32	-17.44	-13.32
2	-3.91	-3.06	-12.95	-9.45	-12.96	-8.38
3	-1.44	-1.76	-6.56	-4.94	-8.48	-3.93
4	0	0	0	0	0	0
5	-0.86	-0.54	-1.00	-2.33	-1.00	-2.75
6	-3.10	-4.99	-3.90	-7.04	-3.90	-6.77
7	-7.04	-9.41	-8.51	-13.99	-8.51	-12.37
8	-9.49	-9.49	-12.66	-12.66	-12.66	-12.66

Table 2

Agent 2 Q-table Evolution of Values at Different Training Episodes

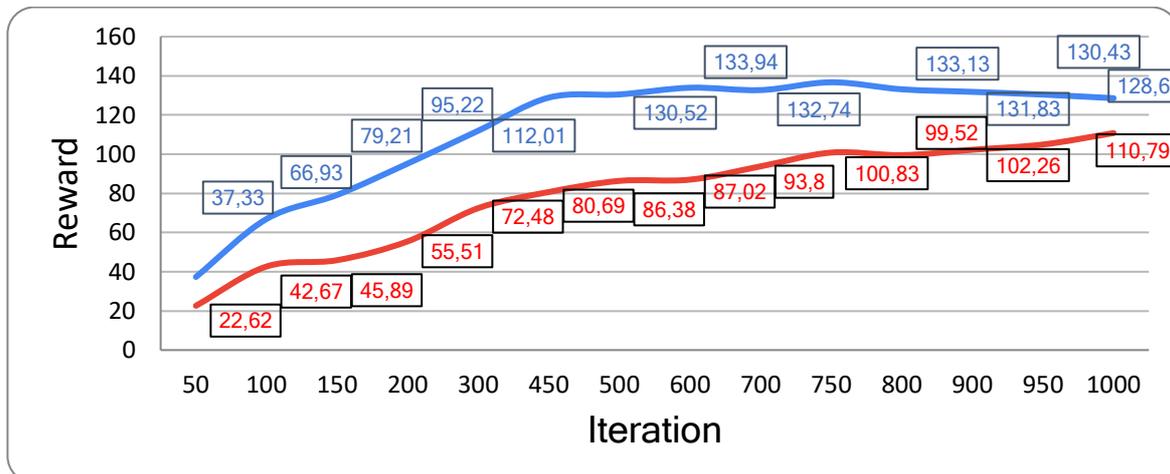
EPISODE	50		100		500		1000	
State	Actions							
0	-3.254	-3.54	-3.254	-3.54	-9.02	-9.02	-14.30	-14.30
1	-2.15	-1.73	-17.45	-1.73	-10.21	-8.22	-15.15	-13.49
2	-3.35	-2.24	-12.95	-2.24	-9.13	-7.74	-13.52	-10.74
3	-3.75	-2.77	-6.56	-2.77	-9.04	-3.99	-11.75	-6.32
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-0.83	-0.47	-0.83	-0.47	-1.00	-1.46	-1.00	-1.67
6	-1.18	-1.73	-1.18	-1.73	-2.68	-3.38	-1.90	-3.40
7	-2.68	-4.69	-2.68	-4.69	-3.71	-7.44	-3.71	-6.50
8	-5.78	-5.78	-5.78	-5.78	-7.34	-7.34	-7.34	-7.34

In the cumulative reward Figure 10, the x-axis represents the number of episodes trained, while the y-values represent the absolute value total of each variable corresponding to the Q-table. The graphic demonstrates that the agent is learning, gaining experience after each iteration from the first to the nth episode. Figure 10 plots a summary of all the learning work,

both curves present a general growth doing decently. Over the last two hundred iterations agent 1 does not have a noticeable increase in comparison to earlier episodes. Agent 2 shows that it could improve its experience, this behavior comes from the random aspect of the training process, at some episodes would have a noticeable increase in comparison to earlier episodes, this behavior comes from the random aspect of the training process, at some episodes will have a noticeable.

Figure 10

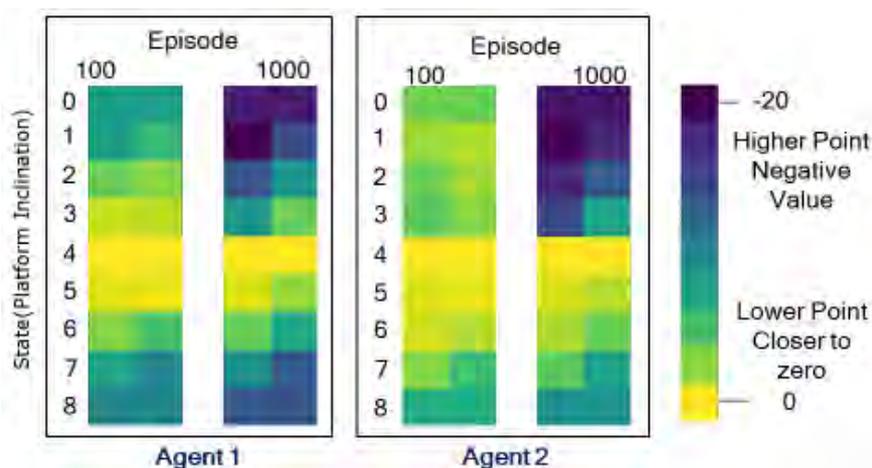
Cumulative Reward as a Function of the Number of Episodes, from both Agents



In Figure 11 are the Q-matrix at episode 100 and 1000, of both agents. The colors with a more negative value represent a higher point and have a darker color, while values closer to zero are more clear and lower points. The agent's path will be the clearest option where it would be located, at episode 1000, the disparity in colors between the different states of the Q-matrix is more apparent compared at episode 100, where the path to follow is somewhat diffuse.

Figure 11

Agent 1 and Agent 2 Heatmap Q-matrix representation



The pole is at the leftmost position; Figure 12 A depicts the direction in which the servo will move the pole; internally, the agent determines which alternative is most appropriate. Figure 12 B is a basic example that concludes when the pole is balanced.

Figure 12

Prototype balancing the pole simple case

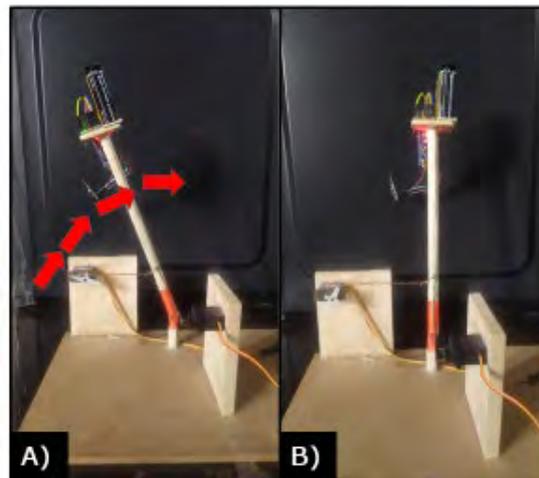


Figure 13 shows an interesting behavior, which an external disturbance is manually introduced, tilting the base, similar to what happens in air and sea ships. The agents must now solve a fresh and unexpected problem.

In Figure 13 A, B, C, the agent 2, tilted back, is in charge of balancing the pole in a forward-backward motion. Agent 2 begins to increase the servo's angle by 18 degrees until it is balanced in this direction; nevertheless, this movement has influenced the pole's correct position in the left-right direction; as a result, agent 1 begins to tilt the pole to the left, Figure 13 D, E, and F depict the prototype's last steps in a real-world scenario.

Figure 13

Prototype behavior tilting the platform

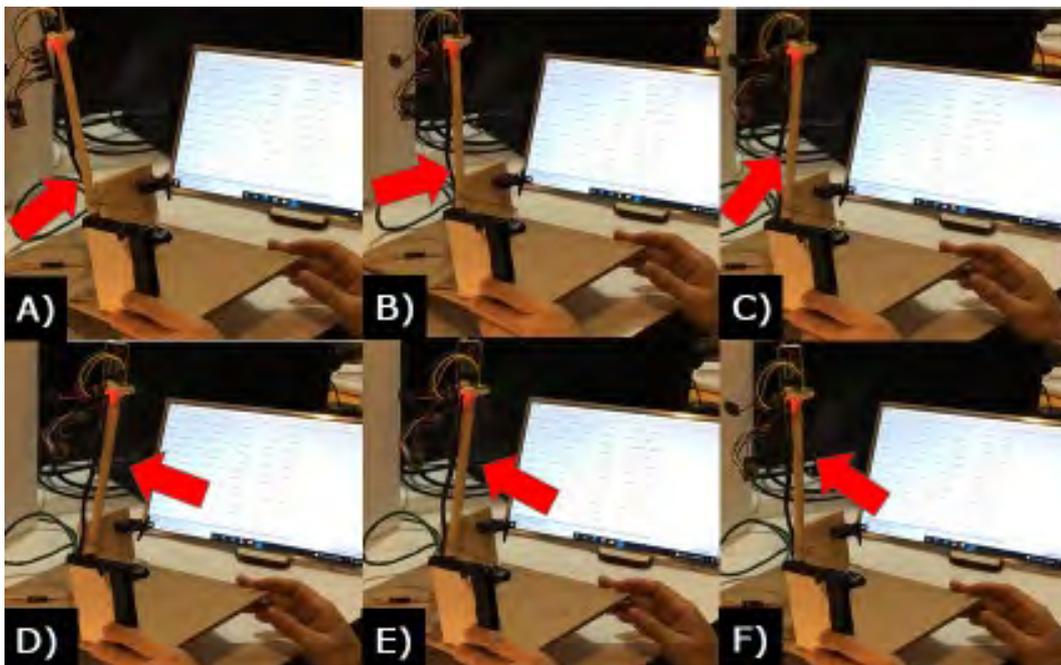
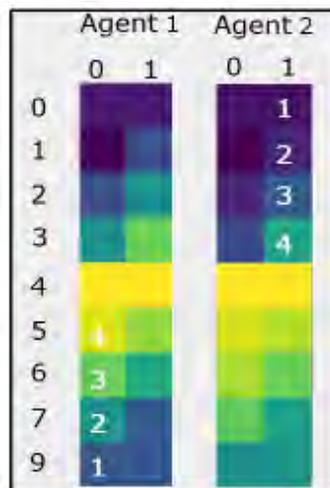


Figure 14 is an internal representation of the actual behavior after finishing the training following a path and choosing the clearest option, depicting the direction that agent 1 will take if it is in the rightmost state, a right inclination. Agent 1 will gradually shift the pole to the left until it reaches the state in row 4. The agent 2 detects that is at a state 0, thanks to the sensometer, which means the platform is facing backward, and it will shift to the front by increasing the signal sent to the servo motor by 18° , moving from state 0 to state 4.

Figure 14

Internal Behavior of Agents



Conclusions

This project includes a study of Arduino microcontrollers, some of their peripherals, and the implementation of a RL agent in a completely Arduino-based prototype consisting of two devices that operate by wireless communication. Within the experimental limitations, the automation process implementation with Artificial Intelligence and RL agents running in Arduino boards, presented very promising results that, in principle, can extend to more complex intelligent machines in the real world. This will require increasing the number of variables, the resolution of the sensors, the power of the actuators, etc. According to the obtained results during the project's execution, the following facts can be concluded:

- The restricted memory space of the Arduino for storing variables is not a barrier to running learning RL algorithms. In particular, Q-learning algorithms can be fully implemented in current Arduino microcontrollers, as demonstrated.
- In the real world, most environments are analog; however, as demonstrated in this study, using Q-learning and a finite Q-matrix it is possible to convert analog changes in discrete signals and use them to control a pole balancing situation.
- Wireless communication adds value to Arduino projects by allowing them to collect data and/or send instructions in complex environments with limited space and/or constant movement. Also, opens possible valuable applications in the world of the Internet of things (IoT).
- Agents and RL algorithms are powerful tools because they allow robots to train themselves in many tasks, such as maintaining dynamic balance using only their implemented components such as sensors and actuators.

- Arduino platforms have access to a variety of peripherals with methodical inclusion, and is a fertile ground to work and develop self-learning macro sensors, robots, and control systems.

Referencias

- Araújo, A., Portugal, D., Couceiro, M. S., & Rocha, R. P. (2015). Integrating Arduino-based educational mobile robots in ROS. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 77(2), 281–298.
- Azadeh, K., De Koster, R., & Roy, D. (2019). Robotized and automated warehouse systems: Review and recent developments. *Transportation Science*, 53(4), 917–945.
- Foerster, J., Nardelli, N., Farquhar, G., Afouras, T., Torr, P. H. S., Kohli, P., & Whiteson, S. (2017). Stabilising experience replay for deep multi-agent reinforcement learning. *International Conference on Machine Learning*, 1146–1155.
- Garcia, J., & Shafie, D. (2020). Teaching a humanoid robot to walk faster through Safe Reinforcement Learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 88, 103360.
- González, I., & Calderón, A. J. (2019). Integration of open source hardware Arduino platform in automation systems applied to Smart Grids/Micro-Grids. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100557.
- Gu, S., Holly, E., Lillicrap, T., & Levine, S. (2017). Deep reinforcement learning for robotic manipulation with asynchronous off-policy updates. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3389–3396.
- Hyon, S.-H., Hale, J. G., & Cheng, G. (2007). Full-body compliant human–humanoid interaction: balancing in the presence of unknown external forces. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5), 884–898.
- Jain, A. K. (2018). Working model of self-driving car using convolutional neural network, Raspberry Pi and Arduino. *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 1630–1635.
- Jimenez, A.-F., Cardenas, P.-F., Canales, A., Jimenez, F., & Portacio, A. (2020). A survey on intelligent agents and multi-agents for irrigation scheduling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 105474.
- Korkmaz, H., Ertin, O. B., Kasnakoğlu, C., & others. (2013). Design of a flight stabilizer system for a small fixed wing unmanned aerial vehicle using system identification. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(25), 145–149.
- Kormushev, P., Calinon, S., & Caldwell, D. G. (2013). Reinforcement learning in robotics: Applications and real-world challenges. *Robotics*, 2(3), 122–148.
- Lengare, P. S., & Rane, M. E. (2015). Human hand tracking using MATLAB to control Arduino based robotic arm. *2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, 1–4.
- López-Rodríguez, F. M., & Cuesta, F. (2016). Andruino-A1: Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 81(1), 63–76. <https://doi.org/10.1007/s10846-015-0227-x>
- Mata-Rivera, M. F., Zagal-Flores, R., & Barría-Huidobro, C. (2019). *Telematics and Computing: 8th International Congress, WITCOM 2019, Merida, Mexico, November 4--8, 2019, Proceedings* (Vol. 1053). Springer Nature.
- Miglino, O., Lund, H. H., & Nolfi, S. (1995). Evolving mobile robots in simulated and real environments. *Artificial Life*, 2(4), 417–434.
- Nagabandi, A., Clavera, I., Liu, S., Fearing, R. S., Abbeel, P., Levine, S., & Finn, C. (2018). Learning to adapt in dynamic, real-world environments through meta-reinforcement learning. *ArXiv Preprint*

ArXiv:1803.11347.

Pan, X., You, Y., Wang, Z., & Lu, C. (2017). Virtual to real reinforcement learning for autonomous driving. *ArXiv Preprint ArXiv:1704.03952.*

Ram, S. A., Siddarth, N., Manjula, N., Rogan, K., & Srinivasan, K. (2017). Real-time automation system using Arduino. *2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 1–5.

Salazar, R., Rangel, J. C., Pinzón, C., & Rodríguez, A. (2013). *Irrigation system through intelligent agents implemented with arduino technology.*

Sharma, A., Ahn, M., Levine, S., Kumar, V., Hausman, K., & Gu, S. (2020). Emergent real-world robotic skills via unsupervised off-policy reinforcement learning. *ArXiv Preprint ArXiv:2004.12974.*

Sun, M., Luan, T., & Liang, L. (2018). RBF neural network compensation-based adaptive control for lift-feedback system of ship fin stabilizers to improve anti-rolling effect. *Ocean Engineering*, *163*, 307–321.

Taha, I. A., & Marhoon, H. M. (2018). Implementation of controlled robot for fire detection and extinguish to closed areas based on Arduino. *Telkomnika*, *16*(2), 654–664.

Wu, D., Liu, S., Zhang, L., Terpenney, J., Gao, R. X., Kurfess, T., & Guzzo, J. A. (2017). A fog computing-based framework for process monitoring and prognosis in cyber-manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, *43*, 25–34.

Machine learning approach for multidimensional poverty estimation

Enfoque de aprendizaje automático para la estimación de la pobreza multidimensional

Mario Ochoa¹ <https://orcid.org/0000-0002-2283-0203>, Ricardo Castro-García² <https://orcid.org/0000-0002-2332-9381>, Alexander Arias Pallaroso^{1,3} <https://orcid.org/0000-0002-6612-4968>, Antonia Machado¹ <https://orcid.org/0000-0003-3856-5659>, Dolores Sucozhañay Machado⁴ <https://orcid.org/0000-0003-4930-2176>

¹ *Grupo de Investigación en Población y Desarrollo Local Sustentable (PYDLOS), Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población (DIEP), Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
mario.esteban.ochoa@gmail.com, antonia.machado@ucuenca.edu.ec

² *Microsoft*
ricardo.castro@microsoft.com

³ *Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Políticas y Sociales, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.*
alexander.arias@ucuenca.edu.ec

⁴ *Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población (DIEP), Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.*
dolores.sucozhanay@ucuenca.edu.ec

Sent: 2021/07/11
Accepted: 2021/09/28
Published: 2021/11/30

Resumen

En las ciencias sociales ha predominado un análisis teórico en sus investigaciones. La escasez de datos, su dificultad para recolectarlos y almacenarlos, ha sido la principal limitación para que las ciencias sociales adopten enfoques cuantitativos. Sin embargo, la gran cantidad de información generada en los últimos años, principalmente a través del uso de Internet, ha permitido que las ciencias sociales incluyan cada vez más análisis cuantitativos. Este estudio propone el uso de tecnologías como Machine Learning (ML) para solventar esta escasez de datos. El objetivo es estimar el índice de pobreza multidimensional a nivel de persona en un territorio en particular de Ecuador mediante el uso de modelos de regresión de Machine Learning (ML) partiendo de una cantidad limitada de datos para entrenamiento. Se comparan

Sumario: Introduction, Related work, Methodology, Results, Discussion and Conclusions.

Como citar: Ochoa, M., Castro-García, R., Arias, A., Machado, A. & Sucozhañay, D. (2021). Machine Learning Approach for Multidimensional Poverty Estimation. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 205-225. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/853>

10 modelos ML, tales como modelos lineales, regularizados y ensamblados. Random Forest se desempeña de manera sobresaliente frente a los otros modelos. Se llega a un error del 7,5% en la validación cruzada y del 7,48% con el conjunto de datos de prueba. Las estimaciones se comparan con aproximaciones estadísticas del IPM en una zona geográfica y se obtiene que el IPM promedio estimado por el modelo en comparación con el promedio informado por los estudios estadísticos difiere en 1%.

Palabras clave: bosques aleatorios, ciencias sociales, regresión, zona geográfica, datos limitados.

Abstract

In the social sciences, a theoretical analysis has predominated in its research. The scarcity of data and its difficulty in collecting and storing it, has been the main limitation for the social sciences to adopt quantitative approaches. However, the large amount of information generated in recent years, mainly through the use of the Internet, has allowed the social sciences to include more and more quantitative analysis. This study proposes the use of technologies such as Machine Learning (ML) are the answers to solving this data scarcity. The objective is to estimate the multidimensional poverty index at the personal level in a particular territory of Ecuador by using Machine Learning (ML) regression models based on a limited amount of data for training. Ten ML models are compared, such as linear, regularized, and assembled models and Random Forest performs outstandingly against the other models. An error of 7.5% was obtained in the cross-validation and 7.48% with the test data set. The estimates are compared with statistical approximations of the MPI in a geographical area and it is obtained that the average MPI estimated by the model compared to the average reported by the statistical studies differs by 1%.

Keywords: random forest, social sciences, regression, region, limited dataset.

Introduction

In recent years, the social sciences have increasingly chosen to use inductive analysis methodologies in their studies. Contrary to the trend over the years to use deductive approaches by default (Grimmer et al., 2021). In the past, most sociological studies adopted the deductive approach due to the recurring problem in the social sciences, the scarcity of data (Chen et al., 2018; Grimmer et al., 2021). Before reviewing or collecting data, the social scientist usually had a clear theory from which to draw propositions that could be testable. From these propositions, the variables of interest were raised and strategies were developed for their measurement, to finally establish hypotheses and a research design that tested the validity of the theory through the analysis of experimental observations (King et al., 1995; Rudin, 2015). This deductive approach made the researchers miss the opportunity to redefine their concepts, develop new theories and outline new hypotheses (Grimmer et al., 2021). In those years, data for social inductive analyzes was difficult to obtain; conducting surveys were expensive and storing large amounts of data was almost impossible. At the same time, the computing capacity was limited (Grimmer et al., 2021; Maldonado, 2019). Nowadays, the social sciences show a strong trend towards quantitative research. Sociologists have made many efforts to include data analysis in their research through statistical techniques such as descriptive statistics (tendency and dispersion analysis), inferential statistics (estimation of confidential interval and significance testing), and regression analysis (predictions and forecasting) (Rovai et al., 2013).

The advent of the Internet and the increase in computational capacity has undoubtedly made the amount of data go from being scarce to being immensely abundant. In this panorama, the social sciences have had to evolve to adapt to this new reality. The social sciences have

moved from concepts of “variables” to the “big data” idea. The methodologies based on observation, description, hypothesis formulation have become insufficient to analyze the current complex reality, driven by data and permanent virtuality (Maldonado, 2019).

This abundant amount of data has created the opportunity for the social sciences to move from the deductive approach to an inductive and iterative approach. Allowing to test hypotheses in a more agile way. Similarly, social networks allow creating studies and social experiments that until a few years ago were logistically impossible (Chen et al., 2018; Grimmer et al., 2021). The development of new and better data analysis algorithms has enabled social science studies to be able to establish more accurate estimations of social phenomena (Hindman, 2015).

In recent years, technologies that take advantage of all the possibilities derived from this vast amount of available data have been developed. As part of these advances, Data Mining (DM) has been one of the main technologies that benefited most.

DM is the science that focuses on extracting information from large data sets through the use of techniques from different disciplines such as ML or statistics (Hand, 2007). On the other hand, ML is a field of study that mainly develops algorithms and techniques to build models based on data. Depending on the structure of the data and the techniques used, ML is broadly divided into supervised learning, unsupervised learning, and reinforced learning (Chen et al., 2018). Its applications increasingly have been adopted by fields like economics, political science, and sociology (Molina & Garip, 2019).

ML has gained popularity and has great application potential in some social science disciplines. Its algorithms have been applied in tasks such as pattern prediction, characterization of population heterogeneity, causal inference, theory development, and support in experimental decision-making (Chen et al., 2018; Grimmer, 2015; Grimmer et al., 2021; Molina & Garip, 2019).

Despite the great benefits of using modern data analysis in social studies. The adoption of these techniques has been relatively slow compared to other fields (Lazer et al., 2009). Researchers have argued that the “black box” nature of the models used in ML, which does not allow knowing the internal inference process of the model, is one of the main factors for its rejection (Hindman, 2015). On the other hand, the lack of data from minority sectors of the population can cause models to be trained with a significant bias towards stereotypes, discrimination, and even racism (Chen et al., 2018). Another barrier that must be overcome is the lack of experience of data scientists in topics related to causal inference and complex social data processing (Grimmer, 2015).

However, social scientists could contribute with their expertise in human behavior, to establish a stronger connection between social science and ML to develop applications and tools focused on data generated by social studies (Chen et al., 2018).

As part of this effort to bridge the gap between these two fields of study, this paper uses ML techniques to improve analyzes of poverty. Our case study focuses on the multidimensional poverty of the city of Cuenca, one of the main cities in Ecuador. However, the same methodology can be applied to all the cities in the country.

The main objective is to create a model capable of estimating the MPI for each person living in the city, starting from a limited amount of data available for training. The task of the

model is to establish relationships between sociodemographic characteristics of people to estimate the corresponding MPI. In this sense, the research question is: What machine learning model allows the most accurate estimation of multidimensional poverty at the person level using predictive variables of a sociodemographic nature and with a limited amount of training data?

The databases used in this study corresponds to the National Survey of Employment, Unemployment, and Underemployment (ENEMDU) and Census of Population and Housing (CPH). The ENEMDU database contains sociodemographic variables and the calculations to obtain the MPI. However, the data in this database is limited because the survey is carried out following a probabilistic sampling strategy. This database is used for the training and validation process. On the other hand, the CPH database has observations for all the populations but it does not have enough variables to calculate de MPI. The model will be applied to this database to obtain an estimation of the MPI for all the population.

In section 2, the main concepts and related works about social science, ML, and multidimensional poverty are described. Section 3 explains in detail the followed methodology, including the data preprocessing in section 3.A, the model exploration in section 3.B, and fine-tuning in section 3.C. Following, section 4 presents the results obtained from the application of the models in the test dataset and the CPH database. A discussion about the obtained results is carried out in section 5. In section 6 some conclusions and future work are stated.

Related work

Social Science and Machine Learning

It is important to find a common point where the knowledge of ML and Social Science can be harnessed. However, before finding this common point, it is important to analyze the differences and similarities between these fields to have a better perspective of what they can contribute to the other. First, the philosophy behind the analysis in these fields is very different. Quantitative sociological studies begin with the proposition of research questions and hypotheses about how the world works and through theorizations and assumptions around the available data, it tries to explain a social phenomenon or individual and collective behaviors (Rudin, 2015). On the other hand, in ML the objective is not to explain the phenomena but to predict an outcome based on the only premise that the data has been obtained independently from an unknown distribution. It can then be said that sociological theory is hypotheses-driven, while ML is data-driven. Generally, ML starts with the data to later create a hypothesis, while sociology starts with the hypothesis statement from the beginning (Chen et al., 2018; Rudin, 2015).

Another important difference is the way the models are handled. In quantitative studies in sociology, the model (usually a linear regressor) is theorized and established before analyzing the data. However, in ML, several models are tested to determine which one best fits the data. Since ML focuses mainly on prediction for unseen data, its models do not provide a causal explanation for the analyzed phenomena, but rather emphasize adjusting the models and improving the accuracy of the predictions. This is a problem from a sociological point of view where the objective is to explain the whys and hows of observed phenomena (Chen et al., 2018; Rudin, 2015).

In addition, sociology generally generates conclusions based on multiple sources of information. Meanwhile, ML only works with a single data source. That is why applying ML methodologies in social analysis is a great challenge for researchers (Chen et al., 2018; Rudin, 2015). However, recent studies in the field of ML have focused their efforts on explaining the

phenomena, and although there is still only one source of data, the technical challenges have been raised to be able to analyze multiple sources to be coupled with the methodologies of the social sciences (Wallach, 2016).

One of the fields of study of the social sciences, and the one that concerns this study, is poverty. The notion of poverty is based on a value judgment regarding what are the minimally adequate levels of well-being in societies; it also refers to the degrees of deprivation that are intolerable (Moreno, 2017). There are three approaches to measuring poverty: the first corresponds to the utilitarian approach in which poverty is associated with the disposition of monetary income; a second approach is linked to Rawls's approach to justice, who raises the notion that societies must guarantee access to a series of primary goods or basic needs; lastly, there is the capabilities approach whose conceptual basis is articulated around poverty, human freedoms and the multidimensional nature of poverty (Denis et al., 2010).

Currently, poverty is estimated through socioeconomic household surveys. This approach is costly and time-consuming to carry out (Devarajan, 2013). However, below are described several studies that make use of ML techniques to enhance the estimation of poverty.

In Talingdan (2019) different machine learning algorithms are compared for the classification between a poor and a non-poor person based on information from the Community Based Monitoring System (CBMS) in Lagangilang, Abra, Philippines. Information about Health, Nutrition, Housing, Water and sanitary systems, education, income, employment, peace, and order, is considered. Algorithms such as Naïve Bayes (NB), ID3, Decision Trees, Logistic Regressions, and K-Nearest Neighbors (KNN) are used. Naïve Bayes classifier outperformed all the four algorithms for predicting households that are poor and non-poor.

Kshirsagar et al. (2017) apply machine learning techniques to generate ProxyMeans Tests (PMT) which are quick surveys that allow estimating the probability that a person is poor or not, based on an approximation through the selection of variables related to poverty. The database used is based on national household surveys in Zambia. A set of variables is selected, a model is estimated using those variables to predict the poverty level of a household. The model obtained is capable of classifying poor households from non-poor households and is also applicable to different population segments of the country.

Similarly, Kambuya (2020) applies the Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) and Random Forest (RF) models, to improve the variable selection process and the performance of the PMT models. The results show that RF-based PMTs for their selection of variables, reduce the number of poor households classified as non-poor (exclusion error) and increase the accuracy when estimating the poverty rate at the national, urban, and rural levels. While the selection of variables based on LASSO, present better results compared to RF in terms of reducing the inclusion error (non-poor households classified as poor). Sohnesen & Stender (2017) also, use LASSO and RF to predict poverty using data of a period of one year. The results indicate that RF is a good predictor of poverty and obtains more robust estimates compared to Linear Regression estimators.

Several studies conclude that RF is one of the best algorithms for estimating poverty. Otok & Seftiana (2014) determines that RF is accurate in identifying poor households that are candidates for social assistance programs in Indonesia. Thoplan (2014) uses RF to estimate poverty in Mauritius, the results showed that RF is the most accurate method for estimating poverty. McBride & Nichols (2015) successfully apply RF to improve the precision of PMT compared to linear regressions. They conclude that the RF model can significantly improve

PMT performance by 2 to 18%. Another study similarly compares different data mining methods for poverty classification based on censuses and surveys applied to the population. It is concluded that RF outperforms Logistic Regression and Support Vector Machine (SVM), in addition to being relatively faster than the other methods (Korivi, 2016).

In addition to the comparison between methods to determine the most suitable for estimating poverty, there are also studies where different sources of information are used, to find patterns that allow estimating poverty more precisely. For example, Lerman et al. (2016) obtain indicators of economic income and education based on georeferenced Twitter interaction. Jean et al. (2016) use high-resolution satellite imagery in conjunction with machine learning algorithms to predict poverty in African countries. As well as Piaggese et al. (2019) use satellite imagery data to predict urban poverty in poor countries.

Similarly, Pokhriyal (2019) uses multiple sources of information to map poverty, establishing relationships between poverty and auxiliary data sources, such as cell phone records, satellite images, weather measurements, and Open Street Maps. Poverty is approached as a regression problem where it is sought to estimate a poverty index value for each region, taking as a reference the poverty value obtained through census information.

On the other hand, Khaefi et al. (2019) identify characteristics obtained from Call Detail Records (CDR), which allow predicting wealth and poverty in New Guinea, combining CDR data with survey data. Techniques such as Principal Component Analysis (PCA) and Multiple Correspondence Analysis (MCA) are used to obtain the relative index of multidimensional wealth in households. In addition, it uses feature selection techniques such as Fast correlation-based filter (FCBF), Boruta, and XGBoost. Finally, five algorithms are applied to estimate the relative multidimensional wealth index. The algorithms used are SVM, NB, Elastic-net, Neural networks (NN), and Decision trees. The researchers conclude that CDRs are better suited for generating asset-related indicators and quantile rankings based on the wealth index of individual households. However, they are not suitable for estimating the relative value of the wealth index.

Multidimensional Poverty

Multidimensional poverty is an approach to assess poverty that arises from the question that well-being is associated with income and consumption Añazco & Pérez (2016); under this perspective analysis, it is necessary to evaluate social welfare from new non-monetary dimensions (Denis et al., 2010). Therefore, poverty for this approach represents a situation of insufficient realization of certain capacities considered elementary (Añazco & Pérez, 2016). The multidimensional poverty index (MPI) is a methodology developed by Alkire and Foster in 2007 and from its formulation it has become the most widely used statistical practice to measure multidimensional poverty worldwide (Añazco & Pérez, 2016). This index has been incorporated into the annual Human Development reports developed by the United Nations Development Program (UNDP) from 2010 to the present. The multidimensional poverty index allows identifying the simultaneous deprivations that the individual experiences in the enjoyment of their rights (Quinde Rosales, Bucaram Leverone, Saldaña Vargas, & Martínez Murillo, 2020).

The Multidimensional Poverty Index (MPI) makes it possible to identify the simultaneous deprivations that the individual experiences in the enjoyment of their rights (Rosales et al., 2020).

Studies in Latin America regarding multidimensional poverty have been directed towards a basic set of dimensions such as education, health, employment, social protection, housing conditions, and basic services. These are consistent with the findings of participatory studies at the international, regional or national level (Clausen et al., 2019). Many countries such as Colombia (Salazar et al., 2011), Mexico (CONEVAL, 2016), Chile (Social, 2015), El Salvador (Munguía, 2017) measure the MPI based on the methodology proposed by Alkire and Foster (2011), and adopted by the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (CEPAL) as the standard for the region.

In Ecuador, the MPI is calculated from the sociodemographic information collected through the ENEMDU household survey. The data is stored in a database that contains the answers of each respondent. Then, based on data related to education, health services, access to food and water, and social security, the MPI is calculated for each individual and then extended to the familiar unit. This survey is applied only to the main cities of the country which implies that many regions within the country and cities are not considered. Besides, this survey follows a probabilistic sampling strategy. Therefore, the overall results are just a probabilistic approximation based on the expansion factor from the sampling strategy (Añazco & Pérez, 2016).

Regarding the multidimensional poverty related to ML in Ecuador, Viscaino Caiche (2019) performs a Statistical Matching between the variables of the Living Conditions Survey (ECV) and the CPH 2010, to subsequently estimate the MPI at the regional, provincial and cantonal level. Using Decision Trees and NN, an explanatory model of poverty is found. Finally, the Poverty Index is estimated through a Logistic Regression. The results show that the province with the highest poverty rate is Morona Santiago, while Galapagos is the province with the lowest poverty rate.

Methodology

The type of study corresponds to a causal cross-sectional non-experimental quantitative design. Non-experimental designs "are carried out without the deliberate manipulation of variables and phenomena are observed in their natural environment to analyze them" (Sampieri Hernández et al, 2014, p. 152). Additionally, cross-sectional causal designs "describe relationships between two or more categories, concepts or variables at a given time based on the cause-effect relationship" (Sampieri Hernández et al, p. 158); In this sense, in the different evaluated models of machine learning, a series of predictive variables of a sociodemographic nature are included that affect multidimensional poverty.

This study starts with the collection of the databases ENEMDU and CPH 2010. Using the Political Administrative Division (DPA), which is a codification strategy that assigns an identifier for each city, area, and sector in the country. The data of Cuenca city is extracted from both databases.

Due to the CPH is carried out every 10 years, and the 2020 version is not yet available. Therefore, the 2010 version is used. In addition, the ENEMDU 2010 survey is used to coincide with the temporal context.

The databases are looked up to find common variables. Most of them are related to socio-demographic information, such as education, housing, employment, marital status, age, sex, etc. 33 common variables were found. In the process of identifying common variables between the databases, it was found that the variables related to the DPA coding of the cities, areas, and sectors were present in both databases and had the same coding. However, they were

not included as common variables to avoid the model having a bias towards the geographic location of the observation.

Each of these variables has its structure. The objective is to have the same structure between corresponding common variables, so the next step is to process them to change their original structure to match with the corresponding common variable. Thus, the ML can be used with both databases, because their input variables have the same structure. This process is described in detail in section 3.A.1.

The input features of the machine learning models must have specific characteristics to facilitate the training process. Therefore, categorical and numerical features must be preprocessed. The method is described in detail in section 3.A.2. After this procedure, 140 input features were obtained.

Once the data is ready, the 3440 available observations from the ENEMDU database, are split into training and test datasets, with a ratio of 80% training and 20% test, following a random sampling strategy.

Ten ML models, from simple linear regressors to ensemble models like RF, were trained to find the most suitable for estimating the MPI using the common variables as input features. This process is explained in detail in section 3.B.

The models with good performance are further tested adjusting their hyperparameters using a GridSearch strategy, which tries to find the best combination of parameter's values from given distributions, testing every single combination. This is achieved by first picking a combination of hyper-parameters. Then, with those hyperparameters, a training and cross-validation process is performed. This is done for each combination. After all the combinations are trained and validated, the one with the best cross-validation performance is chosen as the best model (scikit-learn, 2021).

Finally, the best model can be used to estimate the MPI using the CPH common variables as input features. Thus, we have the MPI for every observation in the CPH database, without any region excluded.

Data preprocessing

Recoding

To have the same structure between the common variables on the ENEMDU and CPH database, many variables must be recoded. Table 1 shows an example for a variable that represents the educational level. It can be noticed that option 3 from both databases, which represents the kinder garden, is merged with option 4 that represents primary education. Option 8: "Ciclo Postbachillerato" from the ENEMDU database is merged with option 7: "Superior no Universitario" of the new coding proposal. Also, the order in the options for both databases is changed to match the proposed recodification.

The same strategy is applied to all the variables that have a different structure from their correspondent common counterpart.

It is important to mention that during this process it was found that some of the variables contained an assigned category (number 99) for when the respondent cannot answer the question. One might think that these values do not represent relevant information and should be discarded from the analysis. However, the fact that the respondent does not answer

may have deeper connotations. For example, if the respondent is not able to answer “how many rooms are destined only for resting?” it may imply an overcrowding situation. That is why null values must also be taken into account as a source of information. Therefore, when recoding the variables, there must be a coding for these values.

Table 1
Recoding Variable “Level of Instruction”

<i>ENEMDU</i>		<i>CPH</i>		
<i>Variable</i>	<i>Options</i>	<i>Variable</i>	<i>Options</i>	<i>New coding</i>
<i>What is the highest level of instruction you attend or attended?</i>	<i>1.0: ‘None’,</i>	<i>Level of instruction</i>	<i>1.0: ‘None’,</i>	<i>1.0: ‘None’,</i>
	<i>2.0: ‘Literacy Center’,</i>		<i>2.0: ‘Literacy Center’,</i>	<i>2.0: ‘Literacy Center’,</i>
	<i>3.0: ‘Preschool’,</i>		<i>3.0: ‘kinder garden’,</i>	<i>3.0: ‘Primary school’,</i>
	<i>4.0: ‘Primary school’,</i>		<i>4.0: ‘Primary school’,</i>	<i>4.0: ‘Basic education’,</i>
	<i>5.0: ‘Highschool’,</i>		<i>5.0: ‘Basic education’,</i>	<i>5.0: ‘Highschool’,</i>
	<i>6.0: ‘Basic education’,</i>		<i>6.0: ‘Highschool’,</i>	<i>6.0: ‘Middle education’,</i>
	<i>7.0: ‘Middle education’,</i>		<i>7.0: ‘Middle education’,</i>	<i>7.0: ‘Non-university superior’,</i>
	<i>8.0: ‘Post-Baccalaureate Cycle’,</i>		<i>8.0: ‘Non-university superior’,</i>	<i>8.0: ‘University Superior’,</i>
	<i>9.0: ‘Higher education’,</i>		<i>9.0: ‘University Superior’,</i>	<i>9.0: ‘Postgraduate’</i>
	<i>10.0: ‘Postgraduate’,</i>		<i>10.0: ‘Postgraduate’</i>	
<i>99.0: ‘It is ignored’</i>				

Source: The authors
Sources: ENEMDU(2010), CPH (2010)

Data Conditioning

This study considers two kinds of variables: numerical variables and categorical variables. Each of them needs their conditioning to simplify its representations and help in the training process because most training algorithms are optimized to use only numbers as input features, they could binary or decimal points (Géron, 2019).

For numerical features such as the age or the number of bedrooms in a house, the conditioning is called feature scaling. This is done because most ML models do not perform well when their input has different scales. There are two common methods to scale the features. 1) mix-max scaling and 2) standardization.

mix-max scaling (a.k.a. normalization) consists of shifting and rescaling the values so that they range from 0 to 1. This is achieved by subtracting the minimum value and dividing the maximum minus the minimum. Standardization on the other hand first subtracts the mean (to have a zero-mean distribution) and then divides the result by its standard deviation (to have unit variance) (Géron, 2019).

In this study, the standardization is used through the StandardScaler function of the sklearn library.

For categorical features, many strategies can be applied. The most popular are Ordinal Encoding and One Hot Encoding. Both strategies convert a categorical variable into numbers. Ordinal Encoding assigns a number for each category. This can be used with ordered categories such as bad, average, good, excellent. Not all the categorical variables represent an ordered list. In that case, the One Hot Encoding must be used. This strategy creates one binary variable for each category, being 1 only the binary variable that corresponds with the category that represents. Table 2 shows an example of the One Hot Encoding strategy.

Table 2

One hot Encoding

<i>Categorical Variable</i>	<i>One Hot Encoding</i>			
<i>Values</i>	<i>Cat A</i>	<i>Cat B</i>	<i>Cat C</i>	<i>Cat D</i>
<i>A</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>D</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>
<i>C</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
<i>B</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Source: The authors.

It can be noticed that one categorical variable with four categories is transformed into 4 binary variables. For all the categorical variables in our study, the One Hot Encoding strategy is used through the OneHotEncoder function of the sklearn library. After the feature conditioning process, we pass from 33 to 140 variables

Model Exploration

To evaluate each model, a performance criterion must be chosen. This criterion usually represents the distance between two vectors (a.k.a. *norm*), the vector of prediction, and the target vector. For regression models, the most common criterion is the *Euclidean distance*, which is calculated by the Root Mean Square Error (RMSE), also called the l_2 norm. RMSE assigns a higher weight for larger errors. Another distance measure is the *Manhattan norm* calculated by the Mean Absolute Error (MAE), also called the l_1 norm. The higher the norm index, the more focus is on large errors and neglects small ones. That is why the RMSE is more sensitive to outliers than the MAE, but when there are just a few outliers RMSE is preferred (Géron, 2019).

For this study RMSE is used because the aim is to penalize large prediction errors, the outliers are quite rare, and because it uses the same units as the dependent variable (MPI). So, the results are easy to compare.

Below, the process for training a Linear Regressor is shown. The same steps are followed for all the other models.

1. Train the linear regressor with default hyperparameters from the python library sklearn as shown in Table 3.

Table 3*Linear Regressor Hyper-Parameters*

<i>Hyper Parameter</i>	<i>Value</i>
<i>fit intercept</i>	<i>True</i>
<i>normalize</i>	<i>False</i>
<i>positive</i>	<i>False</i>

Source: The authors

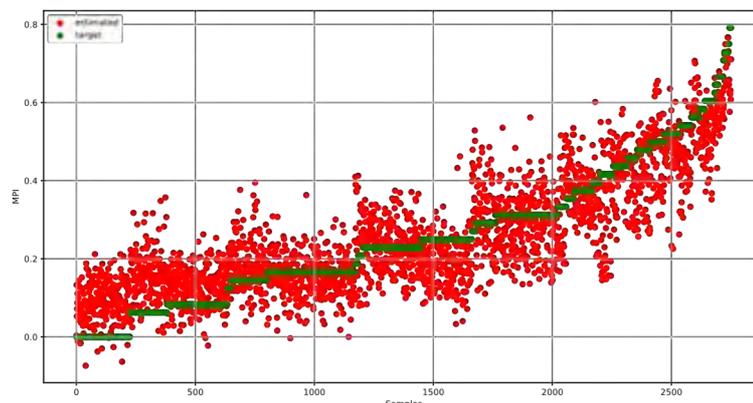
2. Calculate the RMSE. In theory, the MPI can have values between 0 and 1. Under this condition, an RMSE of 0.0855, as shown in Table 4, is equal to a relative error of 8.55%. However, the real range of the MPI in the dataset is between 0 and 0.7917. So, the relative error is 10.80%. The second approach is better because considers the real data, and avoid overestimating the performance of the model.

Table 4*Training Performance Measures of the Linear Regressor*

<i>RMSE</i>	<i>Range</i>	<i>% error</i>
<i>0.0855</i>	<i>0.7917</i>	<i>10.80%</i>

Source: The authors

3. Generate a scatter plot to visualize the predictions on the training set as shown in Figure 1. As the dataset is sorted according to the survey sampling strategy it would be very difficult to visualize. For that reason, the samples are sorted in ascending order. The target MPI from the training dataset is plotted in green and the MPI estimated by the linear regression is plotted in red.

Figure 1*Estimated MPI vs Target MPI with the Linear Regressor from the Training Dataset*

Source: The authors

4. Perform cross-validation with 10 folds. The cross-validation method with 10 folds equally divides the dataset into 10 small datasets following a random sampling strategy. Then, the first nine datasets are used to train the model, while the 10th remaining dataset is used to test the performance. The process is repeated until each dataset has been used for testing. The RMSE for each fold is calculated. The mean of all the RMSE is calculated to obtain an overall

performance measurement that considers each iteration of the cross-validation process. Also, the relative error is calculated from the range of the MPI in the dataset.

Table 5

Cross-validation Performance Measures of the Linear Regressor

<i>Mean RMSE</i>	<i>Range</i>	<i>% error</i>
0.0905	0.7917	11.43%

Source: The authors

To be able to compare the models, it is necessary to define the concepts of underfitting and overfitting. This allows understanding the overall performance of the model and permits the proposal of some solutions to improve it.

Comparison between models

When a model is underfitting means that is not capable to make good estimations, mainly for two reasons. 1) The features do not provide enough information or 2) the model is not powerful enough. To fix the underfitting problem we can select a more powerful model, feed the training algorithm with better features, or reduce the constraints of the model (Géron, 2019). On the other hand, when a model is overfitting means that the model is capable to make good estimations, but only with the same data with which it was trained. When trying to estimate with different data the performance is bad. To determine if the model is overfitting it is necessary to compare the performance with training data vs the performance with unseen data. As the unseen data is not available, a way to estimate its performance is through a cross-validation process. If the training performance is much better than the cross-validation performance, the model is overfitting. Overfitting happens when the model is too complex to the amount or the noisiness of the data. To fix this problem we can simplify the models, constrain them (also called regularization), reduce the noise in the data, or feed more training data (Géron, 2019).

At this stage, multiple ML models are evaluated and compared by overfitting or underfitting analysis to identify the model that best performs in the task of estimating the MPI. The tested models are:

- Linear Regressor
- Polynomial Regressor
- Ridge Regressor
- Bayesian Regressor
- Elastic-net Regressor
- Linear SVM
- SVM, kernel: Polinomial (d=3)
- SVM, Kernel: RBF
- Decision Tree
- Random Forest

The performance of each of these models is evaluated in section 4.

Fine Tuning

Fine Tuning is the process where the hyper-parameters are adjusted to obtain the best possible model (Géron, 2019). First, it is necessary to determine the hyper-parameters available to tweak from the model.

For this case, Random Forest was chosen as the best model. So, its hyper-parameters are (scikit-learn, 2021):

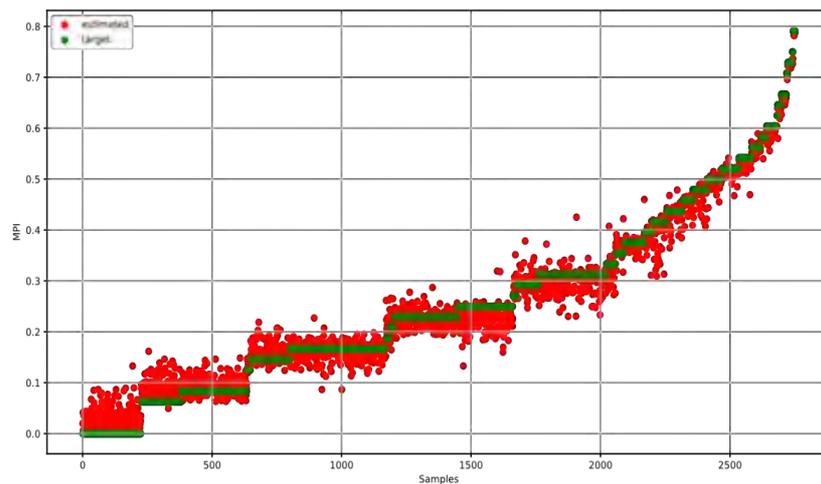
- max depth: The maximum depth of the tree.
- max features: The number of features to consider when looking for the best split.
- bootstrap: The sampling strategy. If False, the whole dataset is used to build each tree. If true, a bootstrap strategy is applied.

There are many other hyper-parameters, but those were not considered in this study.

With these hyper-parameters, an exploration grid is created. This grid contains all the possible combinations that can be explored by the search algorithm.

Figure 2

Estimated MPI vs Target MPI with the Random Forest Regressor from the Training Dataset



Source: The authors

As mentioned in section 3, the GridSearch strategy is used to explore the possible combinations of hyper-parameters. The exploration grid is shown in Table 6.

Table 6

Hyper-parameters Exploration Grid

<i>Hyper-parameter</i>	<i>Values</i>
<i>n estimators</i>	<i>10, 50, 100, 500, 1000</i>
<i>max depth</i>	<i>5, 10, 50, 100, 500, 1000</i>
<i>max features</i>	<i>10, 50, 100, 140</i>
<i>bootstrap</i>	<i>True, False</i>

Source: The authors

According to the number of values for each hyper-parameter in the exploration grid, there are 240 possible combinations. All of them are tested by the GridSearch algorithm. In addition, with each combination, 10-fold cross-validation is performed. So, the training process is executed 2400 times. The combination with the best performance is chosen as the best model. The best combination of hyperparameters is shown in Table 7.

Table 7

Best Combination of Hyper-Parameters

<i>n estimators</i>	<i>max features</i>	<i>max depth</i>	<i>bootstrap</i>
<i>1000</i>	<i>50</i>	<i>500</i>	<i>False</i>

Source: The authors

The performance is measured through the mean RMSE of the 10-fold cross-validation and the percentage of error based on the MPI range, as shown in Table 8.

Table 8

Performance Measures of the best Random Forest Model

<i>Mean RMSE</i>	<i>Range</i>	<i>% error</i>
<i>0.0594</i>	<i>0.7917</i>	<i>7.50%</i>

Source: The authors

It can be noticed that after adjusting the hyper-parameters the cross-validation performance of the model was improved, going from an error of 8.95% to 7.50%.

Results

Table 9 shows the results obtained from all the tested models. It can be noticed that Linear Regressor has a consistent performance along with training and cross-validation. However, the error is around 11%, which is considered under-fitted. Polynomial Regressor, is overfitted because the cross-validation error is much higher than the training error. This can be solved using a regularized model such as Ridge Regressor, Bayesian Regressor, or Elastic-Net. The Ridge Regressor shows better performance on the cross-validation but is still overfitted. Bayesian Regressor has a good performance overall and shows consistency between training and cross-validation performance. Elastic-net shows consistency between training and cross-validation but is still under-fitted with an error of 11%.

Continuing with other models, Linear SVM is under-fitted with an error of around 20%. For no Linear SVM, two kernels were tested. 1) Polynomial Kernel with a degree of 3 and 2) Radial basis function (RBF) Kernel. SVM with Polynomial kernel shows good performance but it is still considered under-fitted with a cross-validation error of 10%. Similarly, SVM with RBF kernel has an error of 10% on the cross-validation. On the other hand, the Decision Tree is also highly overfitted with 0.5% of training error and 11% of the cross-validation error. Finally, Random Forest shows the best cross-validations performance among all of them. It is quite overfitted with a training error of around 3% and a cross-validation error of 8.95% but this can be solved by adjusting the hyper-parameters. Thus, Random Forest is chosen as the best model, Figure 2 shown the plot from this model.

Table 9*Comparison of Models Performance with Training data set*

<i>Model</i>	<i>Training</i>		<i>Cross-Validation</i>	
	<i>RMSE</i>	<i>% error</i>	<i>Mean RMSE</i>	<i>% error</i>
<i>Linear Regressor</i>	0.0911	11.5	0.0904	11.42
<i>Polynomial Regressor</i>	0.0117	1.48	1.6552	209.07
<i>Ridge Regressor</i>	0.0135	1.70	0.0758	9.57
<i>Bayesian Regressor</i>	0.0518	6.55	0.0742	9.36
<i>Elastic-net Regressor</i>	0.0901	11.38	0.0923	11.65
<i>Linear SVM</i>	0.1651	20.86	0.1653	20.88
<i>SVM, kernel: Polinomial (d=3)</i>	0.0683	8.63	0.0807	10.19
<i>SVM, Kernel: RBF</i>	0.0693	8.75	0.0809	10.22
<i>Decision Tree</i>	0.0046	0.58	0.0874	11.04
<i>Random Forest</i>	0.0288	3.64	0.0709	8.95

Source: The authors

As mentioned above, the main purpose of this study is to estimate the MPI through an ML model using sociodemographic variables as inputs. With the trained model, now we can estimate the MPI for new unseen data. We expect an error similar to the one obtained with the cross-validation process.

Usually, the only way to evaluate the final performance of the model is through the reserved test dataset. This is described in section 4.A. However, in this particular case, it is available another way to evaluate the performance based on the comparison between the overall MPI indexes of the ENEMDU database as the ground truth and the overall MPI indexes calculated from the estimated MPI of the CPH database. This is described in detail in section 4.B.

Test Dataset

Using the reserved 20% of the data to evaluate the final performance of the model has the advantage of having the target value of MPI to be compared with. So, we can plot the estimated MPI vs the target MPI, as shown in Figure 3.

The measures of RMSE and the percentage of error, between the estimated MPI and the target MPI from the test dataset, are shown in Table 10.

Table 10*Performance Measures with the test Dataset*

<i>Mean RMSE</i>	<i>Range</i>	<i>% error</i>
0.0592	0.7917	7.48%

Source: The authors

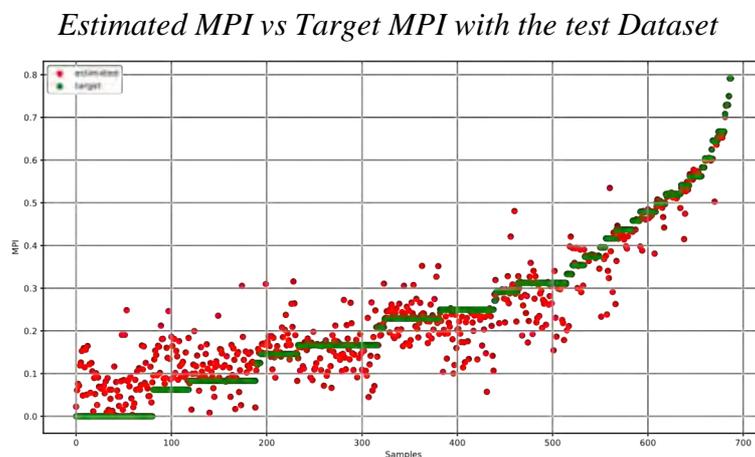
Overall MPI

When the model is used with the CPH database, we do not have the expected value to compare with. Therefore, the RMSE and the percentage of error cannot be calculated.

However, the performance can be approximately measured if the overall results between the estimated MPI from the CPH database and the target MPI from the ENEMDU database are compared. 4 indexes that represent a summary of the multidimensional poverty in a region can be calculated. These 4 indexes are:

- MPR: Multidimensional Poverty Ratio. The percentage of the population with Multidimensional Poverty. $MPI \geq 0.33$.
- EMPR: Extreme Multidimensional Poverty Ratio. The percentage of the population with Extreme Multidimensional Poverty. $MPI \geq 0.5$.
- A: The average MPI among the population with Multidimensional Poverty.
- MPI: The average MPI in the region.

Figure 1



Source: The authors

For Cuenca city, Table 11 shows a comparison between the target indexes from the ENEMDU database vs the estimated indexes from the CPH database using the tuned RF model.

Table 11

Target vs Estimated Multidimensional Poverty in Cuenca

	ENEMDU		CPH		Difference
	Negative	Positive	Negative	Positive	
MPR	74.53%	25.47%	74.25%	25.75%	0.28%
EMPR	88.41%	11.59%	95.15%	4.85%	6.74%
A	0.4877		0.4245		0.063
MPI	0.1242		0.1092		0.015

Source: The authors

It can be noticed, that the estimated indexes are very similar to the target indexes. The difference in MPR is only 0.28%, which means that the model estimates almost the same value of MPI close to the multidimensional poverty threshold (0.33). The difference in EMPR (6.74%) shows that the model estimated considerably higher values of MPI close to the extreme multidimensional poverty threshold (0.5). About the average MPI among the

population with multidimensional poverty (A), the difference is only 0.0028, which represents 7.95% of the MPI range. Overall MPI in the region differs by 0.015, which is 1.89% of the range.

Discussion

All the analysis and results of this study move around the data, so its preprocessing is essential for the study. This preprocessing not only covers technical aspects such as the cleaning of the database, the imputation of missing values, or the conditioning of variables but also has a strong component of theoretical concepts that must be taken into account to maintain or discard important features.

Talking about those theoretical concepts, it is identified that the possibility of measuring the MPI through the ML, opens the range of possibilities to continue rethinking the established concepts according to social dynamics and its contemporary problems, integrating multiple variables of analysis that make visible not only those aspects that have traditionally been measured, but others that determine “poverty” in different contexts and are from a more subjective nature, such as the level of access to justice, the level of social cohesion of a territory, or the time devoted to activities considered a priority for people.

When analyzing the target MPI values (plotted in green) in Figure 1 it can be seen that the statistical calculation that yields these values works through thresholds. That is why when ordering the data ascendingly, steps defined with a constant value of MPI can be observed. This calculation methodology hides the random component of the observations. On the other hand, however, the features used as inputs for the training process maintain the typical random nature of a survey. For this reason, it is quite difficult for the models to generate estimates close to the target values. This may be one of the reasons why RF performs better than other models. Since RF, internally uses decision trees and they work precisely with thresholds for regression tasks.

Another model that performed well is the Bayesian Regressor. However, when adjusting its hyper-parameters, the improvement was not significant. That is why a deep fine-tuning analysis has not been included.

On the other hand, it can be noted that the models with the worst performance are those of a linear nature. This is an important observation since most sociological studies start with linear models to explain the phenomena, which would be an error in the case of multidimensional poverty.

The performance obtained by RF, both in the cross-validation (7.5%) and in the test dataset (7.48%) is considered acceptable given that, from a theoretical point of view, multidimensional poverty is a complex phenomenon that can have several edges and variables that have not been considered in this study.

Finally, it is necessary to analyze the comparison of the indices calculated based on the estimates made by the model with the CPH data against the indices calculated statistically from the ENEMDU database. Although the indices of the ENEMDU cannot be considered a ground truth, since they are calculated by applying the expansion factor of the survey, they can give us an approximation about the performance of our model. If the indices calculated based on our estimates are similar to those estimated statistically, it can be said that the model is fulfilling its purpose of estimating, as precisely as possible, the MPI for the entire population of a specific region. When observing the results, it can be seen that this is the case, the difference of the

average value of MPI in the entire region is 0.015, a difference of only 1.86 % of the range. However, it has to be noted that the model is very accurate close to the Multidimensional Poverty threshold (0.33) but its accurate decrease is close to the Extreme Multidimensional Poverty threshold (0.5).

Currently, there are just a few studies that address the estimation of multidimensional poverty using machine learning techniques. The study that most closely resembles ours is the one carried out by Viscaino Caiche (2019), where it performs a statistical matching between the variables of the Living Conditions Survey (ECV) and the CPH 2010. Unlike our study that uses regression models to estimate a numerical value of IPM, Viscaino Caiche (2019) uses decision trees, neural networks, and logistic regression to obtain a classification model between rich and poor. Obtaining a precision of 80.84% for the decision tree model, 83.65% for the artificial neural network model, and 83.55% for the logistic regression model. On the other hand, our regression model has an approximate accuracy of 93%.

Conclusions

This study has shown that through ML techniques, substantial aspects such as the territorialization of MPI over a meso and micro-scale is a reality, which contributes decisively to the development of science in the area of human well-being and the decision making in public policy.

In Ecuador, multidimensional poverty has been estimated only in large territorial areas and has not reached the canton level due to the lack of precise information on aspects inherent to said estimation. The application of the Random Forest model that has been tested in this study has given the possibility of estimating the MPI of individuals at the sector level in the Cuenca canton, which implies a substantial advance for the visibility of poverty in its multiple dimensions as one of the most complex social problems in the country. In addition, the model has managed to cover the MPI both in the urban area and in the rural area, which will help to analyze the impact of the differences underlying the provision of services and the guarantee of rights in the territories as a substantive input for making decisions of the decentralized autonomous governments.

This research finding is also relevant insofar as it manages to establish multidimensional poverty levels and identify extreme multidimensional poverty, with which the target populations can be taken into account to focus affirmative actions and urgent interventions on the less favored territories. as well as long-range policies that make it possible to achieve a model of sustained territorial equity.

The robustness of the Random Forest model and its application in the estimation of MPI proven through the validation of accuracy with other similar models will allow it to be applied in different latitudes with the same success, which is why it constitutes a basic tool for academia and public management.

In the information age, the social sciences not only have the opportunity, but also the obligation to adopt new technologies in their research. It is well known that interdisciplinary work has led to great advances as a society. It is time for the social sciences to work together with other sciences. Not only between sciences of the same family, such as statistics and economics but also with sciences such as engineering to bring technical advances to the social field and in the same way social advances to technical fields. In this way, both fields benefit. The social sciences become more precise in their theories and engineering becomes more humane.

After this first approach between data analysis techniques and the social sciences, it can be noted that joint work allows carrying out researches that would be very difficult separately. As seen in the results, the ML has great potential as support in studies of a social nature. Mitigating one of the main problems of the social sciences such as the scarcity of data.

It is important to mention that ML algorithms are only tools, which by themselves will not solve the problems of the social sciences. ML will perform well as long as there is strong theoretical support and it is applied to appropriate research problems. The theory of social sciences should be the guide for the research design and the interpretation of the results. A guide that the data alone will never provide.

The tasks of data cleaning, model training, and prediction of the MPI can be automated since they are nothing more than programming codes that are executed sequentially. However, there is a large part of this work that cannot be automated since it requires the exclusive intervention of a person, specifically in the task of identifying and recoding common variables. These tasks require a sense of association between the information provided by each variable and knowledge of their meaning, tasks that for now cannot be executed by a computer.

There is still a long way to go in this bridge formed between these sciences, the scarcity of data is not the only problem to be solved and multidimensional poverty is not the only variable of interest. It is still difficult to analyze all the information found in this infinite source of information such as social networks. Phenomena such as xenophobia, racism, misogyny, violence, security, public policies, among others, are issues that can be addressed from data science in conjunction with social sciences. This cooperative work must be maintained. Therefore, universities, companies, and society, in general, must promote this type of multidisciplinary study.

Acknowledgments

This work is the result of the research project entitled "Unreported crime figure: Links between multidimensional poverty and the human right of access to justice", funded by the Research Directorate of the University of Cuenca (DIUC) in the period 2019 -2021, Cuenca, Ecuador.

References

- Alkire, S., & Foster, J. (2011). Counting and multidimensional poverty measurement. *Journal of Public Economics*, 95(7-8), 476–487. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2010.11.006>
- Añazco, R. C., & Pérez, F. J. (2016). Medición de la Pobreza Multidimensional en Ecuador. *Revista de Estadística y Metodología*, 27–51.
- Chen, N. C., Drouhard, M., Kocielnik, R., Suh, J., & Aragon, C. R. (2018). Using machine learning to support qualitative coding in social science: Shifting the focus to ambiguity. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 8(2). <https://doi.org/10.1145/3185515>
- Clausen, J., Vargas, S., & Barrantes, N. (2019). Do official multidimensional poverty measures in Latin America reflect the priorities of people living in poverty? *Ensayos de Política Económica*, 2(6), 15–34.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2016). *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Metodologia.aspx>
- Denis, A., Gallegos, F., & Sanhueza, C. (2010). Medición de pobreza multidimensional en Chile. Santiago de Chile: Universidad Alberto Hurtado.

- Devarajan, S. (2013). Africa's Statistical Tragedy. *Review of Income and Wealth*, 59(SUPPL1), S9–S15. <https://doi.org/10.1111/roiw.12013>
- Géron, A. (2019). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. O'Reilly Media.
- Grimmer, J. (2015). We are all social scientists now: How big data, machine learning, and causal inference work together. *PS, Political Science & Politics*, 48(1), 80.
- Grimmer, J., Roberts, M. E., & Stewart, B. M. (2021). Machine Learning for Social Science: An Agnostic Approach. *Annual Review of Political Science*, 24(1), 395–419. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-053119015921>
- Hand, D. J. (2007). Principles of data mining. *Drug Safety*, 30(7), 621–622. <https://doi.org/10.2165/00002018-200730070-00010>
- Hindman, M. (2015). Building Better Models: Prediction, Replication, and Machine Learning in the Social Sciences. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 659(1), 48–62. <https://doi.org/10.1177/0002716215570279>
- Jean, N., Burke, M., Xie, M., Davis, W. M., Lobell, D. B., & Ermon, S. (2016). Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science*, 353(6301), 790–794. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7894>
- Kambuya, P. (2020). Better Model Selection for Poverty Targeting through Machine Learning: A Case Study in Thailand. *Thailand and The World Economy*, 38(1), 91–116.
- Khaefi, M. R., Hendrik, Burra, D. D., Dianco, R. F., Alkarisya, D. M. P., Muztahid, M. R., Zahara, A., Hodge, G., & Idzalika, R. (2019). Modelling Wealth from Call Detail Records and Survey Data with Machine Learning: Evidence from Papua New Guinea. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2019*, 2855–2864. <https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9005519>
- King, G., Keohane, R. O., & Verba, S. (1995). The importance of research design in political science. *American Political Science Review*, 89(2), 475–481.
- Korivi, K. (2016). *Identifying poverty-driven need by augmenting census and community survey data*. [master's thesis, Kansas State University]. Institutional Repository UN. <http://hdl.handle.net/2097/34556>
- Kshirsagar, V., Wieczorek, J., Ramanathan, S., & Wells, R. (2017). *Household poverty classification in data-scarce environments: a machine learning approach*. arXiv. <http://arxiv.org/abs/1711.06813>
- Lazer, D., Pentland, A. S., Adamic, L., Aral, S., Barabasi, A. L., Brewer, D., Christakis, N., Contractor, N., Fowler, J., & Gutmann, M. (2009). Life in the network: the coming age of computational social science. *Science (New York, NY)*, 323(5915), 721.
- Lerman, K., Arora, M., Gallegos, L., Kumaraguru, P., & Garcia, D. (2016). *Emotions, Demographics and Sociability in Twitter Interactions* (tech. rep. No. 1). <http://sentistrength.wlv.ac.uk/>
- Maldonado, C. E. (2019). Three reasons for social sciences metamorphosis in the 21st century. *Cinta de Moebio*, 64(64), 114–122. <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2019000100114>
- Mcbride, L., & Nichols, A. (2015). *Improved poverty targeting through machine learning: An application to the USAID Poverty Assessment Tools* (tech. rep.).
- Molina, M., & Garip, F. (2019). Machine Learning for Sociology. *Annual Review of Sociology*, 45, 27–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-soc-073117041106>
- Moreno, M. (2017). La medición de la pobreza. *Revista Sociedad*, (37).

- Munguía, F. (2017). Medición multidimensional de la pobreza: El Salvador. In Villatoro, P. (Comp.), *Indicadores no monetarios de pobreza: avances y desafíos para su medición*. (págs.105-109). Comisión Económica para América Latina y El Caribe.
- Otok, B. W., & Seftiana, D. (2014). *The Classification of Poor Households in Jombang With Random Forest Classification And Regression Trees (RF-CART) Approach as the Solution In Achieving the 2015 Indonesian MDGs' Targets* (tech. rep.). www.ijsr.net
- Piaggese, S., Gauvin, L., Tizzoni, M., Adler, N., Verhulst, S., Young, A., Price, R., Ferres, L., Cattuto, C., & Panisson, A. (2019). *Predicting City Poverty Using Satellite Imagery* (tech. rep.). <https://censusreporter.org/topics/income/>
- Pokhriyal, N. (2019). Multi-View learning from disparate sources for poverty mapping. *33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2019, 31st Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, IAAI 2019 and the 9th AAAI Symposium on Educational Advances in Artificial Intelligence, EAAI 2019*, 33(01), 9892–9893. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019892>
- Rosales, V. Q., Leverone, M. B., Vargas, M. S., & Murillo, C. M. (2020). Multidimensional Poverty Index and its relationship with Ecuadorian public spending. *Universidad y Sociedad*, 12(2), 430–436.
- Rovai, A. P., Baker, J. D., & Ponton, M. K. (2013). *Social science research design and statistics: A practitioner's guide to research methods and IBM SPSS*. Watertree Press LLC.
- Rudin, C. (February, 21, 2015). Can Machine Learning Be Useful for Social Science? <http://citiespapers.ssrc.org/can-machine-learning-be-useful-for-socialscience/>
- Salazar, A., Cuervo, Y. D., & Pinzón, R. P. (2011). Índice de pobreza multidimensional para Colombia (IPM-Colombia) 1997-2010. *Archivos de economía*, 382.
- Sampieri Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- scikit-learn. (2021). sklearn.ensemble.RandomForestRegressor. <https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestRegressor.html>
- scikit-learn. (2021). sklearn.model selection.GridSearchCV. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model%5Cselection.GridSearchCV.html>
- Social, O. (2015). Nueva metodología de medición de la pobreza por ingresos y multidimensional. Ministerio de Desarrollo Social.
- Sohnesen, T. P., & Stender, N. (2017). Is ROom Forest a Superior Methodology for Predicting Poverty? An Empirical Assessment. *Poverty & Public Policy*, 9(1), 118–133. <https://doi.org/10.1002/pop4.169>
- Talingdan, J. A. (2019). Performance comparison of different classification algorithms for household poverty classification. *Proceedings - 2019 4th International Conference on Information Systems Engineering, ICISE 2019*, 11–15. <https://doi.org/10.1109/ICISE.2019.00010>
- Thoplan, R. (2014). Random Forests for Poverty Classification. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*. 17(2).
- Viscaino Caiche, L. (2019). *Estimación de Índice de pobreza multidimensional a nivel provincial para Ecuador.[master's thesis, Universidad de Cantabria, España]*. Institutional Repository UN. <http://hdl.handle.net/10902/18129>
- Wallach, H. (2016). *Computational social science: discovery and prediction*. Cambridge University Press.

Influencia emocional en árbitros de fútbol aplicando tecnologías de sensores

Emotional influence on soccer referees applying sensor technologies

Luis Arturo Espín Pazmiño^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-1663-2489>,
Margareth Priscilla Enderica Malo²

¹Universidad Nacional de la Plata – Facultad de Informática, La Plata, Argentina
luis.espinp@ug.edu.ec

²Universidad de Guayaquil – Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas,
Guayaquil, Ecuador
margareth.endericam@ug.edu.ec

Enviado: 2021/07/11
Aceptado: 2021/09/28
Publicado: 2021/11/30

Resumen

En el ámbito deportivo, las decisiones arbitrales siempre han estado bajo la lupa de los deportistas, directivos y espectadores, por tal motivo se mantiene en constante evaluación y entrenamiento el tema de reducir el error. Es necesario exponer que la toma de decisiones se puede generar bajo la influencia directa de las emociones, puesto que el proceso de respuestas emocionales es inconsciente y pueden interferir durante el desarrollo de diversas actividades, en este caso, a las relacionadas con el arbitraje. Por ello, se genera un prototipo de sensores en función a los parámetros fisiológicos de la temperatura corporal y la frecuencia cardiaca como patrones de expresión de diversos estados emocionales de este grupo de deportistas, y a base de la representación del modelo de afectividad positiva y negativa, se identifica el estado o cambios de estados emocionales durante la ejecución de un partido. Luego, con uso del material audiovisual se realiza, con criterio de expertos, el análisis de toma de decisiones de los participantes en estas pruebas. Los árbitros participantes, en las pruebas de campo, se les registra con mayor frecuencia dos estados relacionados con valencia positiva y solo un estado de valencia negativa, sin embargo, en la mayoría de los casos, en el análisis de datos se observa que la toma de decisiones se alinea correctamente con el reglamento.

Palabras clave: estados emocionales, frecuencia cardiaca, parámetros fisiológicos.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Espín, L. & Enderica, M. (2021). Influencia emocional en árbitros de fútbol aplicando tecnologías de sensores. *Revista Tecnológica - Espol*, 33(2), 226-238.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/854>

Abstract

In the sports field, referee decisions have always been under the scrutiny of athletes, managers, and spectators. For this reason, there is constant assessment and training to reduce error. It is necessary to state that decision-making can be generated under the direct influence of emotions, since the process of emotional responses is unconscious and can interfere during the development of different activities: in this case those related to refereeing. A prototype of sensors was generated based on the physiological parameters of body temperature and heart rate as expression patterns of various emotional states of the athlete based on the representation of the model of positive and negative affectivity, the state or changes of states were identified during the execution of the match. Then, with the use of audio-visual material, an analysis of the decision-making of the participants in these tests was carried out by experts on this criterion. Two states related to positive valence and only one negative valence state was recorded more frequently in the field tests of the participating referees. However, in most cases, in the data analysis it was observed that the decision-making was correctly aligned with the sport regulations.

Keywords: emotional states, heart rate, physiological parameters.

Introducción

En la actualidad, son pocos los desarrollos tecnológicos destinados a la medición fisiológica de las emociones en el deporte. Por ello, esta investigación busca promover la implementación de las tecnologías aplicadas al deporte, relacionando estudios de las ramas de la medicina y psicología. Es así que se consigue el desarrollo de un prototipo, tomando en cuenta las bases científicas de las distintas áreas, considerando específicamente la representación del modelo de afectividad positiva y negativa (Watson y Tellegen, 1985). De acuerdo con la propuesta de ejes ortogonales (Yik, et al., 1999) (Figura 1) y con la finalidad del constante uso de las tecnologías para mejorar desempeños y aprendizajes en el ámbito deportivo, en este caso, se estudia la labor arbitral en los partidos de fútbol. Además, la utilidad de esta herramienta tecnológica permite poder realizar investigaciones de campo, no solo en el ámbito del arbitraje, sino también, en los diferentes aspectos de los deportes donde el estado emocional pueda generar un punto de inflexión en la toma de decisiones.

Figura 1

Representación del modelo de afectividad



Dado el escaso hallazgo de antecedentes investigativos en el país sobre la influencia emocional ante la toma de decisiones de los árbitros de fútbol, desde el punto de vista de esta investigación, se considera fundamental el uso de nuevas tecnologías para colaboración de futuros estudios deportivos. Con el fin de permitir la recolección de datos de las diferentes variables biométricas y, con ello, generar un apoyo en el trabajo de analítica deportiva, centrada en el rendimiento deportivo y el desempeño de los atletas.

En la mayoría de las ocasiones, las decisiones tomadas por un árbitro de fútbol son siempre cuestionadas, a través de la opinión de los espectadores del evento y de los analistas deportivos. Las decisiones tomadas por los árbitros pueden llegar a marcar el rumbo de la definición del partido, lo que hace que esta actividad de arbitraje sea indispensable para un adecuado desarrollo del juego (Escobar, et al., 2020).

La emoción es un estado afectivo intenso de breve duración que va acompañado de respuestas neurales y hormonales. Cuando se experimenta una emoción, se activa el sistema nervioso autónomo, en el que interactúan la rama simpática (donde se viven las emociones intensas, se eleva el ritmo cardíaco, se tensan los músculos y aumenta la sudoración) y parasimpática (se viven las emociones de relajación y descanso, disminuye la frecuencia cardíaca y se relajan los músculos) (Ortiz, 2010).

Las emociones son reacciones que se desencadenan en tres niveles diferentes: la experiencia emocional, los cambios corporales y la conducta. Dichas reacciones se vivencian como una fuerte conmoción del estado de ánimo (estado afectivo), suelen tener un marcado acento placentero o desagradable y van acompañadas por la percepción de cambios orgánicos, o corporales, a veces muy intensos (experiencia emocional). Los cambios corporales de la emoción se caracterizan por una elevada activación fisiológica, especialmente del sistema nervioso autónomo (sudoración excesiva, aumento de la tasa cardíaca, etc.) y del sistema nervioso somático (tensión muscular), aunque también se activan otros sistemas (hormonal, inmune, etc.) (Vindel, 2010).

Los árbitros deben estar formados en tácticas de trabajo que permitan una optimización de sus funciones. Para ello, los planes de trabajo planificados deben contar con formación en el manejo adecuado de la atención, preparación en la activación para el control de impulsos, el desarrollo del conocimiento de las diversas motivaciones que surgen. Se suma el manejo de canales de comunicación desde sí mismo hasta la relación con su contexto, el fortalecimiento de la autoestima y autoconfianza utilizando un modelo de jerarquización que permita al árbitro formarse en el autocontrol en un primer nivel. Además, tomar decisiones claras y ajustadas a un partido con la rapidez que éste lo requiere. Un segundo nivel más básico debe estar encaminado a la necesidad de formar en el manejo de la atención; y un tercer nivel de formación en el manejo de las motivaciones. (Ortega, et al., 2014)

En su tesis de Maestría “El desarrollo emocional en el desempeño conductual de los árbitros profesionales de fútbol del cantón de Ambato”, se enfatiza el rol importante que desarrollan los árbitros y la formación del estado psicológico emocional – interconductual, que se considera debe ir de la mano con la preparación física. Menciona el equilibrio que debe existir entre la educación y la inteligencia emocional del árbitro. El estudio se realiza a un grupo de 47 sujetos ligados a la actividad arbitral, a quienes se les realiza una prueba donde se obtiene valores de: autoconciencia, control de las emociones, automotivación, relacionarse bien, asesoría emocional, donde se concluye que el trabajo de un árbitro es muy complejo y que requiere de una completa preparación estratégica emocional para su óptimo rendimiento psicológico (Fonseca Mora, 2017).

El proyecto, “Desarrollo de técnicas de detección automática de estado de ánimo mediante redes de sensores inalámbricas”, se divide en diferentes módulos donde se realizan pruebas en las que se estimula al usuario a sentir determinadas emociones y mediante el uso de herramientas tecnológicas y diagramaciones -usando dos dispositivos- capturaron las señales biométricas entre ellas ECG y temperatura, comparándolos entre sí mediante los histogramas y relacionándolas con la emoción inducida (Cisneros, et al., 2013).

La FCmed.¹ lograda por los árbitros en un estudio que se desarrolló durante el Campeonato del Mundo de categoría sub-17 organizado por la FIFA y que se disputó en Finlandia en agosto del año 2003 fue de 157 ± 4 p/min, lo que suponía el 83 ± 1 % de la FCmáx.² de los jueces (Mallo, García, y Navarro, 2007). La FCpico³ (bpm) alcanzada en un partido por un árbitro central es de $183,10 \pm 10,39$, la FCmed $160.59 \pm 12,41$ (Castillo, et al., 2016).

En un mundo tan competitivo como es el del deporte, cualquier detalle por mínimo que sea, marca una gran diferencia. Los datos que ofrecen los diferentes sensores y otros medios, aportan una ventaja competitiva extra que puede ser diferencial. La tecnología ha alcanzado la industria del deporte, y ha impactado en los resultados de los equipos y deportistas, debido a las mejoras en las técnicas, a la aplicación de nuevos métodos de entrenamiento y al análisis predictivo de los datos (Fava, et al., 2020).

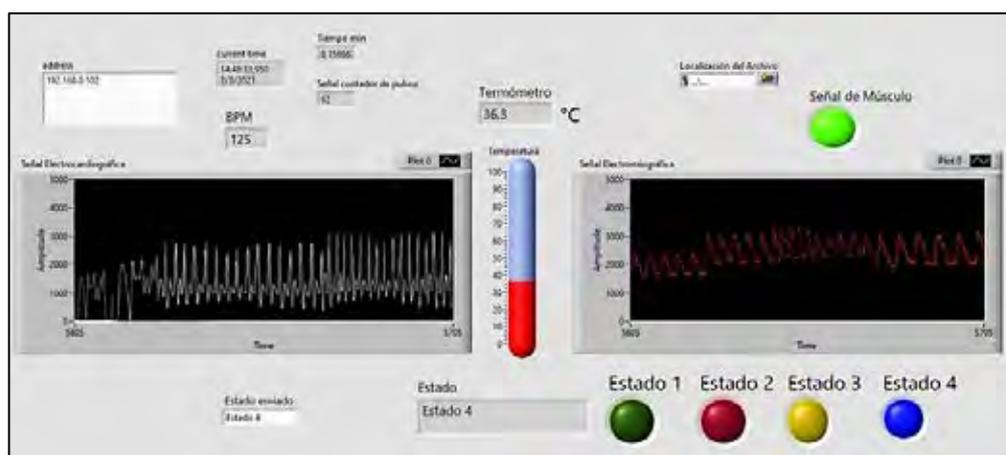
Materiales y Métodos

Instrumentos

Para este estudio se utilizan sensores inalámbricos integrados a un chaleco de vestir para el árbitro. El prototipo se desarrolla con un nodo de sensores cuya función es medir variables fisiológicas específicas como la temperatura (sensor LM35) y la frecuencia cardiaca (AD8232) (Maier, et al., 2017), conectados a un módulo inalámbrico (ESP32), encargado de enviar esa información recabada a un nodo base puente IEEE 802.15.4/802.11, todo esto alimentado por un banco de baterías.

Figura 2

Interfaz gráfica – Estado emocional 4



¹ Frecuencia cardiaca media

² Frecuencia cardiaca máxima.

³ Frecuencia cardiaca pico.

El objetivo es captar las respuestas sensoriales del organismo durante el desarrollo del juego de fútbol. Los datos obtenidos se registran y se traducen a través de un dispositivo ESP32 con la ayuda del programa LABVIEW (Figura 2), que permite generar la estadística necesaria de los datos fisiológicos considerando los rangos preestablecidos para el respectivo análisis de los estados emocionales del sujeto durante el transcurso del juego.

Método – Participantes

Para la ejecución del presente estudio se considera a la participación de los integrantes de la Asociación de árbitros de fútbol del Guayas que tiene registrados aproximadamente 130 profesionales del arbitraje, quienes dirigen diferentes categorías del fútbol profesional y amateur del país. Con el fin de tener un panorama concreto referente a las actividades que realizan los árbitros en su preparación en el área de inteligencia emocional y psicológica. Se aplica, además, una encuesta descriptiva para cumplir los objetivos planteados, y se realizan pruebas de campo a 8 árbitros ($31,4 \pm$ años) que colaboran con esta investigación, en encuentros de fútbol y mini-fútbol amistosos, entre amateur e infantiles, durante un tiempo de prueba definido de 30 minutos para todos los participantes. Antes del inicio de las pruebas de campo se explica a los ocho árbitros la naturaleza de la investigación y se obtiene el respectivo consentimiento de todos los involucrados (Figura 3).

Figura 3

Participante con el prototipo



Metodología

Se definió un estudio de tipo cualitativo-cuantitativo, puesto que en el proceso de este trabajo se manipularon datos no paramétricos que ayudaron a cumplir con los objetivos planteados y su registro con la finalidad de detectar la expresión biológica de las emociones.

Se utilizó un diseño mixto: (i) investigación de antecedentes a través de la recopilación de información de las fuentes primarias y secundarias enmarcados en el estudio de caso relacionadas con la influencia de las emociones durante la toma de decisiones arbitrales. Se planteó esta revisión bibliográfica con base en las manifestaciones fisiológicas del ser humano como reacción ante las emociones en determinadas situaciones y se las vinculó con la acciones o decisiones tomadas en la actividad del arbitraje. Y (ii) para la monitorización de los estados de ánimo se utilizó un diseño cuasi experimental con un grupo experimental para toma de lecturas analógicas de la frecuencia cardíaca y temperatura del usuario, previo y durante su actividad de arbitraje para su posterior interpretación.

Tipo de estudio

Se aplicó como técnica la recolección de datos y su posterior observación para llegar a un análisis de estudio de un tema poco explorado, para futuras investigaciones o proyectos tecnológicos. El método de recolección de datos biométricos estuvo basado en el uso de la plataforma de código libre, Arduino, que brindaba datos cuantitativos para la interpretación de los parámetros de los estados emocionales del individuo en la acción de arbitraje. El método investigativo aplicado en este proyecto se desarrolló mediante técnicas de comparación de la reacción fisiológica relacionadas con las emociones, debido a la respuesta concatenada del sistema simpático y parasimpático.

Procedimiento

Los datos comparados son de tipo primario, puesto que se tomaron en tiempo real mediante sensores de magnitud física que fueron presentados en una interfaz gráfica. Estos datos cuantitativos obtenidos por los sensores fueron almacenados en una base de datos para su posterior consulta, visualización y análisis considerando los siguientes procedimientos:

- Registro de observación: Se realizó vídeo análisis con expertos del arbitraje observando el material audiovisual registrado de los partidos.
- Prototipo de registro de parámetros fisiológicos: Desarrollado con el objetivo de establecer la toma de las variables biométricas durante la ejecución de la tarea del arbitraje.

Los datos analizados fueron:

Frecuencia cardiaca

Se registró el rendimiento cardiaco a lo largo del desarrollo de la prueba a través de un receptor ECG. La respuesta de la frecuencia cardiaca durante un partido de fútbol se ha utilizado tradicionalmente como un indicador indirecto del gasto energético que supone la actividad. Los valores de frecuencia cardiaca media (FCmed) registrados en los árbitros durante los partidos se sitúan en el rango de las 153 a las 165 p/min. (Mallo, et al., 2007).

Temperatura corporal

Se registró la variación de la temperatura corporal durante cada prueba a través del sensor de temperatura. La temperatura corporal normal cambia según la persona, la edad, las actividades y el momento del día. La temperatura corporal normal promedio aceptada es generalmente de 98.6°F (37°C). Algunos estudios han mostrado que la temperatura corporal 'normal' puede tener un amplio rango que va desde los 97°F (36.1°C) hasta los 99°F (37.2°C). (MedlinePlus, 2019)

Con el análisis de los datos mencionados junto con otras investigaciones médicas, tomadas como base, se realizó la Tabla 1 comparativa de rangos fisiológicos establecidos de los cuatro estados subjetivos que se utilizaron para la programación del aplicativo en las pruebas de campo.

Tabla 1
Variables operativas de estados emocionales

<i>Rango de valores para pruebas</i>				
<i>ESTADOS EMOCIONALES</i>	<i>INDICADOR FRECUENCIA CARDIACA</i>	<i>INDICADOR TEMPERATURA</i>	<i>FRECUENCIA CARDIACA (lpm)⁴</i>	<i>TEMPERATURA (°C)</i>
EE 1	Alta 1	Normal 1	150-175	36,5 – 37,6
EE 2	Alta 2	Alta	176 +	37,1 – 40
EE 3	Baja	Baja	100 – 119	35 – 36
EE 4	Normal	Normal 2	120 – 149	36,1 – 37,2

Resultados y Discusión

A base del análisis realizado en la entrevista

La preparación arbitral genera la educación emocional adecuada para evitar que el estado emocional afecte a las decisiones tomadas en cancha durante la ejecución de un partido de fútbol. La autopercepción emocional manifiesta en los árbitros participantes, hace referencia a estados emocionales del tipo 1 y 4 durante el transcurso de un juego de fútbol y la toma de decisiones cuando se comenten faltas antirreglamentarias.

Además, se obtienen los siguientes datos relevantes:

El 96.6% de los encuestados, de acuerdo con su experiencia consideran que la FC y la TC, sí son una manifestación ante la presencia de un estado emocional.

El 94.3% de los árbitros de la asociación de árbitros de fútbol del Guayas están de acuerdo en que de una u otra forma los estados emocionales tienen influencia en la toma de decisiones en un partido de fútbol.

El 93.3 % de la muestra considera importante el manejo de la inteligencia emocional como parte de la preparación en la etapa instruccional de los árbitros de fútbol.

El 95.5 % indica que está totalmente de acuerdo con el uso de la tecnología para preparación de los árbitros de fútbol.

El 95.5 %, manifiesta que resulta conveniente usar un prototipo con tecnología inalámbrica que permita indicar el estado emocional en tiempo real durante un partido de fútbol.

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas

Los profesionales del arbitraje son conscientes de la influencia de los estados emocionales que puedan presentar y el nivel de interferencia en una toma de decisiones cuando se encuentran realizando su labor.

Se identifican sentimientos relacionados con el estado emocional tipo 1 y 4 de la tabla de estados emocionales desarrollada para este proyecto, que pertenecen al grupo de emociones de valencia positiva y de activación-desactivación respectivamente. Por lo tanto, se puede

⁴ Latidos por minuto.

inferir que su estado emocional es el ideal para el desarrollo de la actividad y no afectaría en la toma de decisiones, independientemente de la aplicación del reglamento.

Del análisis de los datos de registros biométricos

No existen evidencias sólidas que permitan establecer la relación entre la identificación de los estados emocionales positivos y el correcto uso del reglamento durante el transcurso de las pruebas registradas en este proyecto.

En la Tabla 2, considerando que el tiempo de la recolección de datos fue de 30 minutos, se puede observar el registro de los estados por frecuencias (frecuencia = variación por minuto) de las pruebas de campo realizadas a los 8 árbitros de fútbol participantes, identificando que la mayor distribución de los resultados se encuentra en los estados 1 y 4, solo en 3 participantes presentan más de dos estados y en ningún participante se identifica presencia de los 4 estados.

Tabla 2

Resultados del registro por frecuencia

<i>Resultados de registro de estados por frecuencias</i>				
<i>Participante</i>	<i>Estado 1</i>	<i>Estado 2</i>	<i>Estado 3</i>	<i>Estado 4</i>
1	12	0	0	18
2	16	0	0	14
3	16	5	0	9
4	7	0	0	23
5	9	0	2	19
6	26	1	0	3
7	22	0	0	8
8	14	0	0	16

Los estados emocionales más registrados en frecuencia se relacionan con los tipos 1 y 4, es decir, el comportamiento emocional en los árbitros de fútbol se encuentra estable durante la ejecución del partido, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Matriz de pruebas

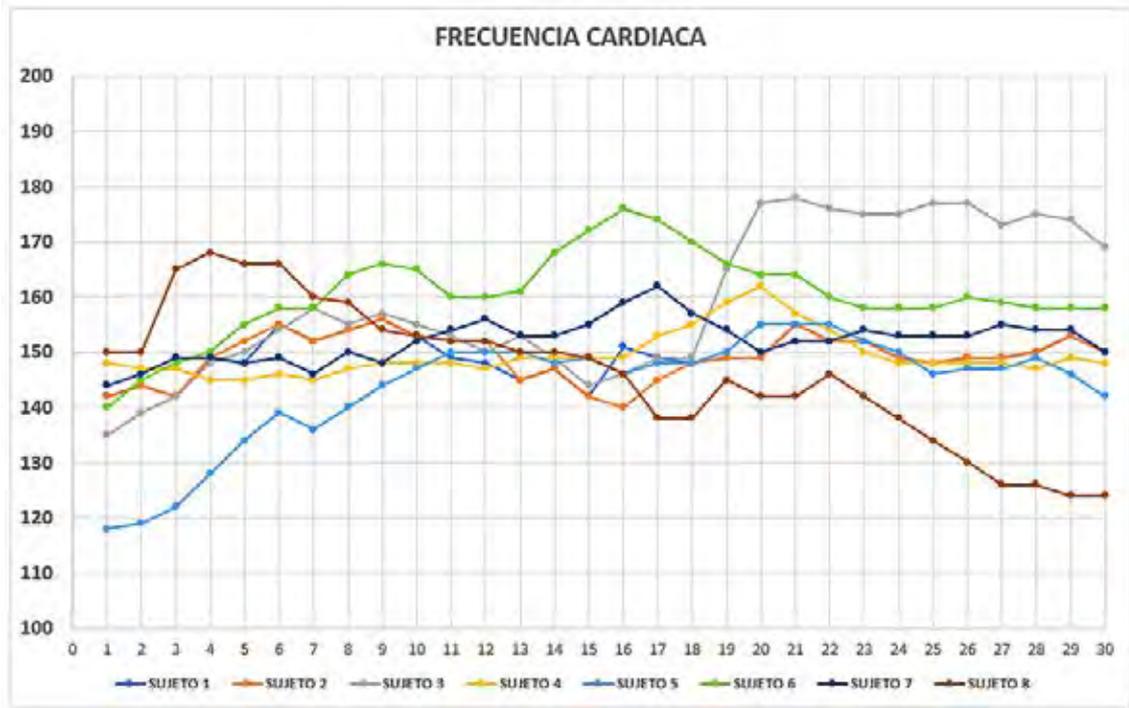
MATRIZ DE PRUEBAS REALIZADAS							
<i>ITEM</i>	<i>PROCESO</i>	<i>DESCRIPCIÓN DEL REQUERIMIENTO</i>	<i>SUJETO DE PRUEBA</i>	<i>PARAMETROS DE ESTADOS EMOCIONALES</i>	<i>TIPO DE PRUEBA</i>	<i>RESULTADOS OBTENIDOS</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
1	Prueba 1			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	De campo	EE 1 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro profesional. A los 16 minutos, el árbitro mostro tarjeta roja a un jugador, durante este suceso el aplicativo registró estado 1. El experto señaló que las acciones tomadas por el árbitro estuvieron acertadas.

2	Prueba 2	Mediante el uso de la herramienta de recolección de datos, se obtuvieron los parámetros fisiológicos (Frecuencia cardiaca y temperatura) segmentados por el sistema en un estado.	Árbitros de fútbol profesionales y amateur utilizando el chaleco prototipo, dirigiendo cada participante durante 30 minutos, partidos amistosos amateur e infantiles de fútbol o mini-fútbol.	EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro profesional. A los 12 minutos, el árbitro mostró una tarjeta amarilla, durante este suceso se encontraba en el estado 4, se mostró material audiovisual del encuentro al experto, quien indicó que la decisión arbitral en este caso se debe más a la percepción de la intención del jugador en cancha, pero a pesar de esto califica como correcto el actuar del árbitro.
3	Prueba 3			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 2 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro amateur. A los 20 minutos existió una mano dentro del área, de esta jugada se armó una disputa entre los jugadores, el árbitro dictaminó saque de esquina. Durante este suceso, el árbitro se registró 5 minutos en el Estado 2. El experto señaló que esta acción debió ser sancionada como penal.
4	Prueba 4			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro amateur. El experto señaló que las acciones tomadas por el árbitro estuvieron acertadas.
5	Prueba 5			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 3 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro profesional. En este caso se identificó en el registro de frecuencias estado 3 durante 2 minutos al inicio del encuentro, sin embargo, en la revisión del vídeo, el experto señaló a las acciones tomadas por el árbitro, como acertadas.
6	Prueba 6			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 2 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro amateur. En este caso se identificó en el registro de frecuencias estado 2 durante 1 minuto, sin embargo, en la revisión del vídeo, el experto señaló a las acciones tomadas por el árbitro, como acertadas.
7	Prueba 7			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro profesional. El experto señaló que las acciones tomadas por el árbitro estuvieron acertadas.
8	Prueba 8			EE 1 EE 2 EE 3 EE 4	EE 1 EE 4	Esta prueba se la realizó a un árbitro profesional. El experto señaló que las acciones tomadas por el árbitro estuvieron acertadas.

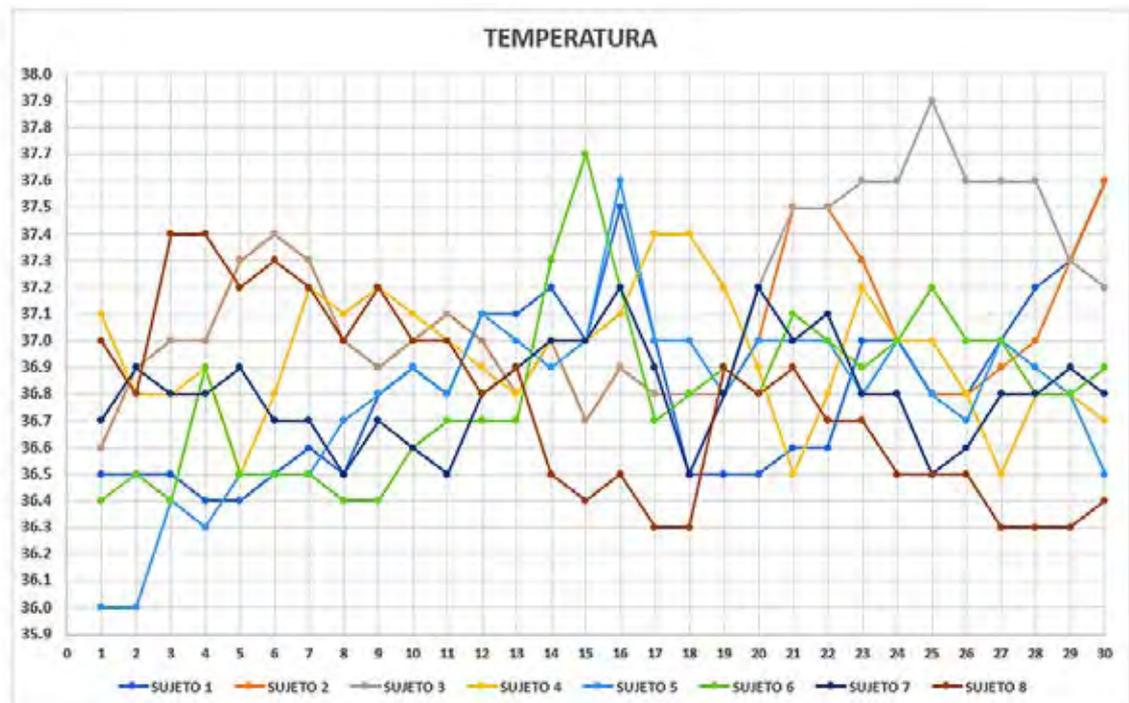
El comportamiento de los valores fisiológicos de frecuencia cardiaca y temperatura corporal de cada participante en las pruebas de campo, se muestran en la Figura 4 y Figura 5, respectivamente.

Figura 4

Registro de la frecuencia cardiaca (lpm) (Y) de cada árbitro participante en las pruebas durante 30 minutos (X) en un gráfico de dispersión

**Figura 5**

Registro de la temperatura corporal (°C) (Y) de cada árbitro participante en las pruebas durante 30 minutos (X) en un gráfico de dispersión



Conclusiones

Para el desarrollo de esta investigación se implementa el prototipo de sensores de frecuencia cardíaca y temperatura corporal mediante la tecnología IoT, usando una plataforma ESP32 con conectividad WIFI. Además, se desarrolla el aplicativo para la transducción de las señales biométricas en tiempo real, a valores físicos para su estudio y análisis.

Mediante pruebas de campo a los árbitros de fútbol participantes del estudio, se puede validar el funcionamiento de la herramienta utilizada, analizar los datos obtenidos y determinar el relacionamiento entre las acciones realizadas por los árbitros y sus emociones durante la toma de decisiones, con la finalidad de inferir la influencia de las emociones sobre la toma de decisiones.

Los estados emocionales pueden generar respuestas estereotipadas o automáticas ante diferentes situaciones debido a la naturaleza funcional de la misma. Pero tal y como se observa en los resultados de esta investigación, el comportamiento emocional es más concreto al realizar una tarea para la cual, el individuo ha sido formado o ha generado horas de entrenamiento y puesta en práctica de dicha conducta. Esta conducta requiere el análisis de una situación para emitir un veredicto de manera casi inmediata y genera la no interferencia del estado emocional al menos en un nivel no tan decisivo.

Mediante la diferente bibliografía consultada se pueden instaurar, la variación de la frecuencia cardíaca y temperatura como parámetros fisiológicos para la identificación de los rangos que se establecieron para cada uno de los estados en la aplicación de las pruebas a los árbitros participantes. No se puede hallar en estas bases bibliográficas relación entre los datos biométricos musculares tomados por el sensor electromiográfico (parte del prototipo), con las emociones.

Los sensores de registro de las variables fisiológicas tienen una adecuada sinergia permitiendo la toma correcta de las variables y su posterior tratamiento en el programa desarrollado en el aplicativo LabVIEW, permitiendo observar en tiempo real la recolección exitosa de los datos para ser analizados con las acciones arbitrales en el transcurso de las pruebas realizadas. No obstante, se consideran las características de margen de error, precisión y sensibilidad de los sensores utilizados en el prototipo, realizando la comparación y validación con dispositivos homologados.

El análisis de las pruebas de campo se realizaron con el criterio y seguimiento de un experto en el área (ex árbitro profesional), a quien se le mostró el material audiovisual de las pruebas realizadas para el vídeo análisis. El experto observó que los árbitros no tomaron decisiones que se encontraran fuera del reglamento deportivo, relacionando el criterio del experto sobre las acciones de los árbitros en este periodo, con los datos registrados por el prototipo. Con ello, se logró determinar que durante estas pruebas la labor profesional de dichos árbitros no fue influenciada a pesar de la presencia de los diferentes estados emocionales, así como su correcto desempeño arbitral. Durante el desarrollo de estos encuentros deportivos, los sujetos puestos a prueba lograron el manejo y control de sus emociones, realizando su labor con objetividad y profesionalismo.

Se debe considerar aumentar número de participantes en las pruebas con la finalidad de generar análisis paramétricos que permitan comprobar la validez de la hipótesis, es decir, si realmente los estados emocionales afectan o no en las decisiones arbitrales y generan una línea base de desempeño atlético con el objetivo de tomar las variaciones en las medidas fisiológicas

para identificar que son a causa de un cambio en el estado emocional y no por el rendimiento físico.

Para este proyecto, se identifica en las pruebas la mayor cantidad de registros por frecuencia en el estado emocional 4 (cuadrante placer-desactivación), donde la frecuencia cardíaca está por debajo de la media. Se asume que debido a que fueron tomadas en partidos amistosos y el participante logra dirigir con tranquilidad el encuentro, por tal motivo, se recomienda realizar pruebas en partidos de ligas profesionales, ya que, al ser encuentros de nivel, se considera que infiere mayor presión y estrés.

Además, para una mejora del prototipo de sensores y el análisis de futuras investigaciones, se puede implementar como herramienta de toma de datos, sensores de conductividad eléctrica de la piel (GSR), opción relevante para este tipo de estudios.

Referencias

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338.
- Castillo, D., Cámara, J., y Yanci, J. (2016). Análisis de las respuestas físicas y fisiológicas de árbitros y árbitros asistentes de fútbol durante partidos oficiales de Tercera División de España. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, XII(45), 250-261.
- Cisneros, M., Malagon, A., y Redondo, J. P. (2013). Desarrollo de técnicas de detección automática de estado de ánimo mediante redes de sensores inalámbricas. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Proyecto de Sistemas Informáticos.
- Escobar, D. P., Navarro, W. H., Medavilla, C. M., y León, D. A. (2020). La preparación física en la toma de decisiones arbitrales del fútbol. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 3-11.
- Fava, L., Vilches, D., Ferraresso, A., Boccalari, E., y Díaz, J. (2020). Inteligencia y tecnologías aplicadas al deporte de alto rendimiento. *Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI)*, 698-702.
- Fonseca Mora, L. E. (2017). El desarrollo emocional en el desempeño conductual de los árbitros profesionales de fútbol del cantón Ambato. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación. Maestría en Cultura Física y Entrenamiento Deportivo.
- Maier, A., Sharp, A., y Vagapov, Y. (2017). Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 143-148.
- Mallo, J., García, J. M., y Navarro, A. E. (2007). Evaluación del rendimiento físico de los árbitros y árbitros asistentes durante la competición en el fútbol. *Archivos de medicina del deporte. revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, XXIV(118), 91-102.
- MedlinePlus. (7 de 2019). <https://medlineplus.gov/spanish/>. (Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU.)
- Ortega, A., Villamizar, D., y Zahir, R. (2014). Toma de decisiones en árbitros de futbol: una mirada hacia la eficacia y eficiencia. *Actividad física y desarrollo humano*.
- Ortiz, A. D. (2010). Teoría de las emociones. *Innovación y experiencias educativas*(29).
- Vindel, A. C. (2010). Ansiedad, estrés, emociones negativas y salud. Atrapados por el estrés. *Crítica*(968), 12-16.
- Watson, D., y Tellegen, A. (1985). Toward a consensual structure of mood. *Psychological Bulletin*, 219-335.

Yik, M., Russell, J., y Feldman Barrett, L. (1999). Structure of self reported current affect: Integration and beyond. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77, 600–619.

Información para Autores

Travel is to make a journey or to have an adventure to
somewhere by bicycle, train, airplane, car, motorcycle, or
boat. It could be an exploration to somewhere new planned
or unplanned to meet new people, new things and new
places. There are different types of adventures waiting
for you to explore.

There are lots of places to explore. Places could be urban
or suburban. Some people love to be with nature to free
their minds and refresh their souls, but some like to be
in the city. You will get lots of benefits such as seeing
the new culture.

Evaluación por pares

La Revista Tecnológica Espol - RTE es una revista arbitrada que se rige por el sistema doble par anónimo. Los artículos enviados por los autores son evaluados en previamente por el Comité de Redacción para comprobar si se ajustan a las normas de edición y a las políticas temáticas de la revista. Cuando el artículo pasa ese primer filtro es enviado a dos evaluadores externos expertos en la temática abordada por el autor. Para cumplir y defender la ética de la investigación, estos evaluadores son siempre ajenos a la institución a la que pertenece el autor y son los encargados de dictaminar si responde a los intereses científicos de la revista y procede su publicación. En la valoración final, los revisores deciden entre las siguientes opciones: publicable, publicable con modificaciones menores, publicable con modificaciones mayores o no publicable. En el caso de que haya disparidad de opinión entre revisores del Comité Científico, se someterá al juicio de un tercer experto, que dirimirá en conflicto de pareceres.

Derechos de autor (Copyright)

Los originales publicados, en las ediciones impresa y electrónica, de la Revista Tecnológica Espol - RTE, bajo derechos de primera publicación, son propiedad de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, República del Ecuador, siendo absolutamente necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total de los contenidos (textos o imágenes) publicados. RTE proporciona un acceso abierto e inmediato a su contenido, pues creemos firmemente en el acceso público al conocimiento, lo cual no obsta para que la cita de la fuente sea obligatoria para todo aquél que desee reproducir contenidos de esta revista.

De igual modo, la propiedad intelectual de los artículos o textos publicados en la revista RTE pertenece al/la/los/las autor/a/es/as, quienes conservan sus derechos de autor.

Esta circunstancia ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario.

Todo el contenido de RTE mantiene una licencia de contenidos digitales otorgada por Creative Commons.



*Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.*

Directrices para autores

Los textos postulados deben:

1. Corresponder a las categorías universalmente aceptadas como producto de investigación.
2. Ser originales e inéditos.
3. Sus contenidos responden a criterios de precisión, claridad y brevedad.

Se clasifican en:

3.1 Artículos. En esta sección se publican:

- 3.1.1 Artículos de investigación científica o tecnológica:** presenta de manera detallada los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro aportes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- 3.1.2 Artículo de reflexión o ensayo:** presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico recurriendo a fuentes originales.
- 3.1.3 Artículo de revisión:** resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, ya sea en el campo científico, artístico o artístico tecnológico, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo.

Próximos Volúmenes

PROGRAMACIÓN

Vol. 33, N° 3

Regular y Sección Especial: 1er. Congreso Internacional de Investigación en Emprendimiento, Innovación y Sostenibilidad

- i. **Convocatoria abierta:** hasta el 30 de septiembre de 2021
- ii. **Notificación de artículo seleccionado por pares ciegos:** hasta el 1 de noviembre de 2021
- iii. **Publicación del volumen:** 30 de diciembre de 2021

Próximos Volúmenes

PROGRAMACIÓN

Vol. 34, N° 1

Edición Especial: Retos y soluciones a la migración global: un enfoque interdisciplinario

- i. Anuncio de la convocatoria de artículos: 30 de septiembre de 2021*
- ii. Cierre de la convocatoria de artículos: 15 de diciembre de 2021*
- iii. Período de revisión anónima por pares: Del 15 de diciembre al 15 de febrero*
- iv. Artículos seleccionados para publicación: 15 de febrero de 2022*
- v. Publicación de artículos: 28 de febrero de 2022*

Mayor información:

<http://www.rte.espol.edu.ec/public/site/spanish-rte-special-issue-plan-migrations.pdf>

PROGRAMACIÓN

Vol. 34, N° 2

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 15 de abril de 2022*
- ii. Notificación de artículo seleccionado por pares ciegos: hasta el 15 de mayo de 2022*
- iii. Publicación del volumen: 30 de junio de 2022*

PROGRAMACIÓN

Vol. 34, N° 3

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de septiembre de 2022*
- ii. Notificación de artículo seleccionado por pares ciegos: hasta el 1 de noviembre de 2022*
- iii. Publicación del volumen: 30 de diciembre de 2022*



espol

 cedia



rte.espol.edu.ec