



e-revist@s



MIAR

Google Scholar



AmeliCA



Vol. 36, N° E1 (2024)

ISSN 0257-1749

e-ISSN 1390-3659

DOI 10.37815/rte

LAS TIC y sus aplicaciones

Edición Especial 2024 TICec

TRACK TECNICO



cedia

espol[®] Escuela Superior Politécnica del Litoral



Guayaquil, Ecuador
Vol. 36, Núm. E1 (2024)
Octubre, 15

DOI: 10.37815/rte.v36ne1



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Autoridades Institucionales (Institutional Authorities)

Rectora

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

Vicerrectora de Docencia

Paola Romero, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)

Carlos Teodoro Monsalve Arteaga, 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

Directora Ejecutiva Editorial -Coeditor (Executive Director)

Katherine Anabelle Salvador Cisneros, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: ksalvado@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0414-3597

Editores Asociados (Associate Editors)

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

Santiago Berrezueta-Guzman, Ph.D.
Technical University of Munich - TUM, Germany
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

Editores/as Invitados (Invited Editors)

Irma Abrigo Córdova, Ph.D.
Universidad Nacional de Loja, Ecuador
e-mail: irmabrigocordova2016@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1537-6313

Patrick Taran, Prof.
Global Migration Policy Associates, GMPA,
Switzerland
e-mail: taran@globalmigrationpolicy.org
ORCID: 0000-0002-9442-5725

Editores/as de Sección o Temático (Section Editors)

Begoña Mora Jauregui, Dra.
Universidad de Huelva, España
e-mail: bego.mora@dedu.uhu.es
ORCID: 0000-0002-1537-6313

Cristian Díaz Álvarez, Ph.D.
Universidad del Meta, Colombia
e-mail: cristian.diaz@unimeta.edu.co
ORCID: 0000-0002-4212-4947

Eduardo Jordan Pérez, Ph.D.
Griffith University, Australia
e-mail: e.jordanperez@griffith.edu.au
ORCID: 0000-0001-5299-8501

Fernando Sandoya Sánchez, Ph.D.
Universidad de Guayaquil, Ecuador
e-mail: fernando.sandoyas@ug.edu.ec
ORCID: 0000-0002-0011-4003

Hilda Flor Paéz, M.Sc.
EDUPROSER Cía. Ltda., Ecuador
e-mail: hflor@espol.edu.ec
ORCID: 0009-0002-7472-8494

Marcelo Rafael Báez Meza, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: mbaez@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-8563-6985

Marco Antonio González Escudero, Dr.
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
e-mail: magonzalez@uce.edu.ec
ORCID: 0000-0003-4415-6579

Miguel Eduardo Yapur Auad, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: myapur@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6627-7908

Miriam Maricela Checa Artos, Ph.D.
Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador
e-mail: mcheca@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-9606-7896

Ramón Espinel Martínez, Ph.D.
 Centro de investigaciones rurales, CIR
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: respinel@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-4998-2063

Rosa Aurora Espinoza Toalombo, Ph.D.
 Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
 e-mail: respinozat@unemi.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-6527-1870

Silvana del Pilar Gamboa Benitez, Ph.D.
 Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
 e-mail: silvana.gamboa@epn.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-5951-1970

Sylvia Novillo Villegas, Ph.D.
 Universidad de las Américas, Ecuador
 e-mail: sylvia.novillo@udla.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-7659-6846

Wellington Enrique Wonsang Ureta, BS.c.
 San Diego State University Associates in Business Accounting, Estados Unidos
 e-mail: wonsangwellington@gmail.com
 ORCID: 0000-0003-3936-9705

Editores/as de Copia - Español (Copy Editors - Spanish)

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

Andrea Victoria Carranza García, M.Sc.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: avcarran@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-1762-4525

Laura Amelia Malache Silva, M.Sc.
 CEDIA, Ecuador
 e-mail: laura.malache@cedia.org.ec
 ORCID: 0009-0004-2846-8710

Editores/as de Copia - Inglés (Copy Editors - English)

Lidia Govea de Bustamante, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: bgovea@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-6770-1261

Maite Velez Chamaidan, Lic.
 Massachusetts Bay Community College,
 Estados Unidos
 e-mail: m_vez3@massbay.edu
 ORCID: 0009-0008-8633-818X

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@fiec.espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-8904-0209

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

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@esepoch.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-8394-5621

Elena María Fernández González, Ph.D.
 Universidad de Oviedo, España
 e-mail: fernandezelena@uniovi.es
 ORCID: 0000-0002-5683-0674

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 Politecnica Nacional, Ecuador
 e-mail: ignacio.ceron@epn.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-6373-9772

Isidro Fierro Ulloa, Ph.D.
 Universidad de Especialidades Espíritu 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: 0000-0003-3611-639

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

Luke Houghton, Ph.D.
 Griffith University, Australia
 e-mail: l.houghton@griffith.edu.au
 ORCID: 0000-0002-7461-6591

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

Olga Kadysheva, Ph.D.
 Global Migration Policy Associates, Switzerland
 e-mail: okadysheva@globalmigrationpolicy.org
 ORCID: 0000-0002-4810-8964

Patricia A. Boeri, Ph.D.
 Universidad Nacional de Río Negro, Argentina
 e-mail: pboeri@unrn.edu.ar
 ORCID: 0000-0003-3262-8030

Paúl Cesar Carrión Mero, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcarrión@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)

Carlos Calderon-Cordova
 Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
 e-mail: cacalderon@utpl.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-7071-7088

Francisco Sandoval
 Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
 e-mail: fasandoval@utpl.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-5167-0256

Jorge Herrera
 Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,
 Ecuador
 e-mail: jorge.herrera@uleam.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-8673-0236

Jorge Javier Maldonado Mahauad
 Universidad de Cuenca, Ecuador
 e-mail: jorge.maldonado@ucuenca.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-1953-390X

Jorge López Vargas
 Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
 e-mail: jalopez2@utpl.edu.ec
 ORCID: 0000-0001-5305-7762

Jorge Luis Zambrano-Martinez
 Universidad del Azuay, Ecuador
 e-mail: jorge.zambrano@uazuay.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5339-7860

Karina Abad
 Universidad de Cuenca, Ecuador
 e-mail: karina.abadr@ucuenca.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-2173-6079

Melissa Montalvo
 Medical Point, Ecuador
 e-mail: melissa.montalvo@screenpointmed.com
 ORCID: 0000-0002-9539-3243

Patricia Jeanneth Ludeña Gonzalez
 Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
 e-mail: pjludeña@utpl.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-8909-4837

Samanta Patricia Cueva Carrion
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
e-mail: spcueva@utpl.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3862-8816

Tiago Giraldez
Technical University of Munich, Alemania
e-mail: ge92lur@mytum.de
ORCID: 0009-0002-8803-6018

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

José Luis Castro Zambrano, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Traducciones en idioma extranjero English

Joyce Nan, BA.
Griffith University, Australia

Portada, Diseño y Diagramación

Kelibeth Ullaguari, Lic.
CEDIA, Ecuador

Rosa Angelica Cortaza Borja
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Kleber José Avelino Mosquera
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Informática

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

Indexadores / Directorios



Identificadores



Sobre la revista

Misión: Promover y difundir investigación multidisciplinaria, científica y tecnológica de calidad, impulsando el avance del conocimiento y el desarrollo de la sociedad de manera significativa.

La **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** es una publicación digital, a la que se puede acceder de forma abierta y gratuita desde su sitio web <https://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 se 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

Mission: To promote and disseminate high-quality multidisciplinary, scientific, and technological research, driving the advancement of knowledge and the development of society in a meaningful way.

The **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** is a digital publication, which can be accessed freely and openly from its website <https://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 *Revista Tecnológica ESPOL - RTE* se enorgullece en presentar su primer volumen especial del año 2024, dedicado a los artículos técnicos de la *décima segunda edición de la Conferencia Ecuatoriana de Tecnologías de la Información y Comunicación, TICEC*. Este evento reafirma la capacidad de Ecuador para consolidarse como un referente en innovación tecnológica. Celebrado en Loja, del 16 al 18 de octubre de 2024 en la Universidad Técnica Particular de Loja, TICEC 2024 se destaca por abordar una amplia variedad de temas enfocados en el presente y futuro del desarrollo tecnológico.

Este volumen de *RTE* cubre áreas clave en la transformación digital, con especial énfasis en Inteligencia Artificial (IA) y Minería de Datos. Entre los temas tratados destacan investigaciones como la vigilancia inteligente del comercio exterior, mediante técnicas avanzadas de detección de anomalías en las importaciones ecuatorianas, o la identificación de ciberbullying en textos breves a través de métodos de aprendizaje automático. Asimismo, se presentan trabajos sobre la generación de vínculos relacionados con transcripciones de videos en YouTube, lo que refleja el avance de los sistemas automáticos de recomendación. Otro tema recurrente es la aplicación de IA en la gestión de proyectos, optimizando recursos y mejorando la eficiencia en entornos complejos.

En el ámbito de Movilidad y Visión Computacional, investigaciones como la determinación de la densidad vehicular mediante visión por computadora y el desarrollo de sistemas de semaforización inteligente basados en IoT son ejemplos de soluciones tecnológicas que mejoran la movilidad urbana. Estas innovaciones no solo aumentan la seguridad y sostenibilidad, sino que también contribuyen al desarrollo de ciudades inteligentes.

La sección de Aplicaciones en IoT, Domótica y Sistemas Embebidos está representada por trabajos como el monitoreo de la calidad del agua mediante sistemas embebidos con IoT, y la implementación de soluciones tecnológicas para combatir la pobreza energética en zonas vulnerables como Chorrera Mirador. Estos estudios destacan cómo la tecnología se integra en nuestras infraestructuras para promover la sostenibilidad y mejorar el bienestar. Además, se presentan avances en dispositivos inteligentes para personas con discapacidad visual, subrayando la importancia de diseñar tecnologías accesibles que promuevan la equidad.

En cuanto a Sistemas Empresariales y Soluciones Tecnológicas, se desarrollaron plataformas basadas en geolocalización para apoyar la difusión de ofertas de PYMES, ofreciendo herramientas para su crecimiento y eficiencia. También se presentan estudios sobre los costos de importación en Ecuador, utilizando análisis visuales de datos para tomar decisiones estratégicas en el comercio exterior. Estas investigaciones se complementan con la minería visual de datos para identificar patrones clave en las importaciones.

Por último, en el área de Educación y Tecnologías de Aprendizaje, el desarrollo de herramientas como MoTE, una plataforma para monitorear el compromiso estudiantil, y un sistema de recomendación de cursos online basado en competencias TIC, muestran cómo la tecnología mejora los procesos educativos. Asimismo, se presenta un innovador estudio sobre la integración de avatares generados por IA en MOOCs, explorando su uso para enriquecer la experiencia de aprendizaje en línea.

Este volumen especial de la *RTE* refleja el compromiso de la comunidad científica y profesional con el progreso tecnológico y su impacto en la sociedad. Agradecemos a los autores, revisores, expositores y participantes del TICEC 2024 por su valiosa contribución. Confiamos en que esta edición servirá como una fuente de referencia para todos aquellos interesados en el dinámico mundo de las tecnologías de la información y la comunicación.

Nayeth Solórzano Alcívar, PhD.

Directora General Editorial
Revista Tecnológica ESPOL – RTE

Santiago Berrezueta, Ph.D.

Editor Asociado
Revista Tecnológica ESPOL – RTE

Katherine Salvador Cisneros, PhD.

Directora Ejecutiva Editorial
Revista Tecnológica ESPOL – RTE

Laura Malache Silva, M.Sc.

Editor en Jefe
CEDIA

Editorial

The Journal “*Revista Tecnológica ESPOL – RTE*” is pleased to present its first special volume of 2024, dedicated to the technical papers from the **twelfth edition of the Ecuadorian Conference on Information and Communication Technologies, TICEC**. This event reaffirms Ecuador’s capacity to establish itself as a leader in technological innovation. Held in Loja from 16 October to 18, 2024, at the Universidad Técnica Particular de Loja, TICEC 2024 stands out for addressing a wide range of topics focused on the present and future of technological development.

This volume of *RTE* covers key areas in digital transformation, with a particular emphasis on Artificial Intelligence (AI) and Data Mining. Among the topics covered are studies such as intelligent surveillance of international trade using advanced anomaly detection techniques in Ecuadorian imports or the identification of cyberbullying in short texts through machine learning methods. Additionally, there is work on generating related links from YouTube video transcripts, reflecting the progress of automatic recommendation systems. Another recurring topic is the application of AI in project management, optimizing resources, and improving efficiency in complex environments.

In *Mobility and Computer Vision*, research such as determining vehicle density using computer vision and developing intelligent traffic light systems based on IoT are examples of technological solutions that enhance urban mobility. These innovations not only increase safety and sustainability but also contribute to the development of smart cities.

The *IoT, Home Automation, and Embedded Systems Applications* section is represented by studies such as monitoring water quality through embedded systems with IoT and implementing technological solutions to combat energy poverty in vulnerable areas like Chorrera Mirador. These studies highlight how technology integrates into our infrastructures to promote sustainability and improve well-being. Furthermore, advancements in smart devices for visually impaired people are presented, emphasizing the importance of designing accessible technologies that promote equity.

In *Business Systems and Technological Solutions*, platforms based on geolocation were developed to support the dissemination of SME offers, providing tools for their growth and efficiency. Studies on import costs in Ecuador are also presented, using visual data analysis to make strategic decisions in international trade. These investigations are complemented by visual data mining to identify key import patterns.

Finally, in *Education and Learning Technologies*, the development of tools like MoTE, a platform for monitoring student engagement, and an online course recommendation system based on ICT competencies show how technology enhances educational processes. Additionally, an innovative study on integrating AI-generated avatars in MOOCs is presented, exploring their use to enrich the online learning experience.

This special volume of the *RTE* reflects the commitment of the scientific and professional community to technological progress and its impact on society. We thank the authors, reviewers, presenters, and participants of TICEC 2024 for their valuable contributions. This edition will be a reference for all those interested in the dynamic world of information and communication technologies.

Nayeth Solórzano Alcívar, PhD.

Editor in Chief
Technological Journal ESPOL – RTE

Santiago Berrezueta, Ph.D.

Associate Editor
Technological Journal ESPOL – RTE

Katherine Salvador Cisneros, PhD.

Executive Editorial Director
Technological Journal ESPOL – RTE

Laura Malache Silva, M.Sc.

Editor in Chief
CEDIA

Índice

Inteligencia Artificial y Minería de Datos / Artificial Intelligence and Data Mining

- 12 *Intelligent Trade Surveillance: Anomaly Detection in Ecuadorian Imports Using Data Mining / Vigilancia Inteligente del Comercio Exterior: Detección de Anomalías en las Importaciones del Ecuador con Minería de Datos*
- 25 *Extracción de Palabras Clave de Ciberacoso de Textos Breves: un Enfoque de Aprendizaje Automático / Extracting Cyberbullying Keywords from Short Texts: A Machine Learning Approach*
- 39 *Links Related Generation to Transcribed Texts for YouTube Videos / Generación de Vínculos Relacionados a Textos Transcritos para Videos de YouTube*
- 52 *El impacto de la Inteligencia Artificial en la Gestión de Proyectos / The Impact of Artificial Intelligence on Project Management*

Movilidad y Visión Computacional / Mobility and Computer Vision

- 68 *Determinación de la densidad vehicular en ciudades intermedias por medio de visión por computador / Determination of vehicle density in intermediate cities through computer vision*
- 80 *Semaforización Inteligente: Un Análisis a los Desafíos en la Implementación de Tecnologías y Algoritmos IoT / Intelligent Traffic Signaling: An Analysis to the Challenges in the Implementation of IoT Technologies and Algorithms*

Aplicaciones en IoT, Domótica, y Sistemas Embebidos / Applications in IoT, Home Automation, and Embedded Systems

- 98 *Caracterización y Análisis de la Calidad del Agua en Entornos Urbanos mediante la implementación de un Sistema Embebido con Tecnología IoT / Characterization and Analysis of Water Quality in Urban Environments through the Implementation of an Embedded System with IoT Technology*
- 113 *Pobreza Energética en Chorrera Mirador: Implementación y Monitoreo de un Sistema Híbrido Solar-Eólico / Energy Poverty in Chorrera Mirador: Implementation and Monitoring of a Solar-Wind Hybrid System*
- 131 *Implementación de un Dispositivo Inteligente para la Asistencia de Personas con Discapacidad Visual en Entornos Universitarios / Implementation of an Intelligent Device for the Assistance of People with Visual Impairment in University Environments*

Sistemas Empresariales y Soluciones Tecnológicas / Business Systems and Technology Solutions

- 147 *Plataforma web y móvil para la difusión de ofertas de PYMES mediante geolocalización / Web and mobile platform for the dissemination of SMEs offers through geolocation*
- 163 *Minería Visual de Datos para la Toma de Decisiones Estratégicas en Importaciones / Visual Data Mining for Strategic Import Decision-Making*

Educación y Tecnologías de Aprendizaje / Education and Learning Technologies

- 178 *MoTE: Desarrollo de una Herramienta Informática para el Monitoreo del Compromiso Estudiantil / MoTE: Development of a Tool for Monitoring of sTudent Engagement*
- 196 *Sistema de Recomendación de Cursos en Línea basado en el Perfil de Competencias TIC del Docente / Online course recommendation system based on the teacher's ICT competence profile*
- 215 *Construcción de MOOC con avatares generados mediante IA: estudio de caso aplicado y evaluación de percepciones / Development of a MOOC with AI-Generated Avatars: An Applied Case Study and Evaluation of Perceptions*

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y MINERÍA DE DATOS



Intelligent Trade Surveillance: Anomaly Detection in Ecuadorian Imports Using Data Mining

Vigilancia Inteligente del Comercio Exterior: Detección de Anomalías en las Importaciones del Ecuador con Minería de Datos

Pablo Xavier Molina Narváez¹ <https://orcid.org/0009-0006-6506-1340>, Marcos Orellana¹ <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>, Juan-Fernando Lima¹ <https://orcid.org/0000-0003-3500-3968>, Jorge Luis Zambrano-Martinez¹ <https://orcid.org/0000-0002-5339-7860>

¹Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI), Cuenca, Ecuador
pmolinamsn@es.uazuay.edu.ec, marore@uazuay.edu.ec,
flima@uazuay.edu.ec, jorge.zambrano@uazuay.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Sent: 2024/07/12

Accepted: 2024/10/02

Published: 2024/10/15

Abstract

This study employs advanced data mining techniques to comprehensively analyze Ecuador's import data spanning three decades, from 1990 to 2021. By leveraging the k-means clustering algorithm, we meticulously identified anomalies within tariff items. The study utilized a comprehensive dataset that encompassed tariff items, years, and critical variables such as import volume, CIF and FOB values, import cost, and trade attractiveness. The data mining model generated insightful reports that accurately pinpointed anomalous patterns in tariff items. These reports empower experts to delve into the underlying causes of these anomalies, enabling them to make well-informed decisions to optimize Ecuador's import strategies. Our research underscores the transformative potential of data mining in detecting import anomalies, providing valuable intelligence for the strategic management of Ecuador's foreign trade. The findings contribute significantly to the prevention of customs fraud and unfair trade practices, ultimately enhancing the competitiveness of the country's import sector.

Keywords: Anomalies, Clustering, Data mining, Foreign trade, K-Means.

Summary: Introduction, Related Works, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusions.

How to cite: Molina, P., Orellana, M., Lima, J.-F., Zambrano-Martinez, J. L. (2024). Intelligent Trade Surveillance: Anomaly Detection in Ecuadorian Imports Using Data Mining. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 12-24. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1208>

Resumen

Este estudio emplea técnicas avanzadas de minería de datos para realizar un análisis exhaustivo de los datos de importación de Ecuador que abarcan tres décadas, de 1990 a 2021. Al aprovechar el algoritmo de agrupamiento k-means, identificamos meticulosamente anomalías dentro de las partidas arancelarias. Se utilizó un conjunto de datos completo que abarca partidas arancelarias, años y variables clave como el volumen de importación, los valores CIF y FOB, el costo de importación y el atractivo comercial. El modelo de minería de datos generó informes reveladores que identificaron con precisión patrones anómalos en las partidas arancelarias. Estos informes permiten a los expertos profundizar en las causas subyacentes de estas anomalías, lo que les permite tomar decisiones bien informadas para optimizar las estrategias de importación de Ecuador. Nuestra investigación subraya el potencial transformador de la minería de datos para detectar anomalías en las importaciones, proporcionando inteligencia valiosa para la gestión estratégica del comercio exterior de Ecuador. Los hallazgos contribuyen significativamente a la prevención del fraude aduanero y las prácticas comerciales desleales, mejorando en última instancia la competitividad del sector importador del país.

Palabras clave: Anomalías, Clusterización, Comercio Exterior, K-Means, Minería de datos.

Introduction

Many countries, such as Ecuador, have meticulously collected data on their export and import activities for years. These valuable resources, available on the Central Bank of Ecuador website, hold enormous potential for generating productive knowledge. However, their use has been limited. Regarding imports, which range from raw materials to technology and vehicles to supply national industries, decision-making has been based mainly on empirical approaches and isolated initiatives. This aspect has impeded more significant economic growth. (Quintana et al., 2021).

Imports play a crucial role in the Ecuadorian economy, as the country relies heavily on external products to meet domestic demand and support various industrial sectors. Analyzing these imports using data mining techniques allows us to identify patterns, trends, and relationships invaluable in strategic decision-making.

Knowledge and training are essential in a globalized world where competition intensifies. Innovative strategies and techniques are required to access and strengthen new markets. When applied to imports, data mining provides behavioral patterns that can serve as a basis for defining solid strategies. However, it is not enough to master economic theory or replicate successful techniques from other countries. The key is to develop original strategies deeply rooted in Ecuador's historical import data. Morales Zurita (2023) and Suárez y Amador (2009) state that information is critical to understanding the past and the present and, in a certain way, predicting the future.

A data mining process is essential for transforming a dataset into a complete and relevant one. This set must include detailed information about the imported products, their origin, quantities, prices, means of transport, ports of entry, and other relevant aspects.

In the information age, where the amount of available data grows exponentially, data mining has become an indispensable tool for its analysis and strategic use. This discipline ranges from simple graphical techniques to complex statistical methods, complemented by artificial

intelligence and machine learning algorithms. These allow for solving problems of automatic grouping, classification, value prediction, pattern detection, and attribute association, providing invaluable information for decision-making (López et al., 2023; Suárez y Amador, 2009).

The analysis of imports with data mining must require knowledge of statistics, machine learning algorithms, and data analysis tools (Al Ayub Ahmed et al., 2023). In addition, the quality and reliability of the data used are crucial to obtaining accurate results and conclusions. Ultimately, data mining offers unprecedented potential to analyze imports in Ecuador. By applying appropriate techniques and tools, companies and decision-makers can use this information to optimize their business strategies, strengthen their import processes, and ultimately boost the country's economic development.

This study, which focuses specifically on Ecuadorian imports, their granular analysis at the tariff item level, detecting anomalies in multiple variables, and using the gravity model to support decision-making, provides practical insights directly applicable to your work. Under this context, the document has been structured as follows: Section 2 presents the related works; Section 3 sets out the methodology and methods used; Section 4 details the results obtained; Section 5 presents the discussions; and finally, in the last section, conclusions and future work are offered.

Related Works

Previous studies on anomaly detection using data mining are extensive and applied to different areas but not specifically to countries' imports and exports. Regarding the economy, data mining studies have focused more on electronic commerce and the other economic variables that have affected trade relations between countries. These studies have been based on the gravitational model.

The foreign trade study by González Argote y Ticona González (2019) analyzes a landlocked country's effects on foreign trade. They applied data mining, especially the clustering technique with the k-means algorithm and Partitioning Around Medoids (PAM), with information on international trade indicators from 188 countries over ten years. This aspect was done to detect whether the condition of being landlocked is a limiting factor in the commercial dynamics of countries. The study considers variables such as per capita income, institutional quality, economic integration, latitude, variable indicating Mediterranean identity, economically active population, land area, a natural resources indicator, export cost (USD per container), import cost (USD per container), time to export (days), time to import (days) (Djayeola y Fujs, 2018; The World Bank Group, 2024).

The results showed that in recent years, a small subset of landlocked countries, including Bolivia and Paraguay, have eased the restrictions landlocked countries impose on the costs and times of export and import. Countries were also identified as having other types of economic barriers despite having access to the sea. Therefore, they present international trade characteristics similar to, or even less favorable than, landlocked countries, such as Venezuela. These results are consistent with the relationships of trade variables proposed by the gravity model of international trade, where countries were identified that do not have access to the sea but improved trade relations with other countries thanks to the improvement in economic terms such as the Gross Domestic Product (GDP) of these countries. (González Argote y Ticona González, 2019).

Similarly, the study on anomaly detection has been applied in electronic commerce, as in a survey performed at York University, Canada, where the k-means cluster segmentation technique is used to investigate anomalies in electronic commerce transactions. Applying this technique generated several clusters, each including records of similar transactions. Using a mathematical method, they defined a threshold, and if the number of records in that group is greater than the threshold, that group is called normal; otherwise, it is labeled as an anomaly cluster. Then, they applied different classification algorithms to investigate each new group, such as Logistic Regression, Naive Bayes, Nbtrees, and Radial Basis Functions (RBF) to evaluate each cluster. With this model, they identified approximately 2.2% of the transactions analyzed as anomalies (Tan et al., 2020).

In the study by Wohl and Kennedy (2018), they performed a Neural Network analysis of International Trade using a data set assembled for a gravity model of international trade. The objective was to predict trade relations between countries, so they used the following variables: bilateral trade, the distance between countries, the GDP of the exporter, and the GDP of the importer; dummy variables, indicating whether the countries share a language, a border, a colonial relationship, or a trade agreement; and country or country-year fixed effects as independent variables. They randomly divided the data into a training set and a test set, then used the data from the training set to create an Ordinary Least Squares (OLS) linear regression, a Poisson pseudo-maximum likelihood estimator, and a neural network, and then used the test data to measure how the different methods generalize to new data.

Furthermore, they compared the results with a reference model, a model with country-fixed effects, and a model with country-year fixed effects. They then compared the neural network predictions to actual trade between the United States and its major trading partners outside the sample period to examine whether trade between countries can be accurately predicted with limited data. Finally, they verified that neural networks can be efficiently used with a few economic, geographic, and historical variables to generate reasonably accurate predictions about international trade (Wohl & Kennedy, 2018).

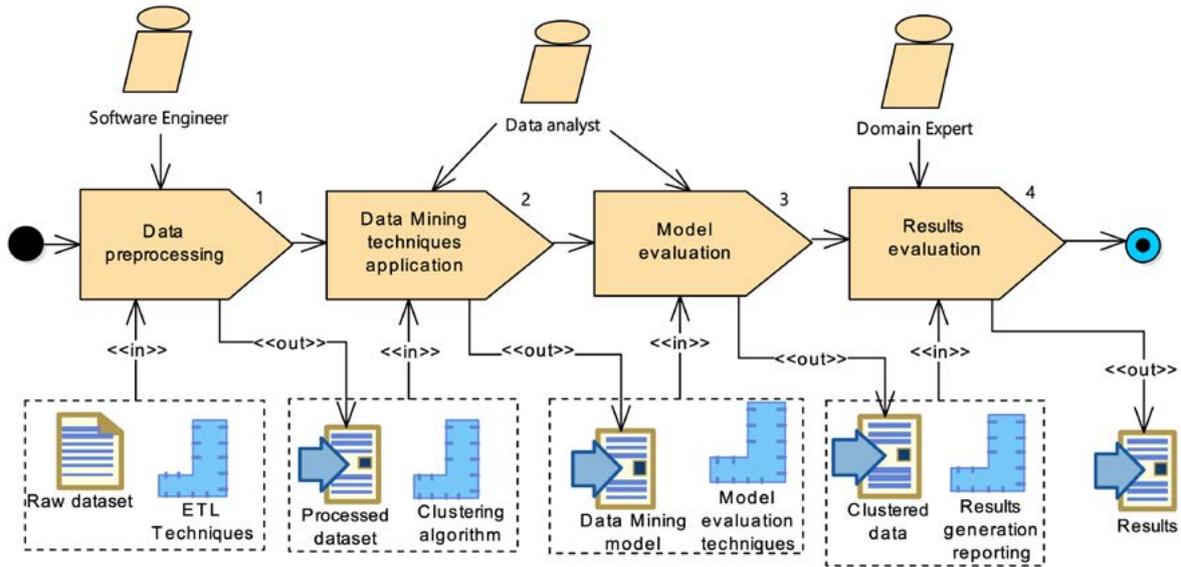
Materials and Methods

This study presents a detailed analysis of imports made by Ecuador during the period from 1990 to 2021. To detect anomalies in import patterns, the Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) methodology has been applied in conjunction with the Software Process Engineering Metamodel (SPEM) scheme (Plotnikova et al., 2022). The data clustering technique has been used with the k-means algorithm on a data set of Ecuadorian imports obtained from the website of the Central Bank of Ecuador (Banco Central del Ecuador, 2023). The data set used in this study contains detailed information on Ecuadorian imports by tariff heading, year, and country. The variables included in the data set are imported tons, import, cost, insurance and freight (CIF) value, and accessible on board (FOB) value.

The methodology used in the research

This research considers the following stages: i) data preprocessing, ii) data mining technique application, iii) model evaluation, and iv) results evaluation. Figure 1 shows the stages of the methodology.

Figure 1
SPEM Methodology



Data preprocessing

The data set used to detect anomalies in Ecuadorian imports contains detailed data by tariff heading, year, and country with which Ecuador has maintained trade relations from 1990 to 2021. This data set contains 1,471,125 records and 43 variables.

Imported tons and the number of imports are mainly analyzed. Figure 2 shows the sustained growth over the years of imports in the number of tons, with only one drop recorded in 2016 and another in 2020, then a rebound in 2021.

Figure 2
Tons imported per year

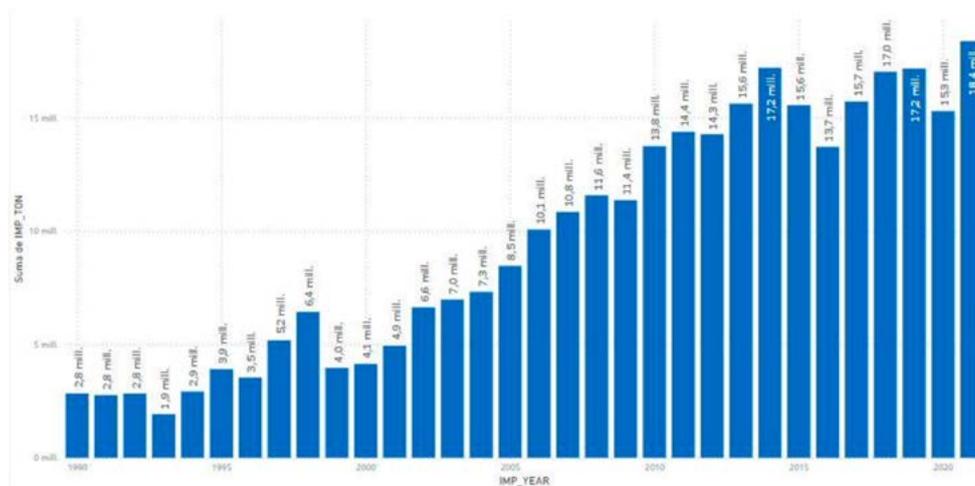
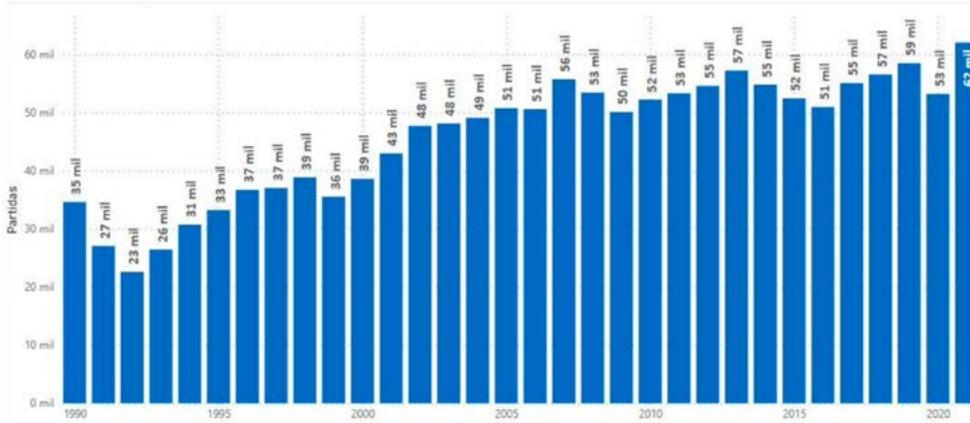


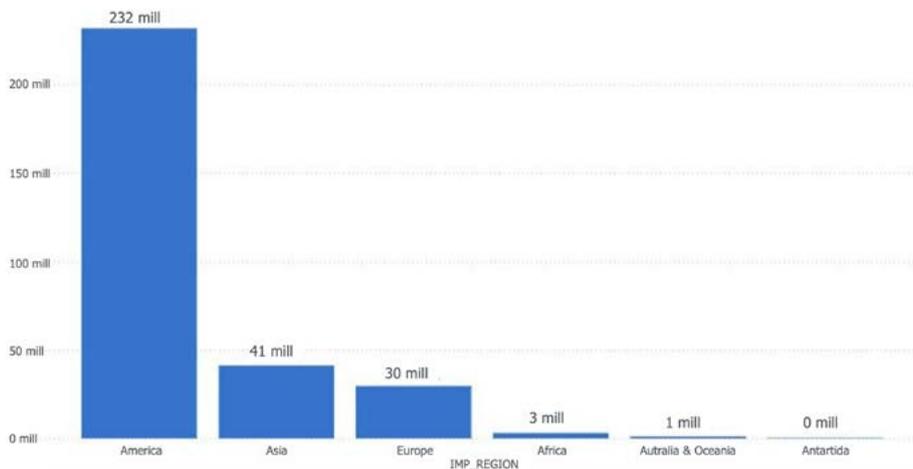
Figure 3 shows an increase in the number of imported items as the years go by and reflects a drop in the years 2015, 2016, and 2020, reaching a rebound in 2021, the year with the highest number of imports.

Figure 3
Number of imported items per year



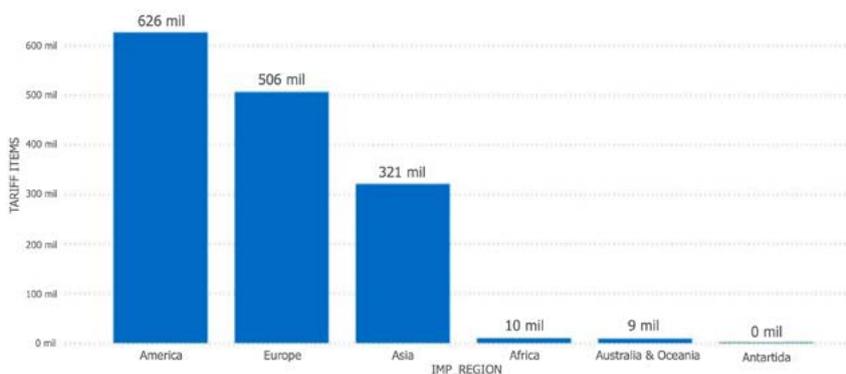
In Figure 4, in the countries of the American continent, we can observe that Ecuador imports a large number of tons, marking a significant difference from the rest of the continents.

Figure 4
Tons per region



Unlike Figure 4, where there is a significant difference in the number of tons imported between the American continent and the rest of the regions, Figure 5 does not show a substantial difference in the analysis of the number of imported items by region.

Figure 5
Imported tariff items by region



In addition, a statistical analysis was performed on each of the variables used in this study to verify their behavior, as seen in Table 1. For this, the variables were discretized by frequencies to obtain a more significant number of records in each range. Without this discretization operation, 99.99% of the data are in the first range. The leading cause that influences this behavior is abnormal values (outliers).

Table 1
Statistical values of the variables used

MEASURES	VARIABLES					
	IMP_TON	IMP_FOB	IMP_CIF	IMP_FREIGHT_COST	TRADE FORCE ATTRACTION	COSTO_X_TONELADA
Count	1,471,123	1,471,123	1,471,123	1,471,123	1.31E+06	1,471,123
Mean	208.55	258,86	275.92	17.06	3.19E+19	26,155.89
STD	7,706.42	5,147.03	5,373.74	278.90	7.79E+19	15,425,580
Min	0.0000001	0.00	0.00	0.00	1.22E+14	0.00
25%	0.05	0.87	1.06	0.09	2.02E+18	0.25
50%	0.61	7.32	8.22	0.61	6.27E+18	0.72
75%	7.29	50.08	54.36	3.48	2.52E+19	3.07
Max	2,701,835	2,300,336	2,370,111	71,167.97	4.96E+20	17,964,870,000.00

The original dataset for this study was provided by the Laboratory for Research and Development in Informatics (LIDI) and obtained from the website of the Central Bank of Ecuador, which contained null data in the numerical fields, which were attributed using the Multiple Imputation by Chained Equations (MICE) algorithm (Wulff & Jeppesen, 2017). In addition, the normalization technique called Z value was implemented on the numerical data to apply the clustering technique.

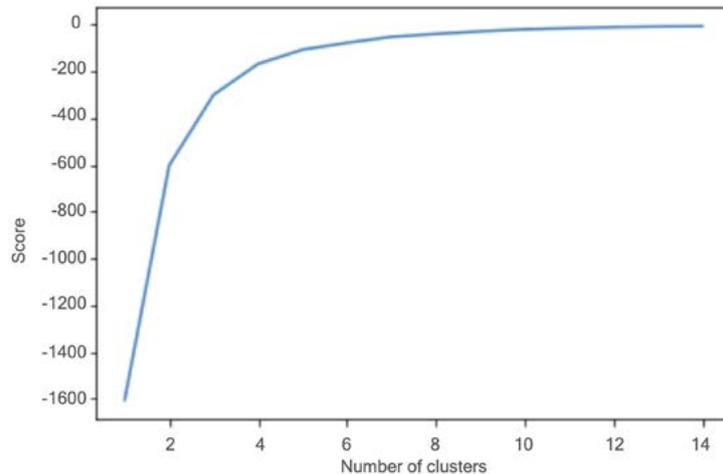
Apply data mining techniques

In this project, the clustering technique was used to detect anomalies in imports from Ecuador. Clustering is an unsupervised machine-learning task. These algorithms involve using many unlabeled variables, and this algorithm groups records that contain similar values to each other (Orellana et al., 2022).

There are several clustering algorithms; the most well-known and used is k-means, based on centroids. It is a simple and efficient algorithm, so it is necessary first to define how many groups (k) the records will be divided into. The elbow method was applied to determine the number of clusters, as seen in Figure 6. The ideal values to define the number of groups are 3, 4, and 5.

The variables that have been used in this model to identify anomalies in Ecuadorian imports are IMP_YEAR (import year), IMP_TON (imported tons), IMP_FOB (FOB value of the import), IMP_CIF (CIF value of the import), IMP_FREIGHT_COST (import cost value), TRADE_FORCE_ATTRACTION (trade attraction force, calculated with the gravity equation), and COSTO_X_TONELADA. As a parameter, the system requests a tariff item level; when running the program, the model detects the anomalies of all tariff items per year at the required level. For the data preparation, they were normalized with the z-value algorithm and credited with the MICE algorithm to treat missing data.

Figure 6
Applied elbow method



Once the data was ready, the k-means algorithm, a popular clustering algorithm, was applied. This algorithm groups the data into a specified number of clusters, in this case, three. The standard deviation value of all records was then calculated for all variables in the clustering algorithm. This step helps to identify the variability of the data within each cluster. Then, the average of the standard deviations of each variable was calculated, grouping them by year and by item code.

As for the averages of the standard deviations by year and by item, the values above and below three standard deviations of the centroids of each cluster were detected. This approach is based on statistical principles and helps identify extreme values significantly different from the average, labeling those records as anomalies for $k = 3$.

This procedure was repeated for 4 and 5 clusters, and anomalies were obtained for $k = 3$, $k = 4$, and $k = 5$. Finally, it was possible to identify the anomalies in Ecuadorian imports, selecting only the records detected as anomalies in the three cases. The model generates tables, allowing the user to perform a complete analysis of imports at the tariff item level, year of import, and all variables with outliers.

Model Evaluation

Validation metrics were used to evaluate the clustering result. The goal of clustering is to group similar objects in the same cluster and different objects in different clusters. On the other hand, the validation metrics are based on the criteria of cohesion, where objects in the same cluster are located as close to each other as possible; and separation, where clusters should be widely separated from each other, to measure the distances of the nearest clusters and the distance between the most distant clusters or the distance between centroids.

The Silhouette index is commonly used to evaluate the quality of the formed clusters, which quantifies how well the data has been grouped compared to how disjoint the clusters are from each other. In other words, the Silhouette index considers two main aspects of the clusters: cohesion and separation. A high and positive Silhouette index close to one indicates that the clusters are cohesive and well separated. A Silhouette index close to zero suggests overlap or that points are at or near the boundaries between clusters, and a negative Silhouette index close to -1 indicates that a point might be assigned to the wrong cluster.

Table 2 shows the values of the Silhouette index for k equal to 3, 4, and 5. 'k' represents the number of clusters. As can be seen, these are positive values close to 1, indicating that the clusters are cohesive and the groups are well separated.

Table 2
Statistical values of the variables used

K	SILHOUETTE INDEX
3	0.987
4	0.974
5	0.964

Results Evaluation

This data mining model generated five comprehensive reports that allowed for in-depth analysis of the results to be verified by experts. Each report provides valuable information for understanding import behavior and detecting potential anomalies.

The standard deviation values report details the year, tariff item, and standard deviation values for each variable used in the k-means algorithm. Additionally, identifying the cluster to which each record belongs is included. The outlier report presents the year, tariff item, and variables used in the k-means algorithm for each record, indicating whether the record is classified as typical or atypical. The label report is a copy of the original dataset but with an additional column displaying the cluster to which each record was assigned. This report allows you to analyze how the k-means algorithm grouped the imports, which is based on minimizing the within-cluster sum of squares and facilitates the identification of abnormal values in each dataset variable.

The final report presents the year, the tariff heading, and an indicator of whether the record was detected as an anomaly by the algorithm with three, four, and five clusters. In addition, a final column is included, showing the number of matches as an abnormal value. Records with the highest number of matches are those that require further analysis.

These generated reports offer a complete and detailed view of the behavior of Ecuadorian imports. Identifying outliers and anomalies allows competent authorities and entities to take timely measures, such as conducting further investigations, imposing penalties, or implementing stricter monitoring to investigate possible customs fraud, unfair trade practices, or other irregularities.

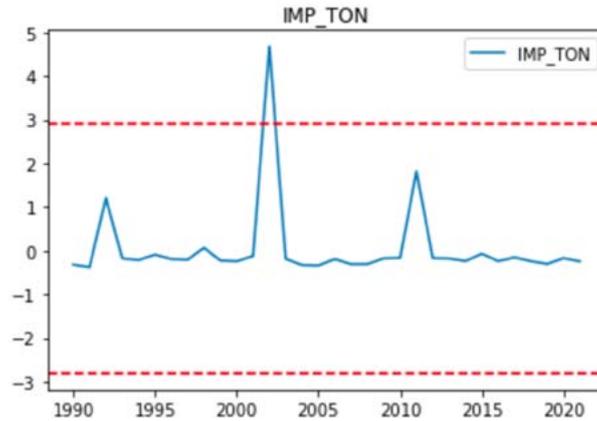
Results

For the analysis of results, only the information obtained with the model applied to the level of one of the tariff items was considered, and the following results were obtained.

Figure 7 graphically displays the abnormal values of imports in tons of item 1, "Live animals," over time; those shown outside the red lines represent the centroid's third positive and negative standard deviation. In this example, imports in tons of live animals in 2002 contain an anomaly, and indeed, after reviewing the data set, it was verified that there was an import of 240.72 tons to New Zealand. The anomaly can be verified concerning the average tons of live animals in 2002, which is 7.15 tons.

Figure 7

Abnormal values of imports in tons of heading 1 “Live animals,” three clusters



In Table 3, the item code and the year that was detected as anomalies for $k=3$, $k=4$, and $k=5$ are displayed; that is, they have three matches. From this table, item 87 “Motor vehicles, tractors, bicycles, and other land vehicles, their parts and accessories” was taken as an example to analyze it and find the anomalies in the original dataset. As can be seen, this item has anomalies in the years 1998 and 2021. The analysis was verified in the spreadsheet check tables generated by the model to confirm that they were indeed anomalies in these years.

Table 3

Tariff items per year were detected as anomalies in the three cases.

TARIFF ITEM	YEAR	3 CLUSTERS	4 CLUSTERS	5 CLUSTERS	COINCIDENCES
6	2018	1	1	1	3
9	1996	1	1	1	3
15	1990	1	1	1	3
27	1991	1	1	1	3
32	1996	1	1	1	3
48	1998	1	1	1	3
61	2007	1	1	1	3
61	2008	1	1	1	3
63	2017	1	1	1	3
67	2007	1	1	1	3
79	1990	1	1	1	3
80	2005	1	1	1	3
82	2016	1	1	1	3
87	1998	1	1	1	3
87	2021	1	1	1	3
88	2008	1	1	1	3
90	2015	1	1	1	3

There are outliers in item 87 of Table 4 for the variables tons, FOB, and CIF between 1988 and 2021. For this study, only the variable of imported tons was analyzed. In this example, the results generated by the model with three clusters were verified. However, it should be considered that, in 1998, the clustering algorithm placed the anomalous record in cluster 3, and in 2021, it placed that record in cluster 2.

Table 4
Outliers by variable of item 87 between the years 1998 and 2021

YEAR	IMP_TON	IMP_FOB	IMP_CIF	IMP_FREIGHT_COST	TRADE_FORCE_ATTRACTION	COSTO_X_TONELADA	CLUSTER	TARIFF ITEM
2021	Atypical	Atypical	Atypical	Atypical	Normal	Normal	Cluster 2	87
1998	Atypical	Atypical	Atypical	Atypical	Normal	Normal	Cluster 3	87

When analyzing the Ecuadorian import data set, it was found that in 1998, Ecuador imported 8,126.78 tons from Japan, when in that year, the average import of this item was 48.80 tons. In 2021, Ecuador imported 29,460.65 tons from China, while the average number of tons imported that year was 114.05 tons. With these analyzed examples, it was randomly verified that the model for detecting anomalies in Ecuadorian imports generates correct information. However, a more systematic verification method can be developed in future work.

For an import to be labeled as abnormal with greater certainty, it is when it has been detected as an anomaly for $k = 3$, $k = 4$, and $k = 5$. Table 5 shows the number of cases detected by the model with one, two, and three matches.

Table 5
Anomalies by number of matches

NUMBER OF MATCHES	NUMBER OF CASES	PERCENTAGE
1	478	83.71
2	76	13.31
3	17	2.98
Total	571	100

Similarly to the variables used for this study, it is observed that the variable with the most atypical values is the cost per ton, followed by the number of tons, as seen in Table 6.

Table 6
Number of atypical records per variable

VARIABLE	NORMAL	ATYPICAL
COSTO_X_TONELADA	9,017.00	187.00
IMP_TON	9,030.00	175.00
IMP_FREIGHT_COST	9,040.00	164.00
IMP_CIF	9,046.00	158.00

VARIABLE	NORMAL	ATYPICAL
IMP_FOB	9,047.00	157.00
TRADE_FORCE_ ATTRACTION	9,101.00	103
Total	45,180.00	840.00

Discussion

This study on detecting anomalies in Ecuadorian imports is particularly relevant to international trade. It distinguishes itself from previous research in data mining by its specific approach and detailed scope. Unlike other works that analyze general economic factors or e-commerce transactions, this study focuses on Ecuadorian imports over 32 years (1990-2021). This allows experts in the field to analyze the factors that influenced these changes, making it a valuable resource for future negotiations.

González Argote and Ticona González (2019) use the data mining clustering technique but with a different purpose: to identify the trade situation of landlocked countries, including various economic variables. This study only analyzes Ecuadorian imports with varying countries by tariff heading and year, detecting anomalies in variables such as imported tons, cost per ton, import cost, and CIF and FOB value.

The study by Wohl and Kennedy (2018) uses the gravity model to detect anomalies and support decision-making in future trade negotiations. The trade attraction force calculated with this model becomes a relevant indicator to assess the impact of trade relations between Ecuador and its trading partners.

The results of this study offer valuable information for Ecuadorian authorities responsible for trade policies. Identifying anomalies and understanding import trends at a granular level can contribute to i) investigating potential customs fraud or unfair trade practices, ii) optimizing trade negotiation strategies, iii) making informed decisions about supplier diversification and target market selection, and iv) strengthening the competitiveness of the Ecuadorian import sector.

Conclusions

In the results of the anomaly detection, it is verified that the model shows precisely the item and the year in which the values of the variables are atypical due to the difference they have concerning the average of these variables in the same year of importation, fulfilling the main objective of this work. The present data mining model applies the clustering technique for 3, 4, and 5 clusters. At least in one of the cases, the variables exceed three standard deviations of their centroids; that item is labeled as an anomaly, and the atypical values are shown in a report. With this process, the tariff item and the year of importation are indicated precisely. The variables that present the most anomalies in this research are the cost per ton and the number of tons imported.

Regarding the analysis of statistical values, it is observed that atypical values exist in all variables. For example, analyzing the variable of imported tons, the minimum value is 0.0000001 tons, the maximum is 2,701,835.00 tons, and the average is 208.55 tons. This shows that 99.99% of the data is in the first range, and the remaining 0.01% is distributed in the other five remaining ranges.

This study demonstrates that the data mining clustering technique is efficient for detecting anomalies in a dataset that experts in various fields of study can use. As future work and as a

complement to this data mining model, this process can be further systematized, applying the same methodology but giving the user the option of searching for anomalies only in the required items and displaying the results on the screen. This enhancement could significantly reduce processing and search times while providing direct results on the screen without based search and the need for more specifics.

Acknowledgments

This work was partially supported by the vice rectorate of Research at Universidad del Azuay for their financial and academic support and the entire staff in the Computer Science Research & Development Laboratory (LIDI).

References

- Al Ayub Ahmed, A., Rajesh, S., Lohana, S., Ray, S., Maroor, J. P., & Naved, M. (2023). *Using Machine Learning and Data Mining to Evaluate Modern Financial Management Techniques* (pp. 249-257). https://doi.org/10.1007/978-981-19-0108-9_26
- Banco Central del Ecuador. (2023). *Estadísticas de Comercio Exterior*.
- Djayeola, B. M., & Fujs, T. (2018). Policies, Technology, and Quality Returns from the World Development Indicators. *Statistika: Statistics & Economy Journal*, 98(4).
- González Argote, H. R., & Ticona Gonzáles, U. A. (2019). Clustering, mediterraneidad y comercio internacional: aplicación empírica de los algoritmos Partitioning Around Medoids y K-means. *Revista Latinoamericana de desarrollo económico*, 32, 95-129.
- López, D. S. M., Orellana, M., Tonon Ordóñez, L. B., & Zambrano-Martinez, J. L. (2023). Modelo Visual del Comercio Externo en Exportaciones Ecuatorianas. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 35(2), 143-156.
- Morales Zurita, G. B. (2023). *La inflación y el comercio exterior agropecuario en el Ecuador*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Carrera~....
- Orellana, M., Acosta-Urigüen, M.-I., & García, R. R. (2022). *Implementation of Clustering Techniques to Data Obtained from a Memory Match Game Oriented to the Cognitive Function of Attention* (pp. 201-216). https://doi.org/10.1007/978-3-031-18272-3_14
- Plotnikova, V., Dumas, M., & Milani, F. P. (2022). Applying the CRISP-DM data mining process in the financial services industry: Elicitation of adaptation requirements. *Data & Knowledge Engineering*, 139, 102013. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2022.102013>
- Quintana, R. A., Donoso, M. R., Kusactay, V., Chagerben, W. M., & Espinoza, J. B. (2021). *Introducción al Comercio Exterior*. Liveworkingeditorial.
- Suárez, Y. R., & Amador, A. D. (2009). Herramientas de minería de datos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 3(3-4), 73-80.
- Tan, X. S., Yang, Z., Benlimane, Y., & Liu, E. (2020). Using Classification with K-means Clustering to Investigate Transaction Anomaly. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 171-174.
- The World Bank Group. (2024). *World Development Indicators*.
- Wohl, I., & Kennedy, J. (2018). *Neural Network Analysis of International Trade*.
- Wulff, J. N., & Jeppesen, L. E. (2017). Multiple imputation by chained equations in praxis: guidelines and review. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 15(1), 41-56.

Extracción de Palabras Clave de Ciberacoso de Textos Breves: un Enfoque de Aprendizaje Automático

Extracting Cyberbullying Keywords from Short Texts: A Machine Learning Approach

William Hermel Astudillo Quituisaca¹ <https://orcid.org/0009-0009-6189-7492>, Priscila Cedillo² <https://orcid.org/0000-0002-6787-0655>, Marcos Orellana¹ <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>

¹Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI), Cuenca, Ecuador
wastudillomsn@es.uazuay.edu.ec, marore@uazuay.edu.ec

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



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/12

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

El ciberacoso impacta negativamente a la sociedad debido a las consecuencias que sufren las víctimas, acosadores y espectadores. El acceso generalizado a Internet y redes sociales, especialmente entre jóvenes sin herramientas para enfrentar estas situaciones, hace necesaria una formación social que mitigue los efectos del ciberacoso. Este estudio busca contribuir a esa formación mediante la creación de guiones para cápsulas educativas. Para ello, se desarrolló un modelo que automatiza la búsqueda y extracción de datos de la red social X utilizando Python y Selenium Web Driver. Tras un proceso de pre-procesamiento de textos utilizando técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural, se aplicó el modelo de Asignación Latente de Dirichlet (LDA) para identificar las palabras clave. Finalmente, se utilizó el modelo pre-entrenado “text-davinci-003” a través de la API de la empresa OpenAI para generar el contenido de las cápsulas educativas, asignando un contexto y utilizando las palabras clave identificadas. El resultado de esta investigación propuesta es la generación de un guion que contiene temas de educación y prevención del acoso y ciberacoso. Para garantizar una confiabilidad del texto generado por el modelo pre-entrenado generativo, se evaluó con un experto en la materia mediante el enfoque de Meta-Pregunta-Respuesta (GQM), lo que valida su potencial en la generación de contenido educativo en la lucha contra el ciberacoso.

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

Como citar: Astudillo, W., Cedillo, P., Orellana, M. (2024). Extracción de Palabras Clave de Ciberacoso de Textos Breves: un Enfoque de Aprendizaje Automático. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 25-38. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1207>

Palabras clave: Acoso, Asignación Latente de Dirichlet, Ciberacoso, Inteligencia artificial, Modelos de lenguaje.

Abstract

Cyberbullying has a negative impact on society due to the consequences suffered by victims, bullies, and bystanders. Widespread access to the internet and social networks, especially among young people without the tools to deal with these situations, makes social education necessary to mitigate the effects of cyberbullying. This study seeks to contribute to this training through the creation of scripts for educational capsules. To this end, a model was developed that automates the search and extraction of data from the social network X using Python and Selenium Web Driver. After a text preprocessing process using Natural Language Processing techniques, the Latent Dirichlet Assignment (LDA) model was applied to identify keywords. Finally, the pre-trained model "text-davinci-003" was used through the OpenAI API to generate the content of the educational capsules, assigning a context and using the identified keywords. The outcome of this proposed research is the generation of a script that includes topics on education and the prevention of bullying and cyberbullying. To ensure the reliability of the text generated by the pre-trained generative model, it was evaluated by an expert in the field using the Goal-Question-Metric (GQM) approach, which validates its potential in generating educational content in the fight against cyberbullying.

Keywords: Artificial Intelligence, Bullying, Cyberbullying, Latent Dirichlet Assignment, Language models.

Introducción

El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) se ha integrado profundamente en la vida diaria, especialmente entre los jóvenes. En Ecuador, el 92% de la población mayor a cinco años utiliza redes sociales (Peña y Herrera, 2021). Si bien las TIC ofrecen múltiples beneficios, también facilitan comportamientos negativos como el ciberacoso. Garaigordobil (2014) define el ciberacoso como una forma de acoso que utiliza las TIC, y el acoso escolar tradicional como una violencia reiterada entre iguales, donde uno o más agresores ejercen poder sobre una víctima para causarle daño. En estas dinámicas se identifican tres roles: i) el agresor, la o las personas que practican el acoso; ii) el espectador, la o las personas que presencian situaciones de acoso; y iii) la víctima, la o las personas acosadas. Este incremento en el uso de las TIC y esta forma de acoso resaltan la importancia de promover una educación apropiada en el uso de la tecnología, especialmente entre los niños y jóvenes, quienes son los más expuestos a estos riesgos.

El acoso escolar no solo afecta la salud mental, física y psicológica de las víctimas, sino que también aumenta el riesgo de deserción escolar. Las víctimas experimentan un incremento en la ansiedad y la depresión, mientras que los espectadores pueden desarrollar miedo, sumisión, desensibilización e incluso interiorizar conductas antisociales y delictivas como medio para obtener lo que desean, además de experimentar sentimientos de culpa (Lugones Botell y Ramírez Bermúdez, 2017). Bajo este contexto, el ciberacoso se ha convertido en un problema global con graves consecuencias sociales, por lo que su mitigación se ha convertido en una necesidad urgente. Herramientas como los programas y campañas de prevención han contribuido en la reducción de estudiantes víctimas de acoso escolar y ciberacoso (Salmivalli et al., 2021). Sin embargo, una educación adecuada tanto de estudiantes como de padres en temas relacionados con el acoso y el fortalecimiento de la autoestima es importante para que modelos de prevención de acoso y ciberacoso sean efectivos.

Una forma de promover el aprendizaje, especialmente en niños y jóvenes, es a través de nuevas metodologías como el micro aprendizaje, donde la atención de la audiencia es captada mediante contenidos breves y fáciles de consumir en periodos cortos. Por lo tanto, una herramienta popular en este enfoque son las cápsulas educativas, que combinan las TIC con la generación de contenidos digitales educativos (Vidal Ledo et al., 2019). Dado que los contenidos son concisos, es fundamental que sean relevantes, precisos y presenten la información de manera clara y comprensible (Kamilali y Sofianopoulou, 2015).

Bajo este contexto, X (anteriormente Twitter) se ha consolidado como un espacio ideal para la expresión de opiniones, comentarios y la difusión de contenido digital, gracias a su característica de “hilos” que permite interconectar publicaciones en base a temas o tópicos similares (Guallar y Traver, 2020). Además, Arazzi et al. (2023) señalan que el lenguaje en redes sociales está en constante evolución y que existe una relación entre la forma en que las personas se expresan en estas plataformas y el impacto que generan en las comunidades digitales. Siendo así, esta dinámica ha convertido a la plataforma en un valioso recurso para la investigación en diversos temas sociales, facilitando el filtrado y difusión de contenidos. El formato predominante de datos en X, basado en texto plano, simplifica el análisis de contenido. Sin embargo, la plataforma ofrecía una interfaz de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) gratuita para la búsqueda y extracción de contenido; ahora este acceso es de pago, lo que presenta limitaciones a las investigaciones que solían utilizar datos de X a gran escala.

Por otra parte, la ciencia de datos busca generar conocimiento a través de la extracción y análisis de información, utilizando técnicas estadísticas y matemáticas que facilitan la interpretación precisa de los datos y resultados (Orellana et al., 2023). Esto la convierte en una herramienta fundamental para la toma de decisiones informadas (Azuela y Ayala, 2019).

El Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) se enfoca en proporcionar métodos para analizar, modelar y comprender el lenguaje humano. Esta disciplina nos permite aprovechar la vasta cantidad de textos disponibles en el entorno digital para extraer información valiosa y enriquecer nuestra comprensión de diversos temas. Dentro del campo del PLN, existen técnicas como la Asignación Latente de Dirichlet (LDA, por sus siglas en inglés), una técnica destacada para el análisis de grandes volúmenes de texto. Este modelo probabilístico transforma un corpus de texto en un conjunto reducido de temas o tópicos, cada uno representado por una distribución de palabras. Esta técnica asume que los documentos son una mezcla de tópicos que generan palabras según su distribución de probabilidad. Esta representación procesa eficientemente grandes cantidades de datos, preservando las relaciones estadísticas clave. LDA ha sido utilizada en varias tareas, como clasificación de textos, modelado de tópicos, detección de anomalías textuales, análisis de similitud, extracción de palabras clave, entre otras (Blei et al., 2003).

En este trabajo, se propone utilizar textos de la red social X relacionados con el acoso escolar y el ciberacoso para analizar las palabras y frases más relevantes. A partir de este análisis, se busca contribuir a la generación de guiones para combatir estas problemáticas empleando procesos y herramientas que faciliten la búsqueda y generación de información. Para ello, se utiliza como base la metodología definida en el proceso transversal estándar para la minería de datos (CRISP-DM, por sus siglas en inglés), considerada un estándar en proyectos de minería de datos. Esta metodología destaca por su simplicidad, estructura, confiabilidad y amplia aplicación en diversos modelos de procesos en varias áreas de conocimiento (Mancilla-Vela et al., 2020).

Adicionalmente, el presente documento se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 presenta los trabajos relacionados, la Sección 3 detalla los materiales y métodos utilizados, la Sección 4 expone los resultados del estudio y la Sección 5 plantea las conclusiones y trabajos futuros.

Trabajos relacionados

La red social Twitter o ahora llamada X es una plataforma de gran importancia para la investigación y el abordaje de diversas problemáticas, incluyendo el acoso escolar y el ciberacoso. Numerosos estudios se han centrado en examinar la información de X relacionada con estas temáticas, ya sea obtenida a través de su API, o de conjuntos de datos disponibles en repositorios digitales. Estos análisis brindan una mejor comprensión de las dinámicas del acoso escolar y el ciberacoso, además de identificar patrones de comportamiento y desarrollar estrategias de prevención e intervención efectivas.

Es así como Chen et al. (2022) evaluaron el potencial de X como fuente de datos en la investigación, analizando aspectos como el acceso, costo, habilidades requeridas y calidad de los datos. Concluyeron que, si bien los datos de X son relevantes para diversas áreas de estudio, su obtención puede requerir conocimientos de programación que no todos los investigadores poseen, especialmente con la transición hacia una API de pago.

Alim (2015) investigó tweets relacionados con el ciberacoso, analizando características como el uso de hashtags, URLs, antigüedad de perfiles y número de seguidores. El estudio reveló que algunos tweets ofrecían consejos sobre cómo enfrentar el ciberacoso, lo cual podría ser valioso para prevenir y combatir este problema. De igual manera, Guallar y Traver (2020) investigaron la curación de contenidos digitales en X, analizando cómo los usuarios buscan, organizan y filtran información en la plataforma. Su estudio resaltó la utilidad de X, particularmente a través de hilos, para acceder y enriquecer información de diversas temáticas, agregando valor al contenido original.

Por otra parte, Sanchez y Kumar (2011) realizaron un análisis de sentimientos en tweets relacionados con el acoso escolar, utilizaron la API de X para acceder a los datos y crear un conjunto de entrenamiento para un clasificador Naïve Bayes. No obstante, encontraron dificultades debido a las medidas de protección de X, que eliminaba tweets antes de que pudieran ser analizados, lo que limitó el alcance de su estudio.

Bayari y Bensefia (2021) llevaron a cabo un estudio sobre la detección automática de ciberacoso basado en el análisis de contenido textual. Para ello, exploraron diversas técnicas de minería de textos, como la Bolsa de Palabras (BoW, por sus siglas en inglés) y las Características Léxicas y Sintácticas (LSF, por sus siglas en inglés). Utilizaron la red social X como fuente principal de datos y resaltaron la importancia de considerar el idioma en las reglas y estructuras de análisis, ya que este influye significativamente en la forma en que se manifiesta el ciberacoso.

Un enfoque distinto es presentado por Vázquez et al. (2017), donde realizaron una revisión exhaustiva de modelos empleados en la generación automática de diálogos, centrándose en la generación de lenguaje natural. Examinaron modelos bayesianos, probabilísticos, estocásticos y de redes neuronales, y concluyeron que los modelos basados en redes neuronales generan

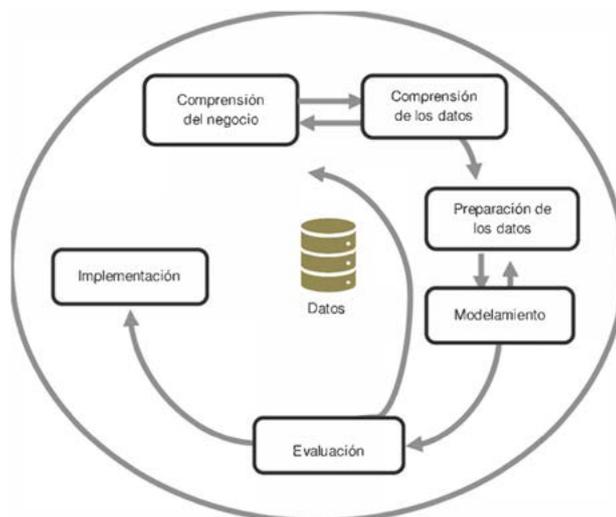
respuestas más adecuadas y coherentes en el contexto de un diálogo. Bajo este contexto, Fatima et al. (2022) llevaron a cabo una revisión exhaustiva sobre la generación de texto utilizando modelos de redes neuronales profundas. En su estudio, resaltaron la relevancia de GPT-3, un modelo pre-entrenado con una vasta cantidad de textos y parámetros, lo que le permite generar textos de alta calidad en diversas tareas.

De esta manera, el presente estudio propone un novedoso enfoque para la prevención del acoso escolar y el ciberacoso, basado en el análisis de grandes volúmenes de datos textuales provenientes de la red social X. A través de técnicas de minería de texto, se busca identificar patrones lingüísticos y semánticos recurrentes en las conversaciones relacionadas con estas problemáticas, con la finalidad de generar guiones para cápsulas educativas en temas de educación y prevención del ciberacoso a través de modelos pre-entrenados generativos.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de las cápsulas de aprendizaje para el combate y la prevención del ciberacoso se ha utilizado como guía la metodología de la empresa IBM definida como el proceso transversal estándar para la minería de datos (CRISP-DM). Esta metodología consta de seis fases: i) comprensión del negocio, ii) comprensión de los datos, iii) preparación de los datos, iv) modelado, v) evaluación, y vi) despliegue. El ciclo de vida tradicional de un proyecto con esta metodología se describe en la Figura 1.

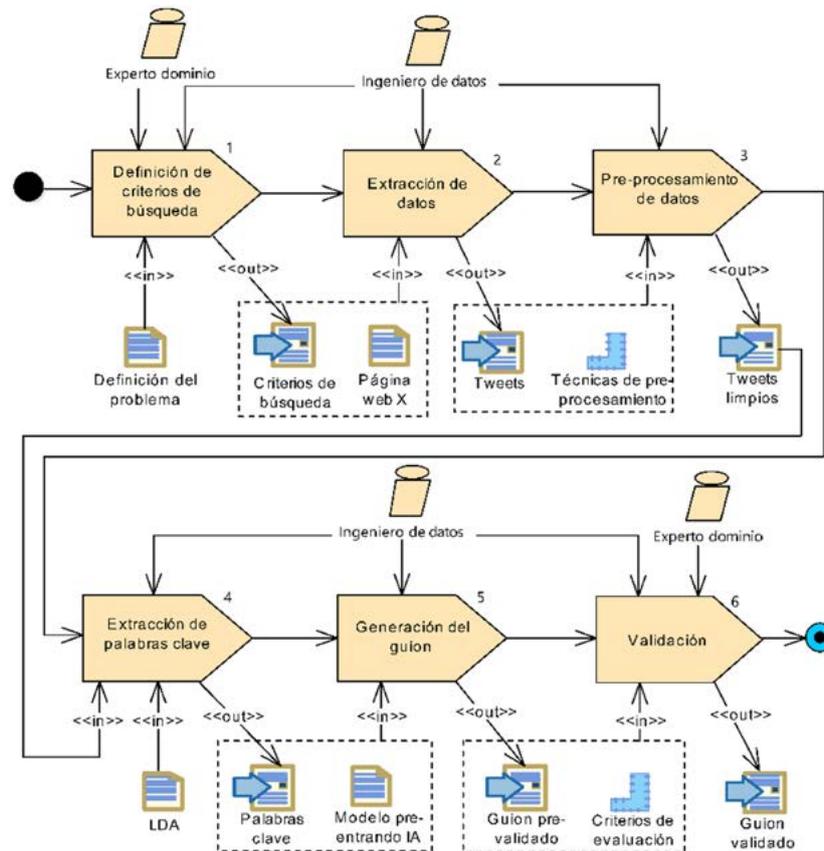
Figura 1
Ciclo de vida de proyecto con CRISP-DM



Nota. Adaptado del proceso de la Metodología CRISP-DM por Mancilla-Vela et al (2020).

Adicionalmente, se adoptó la especificación del Metamodelo de Ingeniería de Procesos de Sistemas 2.0 (SPEM, por sus siglas en inglés) para representar las fases de la metodología basada en el ciclo de vida de CRISP-DM. Por lo tanto, la metodología fue representada en seis fases: i) definición de criterios de búsqueda, ii) extracción de datos, iii) pre-procesamiento de datos, iv) extracción de palabras clave, v) generación del guion y vi) validación. La Figura 2 ilustra la representación de la metodología.

Figura 2
Diagrama SPEM de la metodología basada en CRISP-DM



Definición de criterios de búsqueda

En esta fase fueron establecidos los criterios y parámetros de búsqueda en la plataforma X para asegurar que los datos recolectados sean relevantes para el estudio. Estos criterios proporcionan la información necesaria para la creación de cadenas de búsqueda específicas de textos en la red social X y son fundamentales para obtener los datos requeridos. Fue necesario ajustar estos criterios a las capacidades de la opción de búsqueda avanzada de la plataforma. Entre los criterios que han sido definidos con los expertos en el dominio de acoso escolar y ciberacoso están el tipo de publicación, palabras relevantes, hashtags, lenguaje y sección.

Extracción de datos

El objetivo de esta fase es la extracción de tweets desde la plataforma X utilizando los criterios de búsqueda definidos en la fase anterior. Esta fase es crucial para recopilar datos relevantes a ser analizados y utilizados en etapas posteriores del estudio. El proceso de búsqueda y extracción de datos de la plataforma fue automatizado a través de una interfaz gráfica desarrollada en el lenguaje de programación *Python* y *Selenium Web Driver*. Esta interfaz admite el ingreso de un texto de búsqueda, la descripción, la cantidad máxima de tweets a recuperar y las opciones para buscar en tweets recientes e incluir las respuestas.

Adicionalmente, para explorar los resultados de búsqueda en la página de X, se utilizó la función de desplazamiento continuo. Esto significa que, al llegar al final de la página, se cargarán automáticamente más post si están disponibles. Cuando no haya más resultados, el desplazamiento se detendrá en la parte inferior de la página. Internamente, la interfaz automatiza los siguientes procesos: i) validación de sesión, ii) petición web, iii) inclusión de respuestas y iv) visualización de resultados. A continuación, se describen los pasos de la automatización.

- Validación de sesión: Se accede a la página de inicio de X a través de su URL. Si la solicitud es exitosa, se confirma la sesión activa y se procede al siguiente paso. Caso contrario, si la sesión no ha sido iniciada, la solicitud redirigirá automáticamente a la página de inicio de sesión. De ser este el caso, automáticamente se rellenan los campos de credenciales y la cookie de sesión es almacenada en un archivo para futuros eventos.
- Petición web: Una solicitud web es generada con los parámetros y criterios definidos. Una vez cargados los tweets, se procedió a extraer y almacenar la información relevante. Para ello, ha sido aprovechada la estructura de la página web de X, donde cada tweet se encuentra en un elemento HTML con el atributo *data-testid* = "tweet". Todos los elementos similares fueron identificados y se obtuvieron los detalles de cada tweet, como el texto, la cantidad de "me gusta", re-tweets, enlaces, etc. Además, la función de desplazamiento fue utilizada para cargar los resultados hasta alcanzar la cantidad requerida o alcanzar el número de tweets existentes.
- Inclusión de respuestas: En caso de haber seleccionado la opción de incluir respuestas, a través de una petición web, se extraen las respuestas de cada tweet hasta alcanzar el número máximo de respuestas definido. Son almacenadas únicamente las respuestas al tweet original realizado por el mismo usuario, evitando así las respuestas irrelevantes o inapropiadas que no aportan al desarrollo del hilo.
- Visualización de resultados: Los resultados obtenidos en la búsqueda son visualizados en la interfaz gráfica.

Pre-procesamiento de datos

En esta etapa, tras finalizar la etapa de búsqueda y extracción, los datos fueron almacenados en un conjunto de datos y posteriormente en un objeto *DataFrame* de la librería *Pandas* para su manipulación mediante *Python*. Luego, se inició el pre-procesamiento de los datos recopilados con el objetivo de limpiar y preparar los textos con el objetivo de optimizar los resultados en la generación del guion. Para ello, en la Tabla 1 se describen las técnicas de PLN utilizadas.

Tabla 1
Técnicas de pre-procesamiento utilizadas

TÉCNICA	DEFINICIÓN
Convertir el texto a minúsculas.	Esta técnica transforma todas las letras del texto a minúsculas con el objetivo de normalizar y facilitar el análisis textual.
Eliminar hashtags.	Consiste en eliminar las palabras o frases precedidas con el símbolo "#" o hashtag. Si bien se utilizan para agrupar publicaciones, no tienen relevancia para el resto del estudio.
Eliminar correos electrónicos.	Esta técnica consiste en eliminar los correos electrónicos presentes en los registros, ya que no contribuyen al análisis posterior.
Eliminar signos de puntuación y caracteres especiales.	Tiene como objetivo reducir la dimensionalidad, simplificar y normalizar los datos. Consiste en eliminar de los registros todos los signos de puntuación como puntos, comas, signos de interrogación, etc.
Eliminar números.	Los números presentes en los registros no aportan ninguna información valiosa para el estudio, por lo tanto, con esta técnica, fueron eliminados todos los caracteres numéricos de los registros.
Eliminar Stopwords.	Consiste en remover palabras comunes de un texto que no aportan un significado relevante al estudio, como "el", "la", "de", etc. Esto reduce la dimensionalidad de los datos y destaca las palabras relevantes.
Lematizar.	Se reducen las palabras a su forma base o lema, que es la forma en la que se encuentra en un diccionario. Por ejemplo, el lema de "corriendo" es "correr".
Análisis de sentimientos.	Esta técnica tiene como objetivo determinar la actitud o emoción que expresa un texto. Esta actitud o emoción puede ser positiva, neutral o negativa, dependiendo de la herramienta utilizada.

Extracción de palabras clave

En esta etapa, se utilizó el modelo LDA de la librería *Gensim* en Python para identificar las palabras más relevantes en los textos. Para determinar el número óptimo de tópicos ha sido utilizado el *indicador de coherencia LDA*, buscando el valor más cercano a 1. Las pruebas fueron realizadas con un rango de 1 a 30 tópicos. Una vez identificado el número óptimo de tópicos con el mayor indicador de coherencia, se utilizaron las palabras más importantes de cada tópico. Para este estudio, se ha establecido un límite de 50 palabras clave en total. Por ejemplo, si el número óptimo de tópicos fuera 10, serían seleccionadas 5 palabras de cada tópico.

Generación del guion

Para la generación del guion, fue utilizado el modelo generativo pre-entrenado Transformer de tercera generación denominado “text-davinci-003” de la empresa *OpenAI* a través de su API y el lenguaje de programación *Python*. Este modelo es ideal para tareas que requieren seguir instrucciones detalladas sin necesidad de ejemplos previos, además de manejar una amplia ventana de contexto de hasta 4,097 tokens. Su entrenamiento previo garantiza la generación de contenido relevante y coherente.

OpenAI ofrece recomendaciones para el uso efectivo de sus modelos de generación de texto. Para esta tarea, fueron consideradas las siguientes:

- Utilizar un modelo adecuado: “text-davinci-003” es recomendado para generación de texto y modelos como “code-davinci-002” para generación de código.
- Poner instrucciones al inicio: Separar las instrucciones del contexto mejora la efectividad del modelo.
- Ser específico: Detallar el contexto, salidas, longitud, formato, estilo, etc., para obtener resultados más precisos.

Por lo tanto, tomando en consideración las recomendaciones de la empresa en cuanto al uso efectivo de sus modelos de generación de texto, fueron identificados y establecidos los siguientes parámetros presentados en la Tabla 2.

Tabla 2
Parámetros para la generación del guion

PARAMETRO	DEFINICIÓN
Modelo	El modelo seleccionado, en este caso “text-davinci-003”, la elección del modelo afecta el contenido generado y los costos de su utilización.
Prompt	Las instrucciones que ejecuta el modelo.
Temperatura	Un valor cercano a 1 genera respuestas más creativas, pero menos predecibles. Se utilizó un valor de 0.
Max tokens	Límite máximo de tokens permitidos, 3,000 tokens en este caso.
Top p	Valor máximo para la distribución de probabilidad de los tokens a usar. Se estableció un valor de 1.
Frecuency penalty	Penaliza tokens repetidos, se estableció un valor de 0.

Validación

Los resultados obtenidos fueron evaluados en colaboración con un experto en la materia para determinar si se cumplieron los objetivos planteados. La herramienta presenta los datos clave del análisis exploratorio realizado, así como el guion generado para la cápsula educativa. Para evaluar los resultados, se utilizó el enfoque de Meta-Pregunta-Respuesta (GQM, por sus siglas en inglés) (Van Solingen et al., 2002). La Tabla 3 presenta la meta de la evaluación y la

Tabla 4 expone las preguntas formuladas al experto en la materia utilizando el enfoque antes mencionado. En caso de responder afirmativamente las preguntas, se considera el modelo como válido.

Tabla 3
Meta de la evaluación con el enfoque GQM

META	COMPONENTE
Evaluar	Modelo de generación de guion para cápsulas educativas.
Con el propósito de	Evaluar la calidad del guion generado.
Desde el punto de vista de	Experto en la materia.

Tabla 4
Preguntas y métricas de la evaluación con el enfoque GQM

PREGUNTA	MÉTRICAS
¿El guion generado cumple con sus expectativas en el contexto solicitado?	- Promueve el fortalecimiento de la autoestima. - Promueve la empatía.
¿Cumple las características de una cápsula educativa?	- Es un contenido que se puede dar en unidades pequeñas de tiempo. - Es fácil de comprender.
¿Usa las palabras solicitadas?	- El número de palabras solicitadas. - El número de palabras utilizadas.

Resultados y Discusión

Para una mejor comprensión, los resultados fueron divididos en cuatro etapas: i) definición de criterios de búsqueda, donde se exponen los criterios definidos luego del análisis con el experto en la materia; ii) extracción y pre-procesamiento de datos, donde se exponen los resultados de la extracción de datos y la aplicación de las técnicas de pre-procesamiento; iii) extracción de palabras clave, donde se exponen los resultados de la extracción de palabras clave con la técnica *LDA* y iv) generación y validación del guion, donde se expone el guion generado con el modelo pre-entrenado y su validación.

Definición de criterios de búsqueda

Los criterios de búsqueda fueron establecidos en colaboración con un experto en la materia de acoso escolar y ciberacoso, seleccionando información relevante para el estudio sobre el acoso escolar y el ciberacoso en la plataforma X. Se decidió excluir cualquier tipo de enlace de la búsqueda, ya que los usuarios suelen compartir contenido externo que no es relevante para este estudio. La Tabla 5 detalla los criterios definidos para la búsqueda.

Tabla 5
Resultados de los criterios de búsqueda

CRITERIO	DEFINICIÓN	CRITERIOS DEFINIDOS
Tipo de publicación	El tipo de publicación en la red social X: Tweets, Retweets, Hilos, Respuestas, etc.	Hilos.
Palabras relevantes	El contenido de las publicaciones a extraer.	“Bullying”, “Cyberbullying”, “Acoso escolar”, “Ciberacoso”.
Hashtags	Palabras o frases precedidas por el símbolo “#” utilizadas para categorizar y agrupar tweets.	#bullying, #cyberbullying, #acosoescolar, #ciberacoso, #ciberbullying, #acoso.
Lenguaje	Lenguaje de las publicaciones.	Español.
Sección	Nombre de la sección de la plataforma.	Secciones “Destacado” y “Más reciente”.

Adicionalmente, se decidió excluir las respuestas de la búsqueda, ya que el enfoque se centra en los hilos de conversación, que son respuestas a un tweet inicial. De esta manera, los textos de búsqueda que fueron utilizados son los siguientes:

- “hilo (#bullying) Lang:es -filter:links -filter:replies”
- “hilo (#cyberbullying) Lang:es -filter:links -filter:replies”
- “hilo (#acosoescolar) Lang:es -filter:links -filter:replies”
- “hilo (#ciberacoso) Lang:es -filter:links -filter:replies”
- “hilo (#acoso) Lang:es -filter:links -filter:replies”
- “hilo (#ciberbullying) Lang:es -filter:links -filter:replies”

Extracción y pre-procesamiento de datos

Durante el proceso de automatización de la búsqueda de datos, se filtraron varios anuncios entre los resultados; por ende, la cantidad de caracteres permitidos en un tweet aumentó de 280 a 4,000 caracteres. Debido a esto, se realizaron ajustes durante el proceso de extracción para mitigar estos problemas. De este modo, 1,645 tweets fueron recuperados. En la Tabla 6 se aprecia el número de tweets recuperados de acuerdo con los hashtags utilizados.

Tabla 6
Cantidad de tweets por hashtag

HASHTAG	CANTIDAD DE TWEETS
#bullying	921
#acosoescolar	342
#acoso	237
#ciberacoso	97
#cyberbullying	32
#ciberbullying	16

Tras el pre-procesamiento de los datos, el análisis de sentimientos reveló que 146 tweets fueron clasificados como positivos y 1,325 fueron clasificados como negativos. Esto indica que el tema del acoso escolar y ciberacoso se asocia predominantemente con sentimientos negativos en la plataforma X. Adicionalmente, la Figura 3 ilustra los hashtags más utilizados en los resultados de la búsqueda, y la Figura 4 ilustra las palabras más comunes en los resultados de la búsqueda.

Figura 3
Hashtags más utilizados en los resultados de la búsqueda

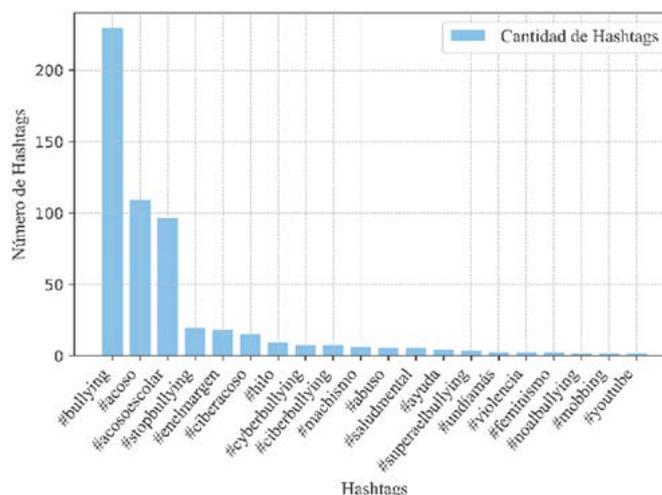
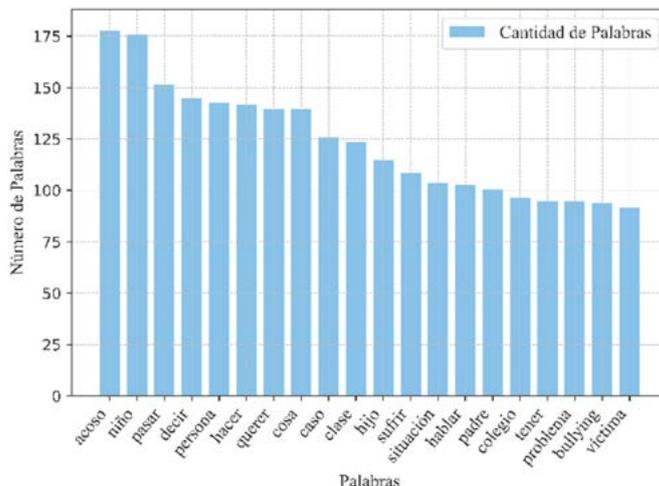


Figura 4
Palabras más populares en los resultados de la búsqueda

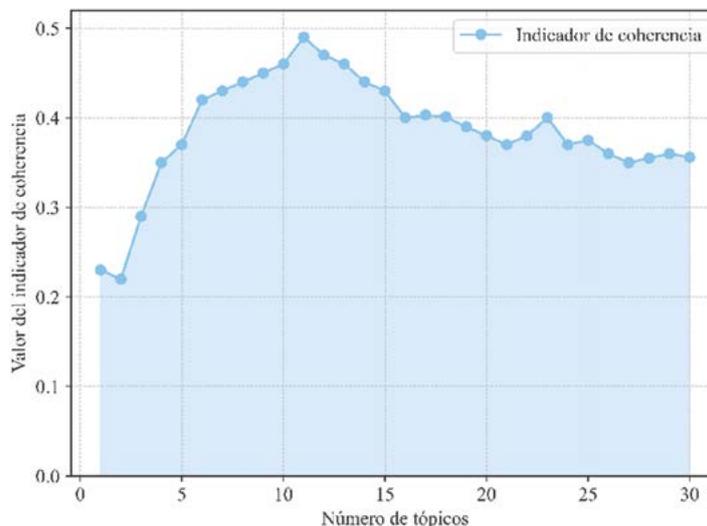


Es importante subrayar que el acceso a los datos de la plataforma X se ha convertido en un proceso complejo y costoso. Inicialmente, la API ofrecía un acceso sencillo y gratuito, pero los cambios recientes han limitado su uso. Esto ha impulsado a los usuarios a recurrir al web scraping como alternativa para obtener datos. Durante un tiempo, esta alternativa se convirtió en la principal fuente para obtener datos de X. Sin embargo, la plataforma identificó estos puntos de acceso y tomó medidas para restringirlos. Este cambio en la política de acceso a datos plantea nuevos desafíos para las investigaciones que dependen de la información de X.

Extracción de palabras clave

Utilizando la técnica *LDA* y un límite de 50 palabras clave, se calculó el indicador de coherencia para determinar el número óptimo de tópicos. La Figura 5 muestra los indicadores en un rango de 1 a 30 tópicos, donde un valor cercano a 1 indica la cantidad óptima de tópicos.

Figura 5
Indicador de coherencia para el número óptimo de tópicos



Como se observa en la Figura 5, el indicador de coherencia alcanza su punto máximo alrededor del número 11, lo que sugiere que el número óptimo de temas a considerar es 11.

Generación y validación del guion

Con el modelo seleccionado “text-davinci-003” de la empresa *OpenAI* se ha generado el guion para la cápsula educativa. Este modelo responde a instrucciones específicas para la creación de contenido que cumpla con los requisitos solicitados. Adicionalmente, el modelo sugirió recursos visuales que acompañan al texto del guion; estos elementos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7
Guion generado con el modelo “text-davinci-003”

NARRADOR	RECURSOS
Esta es la historia de un niño de 8 años.	(Imagen de un niño de 8 años)
Él vive con su familia en una casa normal.	(Imagen de una familia feliz)
Va a la escuela y trabaja duro para aportar algo a su comunidad.	(Imagen de un niño en la escuela)
Un día, él publicó una foto en una red social.	(Imagen de un niño en una computadora)
Pero alguien comienza a acosarlo.	(Imagen de un niño con una mirada triste)
El niño se siente triste y confundido.	(Imagen de un niño llorando)
Él decide hablar con alguien de su familia para pedir ayuda.	(Imagen de un niño hablando con un adulto)
Él denuncia el caso y lleva pruebas para respaldar su denuncia.	(Imagen de un niño hablando con un policía)
Él habla con sus amigos sobre el tema y les explica lo que deberían hacer si alguna vez se enfrentan a una situación similar.	(Imagen de un niño hablando con un grupo de amigos)
El niño se siente mejor al saber que hay gente que lo entiende y que puede ayudarlo.	(Imagen de un niño sonriendo)
Él aprende que siempre puede contar con su familia y amigos para seguir adelante.	(Imagen de un niño abrazando a un adulto)
Él aprende que la autoestima es importante y que siempre hay alguien que puede ayudar.	(Imagen de un niño sonriendo)
Gracias por trabajar juntos para entender este tema y ayudar a los niños a pensar de forma positiva.	(Música de fondo)

A simple vista, el guion generado cumple con las características esenciales de las cápsulas educativas: es conciso, claro y enfatiza los aspectos clave del tema, alineándose con el contexto requerido. Además, el experto en la materia ha respondido afirmativamente todas las preguntas de la evaluación preparada con el enfoque *GQM*, lo cual valida que el mensaje transmitido es adecuado para el objetivo de contribuir al aprendizaje y la prevención del ciberacoso con el formato de cápsulas educativas, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8
Evaluación de resultados con el enfoque GQM

PREGUNTA	MÉTRICAS	RESULTADOS
¿El guion generado cumple con sus expectativas en el contexto solicitado?	- Promueve el fortalecimiento de la autoestima.	- Positivo.
	- Promueve la empatía.	- Positivo.

PREGUNTA	MÉTRICAS	RESULTADOS
¿Cumple las características de una cápsula educativa?	- Es un contenido que se puede dar en unidades pequeñas de tiempo.	- Positivo.
	- Es fácil de comprender.	- Positivo.
¿Usa las palabras solicitadas?	- El número de palabras solicitadas.	- 27 palabras de 36.
	- El número de palabras utilizadas.	- Usa el 75% de las palabras.

Conclusiones

A pesar de las limitaciones para la extracción de datos, este estudio ha demostrado la factibilidad de utilizar modelos pre-entrenados en la creación de cápsulas educativas para el combate del ciberacoso. La técnica LDA resultó efectiva en la extracción de palabras clave de textos cortos, siempre y cuando se realice un adecuado pre-procesamiento de los datos. En cuanto a la generación de contenido textual, se demostró la eficacia del modelo “text-davinci-003” en la creación de guiones coherentes y relevantes a partir de instrucciones precisas.

Adicionalmente, el proceso de extracción de datos relacionados con el acoso escolar y el ciberacoso ha sido automatizado. Se destacó la importancia de definir adecuadamente los términos de búsqueda para obtener datos relevantes, considerando la evolución y actualización continua de la plataforma. A través de un análisis riguroso y la colaboración con un experto en la materia, se validaron los resultados obtenidos, confirmando que las cápsulas educativas generadas transmiten un mensaje adecuado para prevenir y combatir el ciberacoso.

Este estudio demuestra el potencial de combinar técnicas de minería de texto y modelos de lenguaje pre-entrenados para generar contenido educativo relevante y efectivo en la lucha contra el ciberacoso. Sin embargo, es necesario considerar los costos tanto de la extracción de datos como del uso del modelo pre-entrenado. Actualmente, existen varios modelos pre-entrenados que no requieren suscripción, son de acceso gratuito y pueden ser utilizados para propósitos similares. Igualmente, es posible incorporar nuevas técnicas de extracción de palabras clave y comparar su efectividad. De esta manera, las cápsulas educativas pueden ser generadas de una forma más económica y en mayor cantidad, contribuyendo activamente a la lucha contra el ciberacoso.

A futuro, se propone ampliar el alcance de este estudio explorando alternativas más accesibles y diversas. En particular, se plantea evaluar el potencial de modelos de lenguaje libres para la generación de guiones de cápsulas educativas. Este tipo de modelos libres podrían representar una solución viable en términos de recursos económicos, democratizando la creación de contenido educativo. Además, se propone la experimentación de otras técnicas de extracción de palabras clave o modelos pre-entrenados basados en la arquitectura Transformers. La comparación del rendimiento de estas técnicas con la técnica LDA permitirá determinar la más adecuada para el objetivo de la investigación. Finalmente, se propone la exploración de diversas fuentes de datos, como otras plataformas de redes sociales, donde se podría extraer contenido relacionado con el acoso escolar y el ciberacoso.

Reconocimientos

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 Ciencias de la Computación y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).

Referencias

- Alim, S. (2015). Analysis of tweets related to cyberbullying: Exploring information diffusion and advice available for cyberbullying victims. *International Journal of Cyber Behavior, Psychology and Learning (IJCPL)*, 5(4), 31–52.
- Arazzi, M., Nicolazzo, S., Nocera, A., & Zippo, M. (2023). The importance of the language for the evolution of online communities: An analysis based on Twitter and Reddit. *Expert Systems with Applications*, 222, 119847.
- Azuela, J. H. S., & Ayala, A. P. (2019). *ESTADO DEL ARTE EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y CIENCIA DE DATOS*.
- Bayari, R., & Bensefia, A. (2021). Text mining techniques for cyberbullying detection: state of the art. *Adv. sci. technol. eng. syst. j*, 6(1), 783–790.
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of machine Learning research*, 3(Jan), 993–1022.
- Chen, K., Duan, Z., & Yang, S. (2022). Twitter as research data: Tools, costs, skill sets, and lessons learned. *Politics and the Life Sciences*, 41(1), 114–130.
- Fatima, N., Imran, A. S., Kastrati, Z., Daudpota, S. M., & Soomro, A. (2022). A systematic literature review on text generation using deep neural network models. *IEEE Access*, 10, 53490–53503.
- Garaigordobil, M. (2014). Cyberbullying. Screening de acoso entre iguales: descripción y datos psicométricos. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 4(1), 311–318.
- Guallar, J., & Traver, P. (2020). Curación de contenidos en hilos de Twitter. Taxonomía y ejemplos. *Anuario ThinkEPI*, 14.
- Kamilali, D., & Sofianopoulou, C. (2015). Microlearning as Innovative Pedagogy for Mobile Learning in MOOCs. *International Association for Development of the Information Society*.
- Lugones Botell, M., & Ramírez Bermúdez, M. (2017). Bullying: aspectos históricos, culturales y sus consecuencias para la salud. *Revista cubana de medicina general integral*, 33(1), 154–162.
- Mancilla-Vela, G., Leal-Gatica, P., Sanchez Ortiz, A., & Vidal, C. (2020). Factores asociados al éxito de los estudiantes en modalidad de aprendizaje en línea: un análisis en minería de datos. *Formación universitaria*, 13, 23–36. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000600023>
- Orellana, M., Zambrano-Martinez, J. L., Calle Andrade, R. M., Roldan, A., & Tirado Jarama, A. N. (2023). Generación de Texto Guía para la Detección Automatizada del Acoso y el Ciberacoso. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 35(2), 181–191. <https://doi.org/10.37815/rte.v35n2.1049>
- Peña, A., & Herrera, L. (2021). *Indicadores de tecnología de la información y comunicación*. Quito: INEC.
- Salmivalli, C., Laninga-Wijnen, L., Malamut, S. T., & Garandeau, C. F. (2021). Bullying prevention in adolescence: Solutions and new challenges from the past decade. *Journal of Research on Adolescence*, 31(4), 1023–1046.
- Sanchez, H., & Kumar, S. (2011). Twitter bullying detection. *ser. NSDI*, 12(2011), 15.
- Van Solingen, R., Basili, V., Caldiera, G., & Rombach, H. D. (2002). Goal question metric (gqm) approach. *Encyclopedia of software engineering*.
- Vázquez, A., Pinto, D., Vilariño, D., & Castro, M. (2017). Modelos para la generación automática de diálogos: Una revisión. *Applications of Language & Knowledge Engineering*, 163.
- Vidal Ledo, M., Vialart Vidal, M. N., Alfonso Sánchez, I., & Zacca González, G. (2019). Cápsulas educativas o informativas. Un mejor aprendizaje significativo. *Educación médica superior*, 33(2).

Links Related Generation to Transcribed Texts for YouTube Videos

Generación de Vínculos Relacionados a Textos Transcritos para Videos de YouTube

Pablo Martínez León¹ <https://orcid.org/0000-0002-9269-346X>, Marcos Orellana¹ <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>

¹Universidad de Cuenca, Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI), Cuenca, Ecuador

pdmleon@es.uazuay.edu.ec, marore@uazuay.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Sent: 2024/07/12

Accepted: 2024/10/02

Published: 2024/10/15

Abstract

The way people learn has undergone a significant transformation thanks to the advancement of technology. Various digital tools complement daily and academic activities, facilitating access to updated and diverse information. The Internet, in particular, has positioned itself as the primary source of information, offering a large amount of textual and audiovisual content, with short content in the form of videos being the most popular. However, the learning process inevitably involves acquiring new concepts and terms. When encountering unfamiliar vocabulary in videos, people often search for additional information to understand the content better. Therefore, this research seeks to develop a tool capable of analyzing video transcripts using Natural Language Processing techniques to identify key terms and relate them to other relevant information sources, thus facilitating learning. When evaluating the relevance of terms to the textual content of videos on various topics using an Artificial Intelligence model, a relevance greater than 75% was evidenced for all terms. This confirms the efficacy of this approach for analyzing and understanding the textual content of transcribed videos.

Keywords: Natural language processing, Text mining, Text classification, Web Mashup.

Summary: Introduction, Related Works, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusions.

How to cite: Martínez, P. & Orellana, M. (2024). Links Related Generation to Transcribed Texts for YouTube Videos. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 39-51. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1206>

Resumen

La manera en que las personas aprenden ha experimentado una transformación significativa gracias al avance de la tecnología. Actualmente, una amplia variedad de herramientas digitales complementa las actividades cotidianas y académicas, facilitando el acceso a información actualizada y diversa. Internet, en particular, se ha posicionado como la principal fuente de información, ofreciendo una gran cantidad de contenidos textuales y audiovisuales, siendo los contenidos breves en forma de videos, los más populares. Sin embargo, el proceso de aprendizaje inevitablemente implica la adquisición de nuevos conceptos y términos. Al encontrarse con vocabulario desconocido en los videos, las personas suelen buscar información adicional para comprender mejor el contenido. Por lo tanto, esta investigación busca desarrollar una herramienta capaz de analizar las transcripciones de videos utilizando técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural para identificar términos clave y relacionarlos con otras fuentes de información relevante, facilitando así el aprendizaje. Al evaluar la relevancia de los términos con el contenido textual en videos de distintas temáticas utilizando un modelo de Inteligencia Artificial, se evidencia una relevancia mayor al 75% en todos los términos, lo que confirma la eficacia de este enfoque para analizar y comprender el contenido textual de los videos transcritos.

Palabras clave: Categorización de texto, Minería de texto, Mashup web, Procesamiento de lenguaje natural.

Introduction

Technology has radically transformed the way we learn. Today, students and teachers have many digital resources to complement their academic activities. The Internet has become a notable source of up-to-date and accessible information, with videos being the preferred format for learning (Hsin & Cigas, 2013). However, this activity is interrupted when people encounter unfamiliar terms or concepts. This situation requires searching for additional information from other sources, which generates intermittent viewing of the video (Manasrah et al., 2021). Thus, developing a methodology and tool that integrates and organizes these contents coherently is imperative.

Thanks to advances in Natural Language Processing (NLP), analyzing and categorizing texts and videos available online is possible. This branch of Artificial Intelligence (AI) enables computer systems to understand and process human language similarly to people (Litman, 2016). NLP faces a considerable challenge due to the evolutionary nature of human language. Factors such as people's speaking and writing styles make training NLP models continuous and complex. These models improve by being trained with a large amount of data, such as Google Translate, which uses neural networks to translate full texts using the available context, achieving more accurate and fluid translations. This technique, called Zero-shot, translates directly from the original language to the target language (Vaswani et al., 2017).

Keywords serve as guides to finding relevant information in documents. They are helpful both for people searching for information and for NLP systems, such as those that generate summaries (Pal et al., 2013), categorize texts (Özgür et al., 2005), and extract information from texts (Marujo et al., 2011), among others. Additionally, automatic frameworks are proposed to extract keywords (Litvak, 2019; Medelyan et al., 2010; Turney, 2000). These systems were designed to work in ideal conditions, with structured and controlled data, such as news or texts from the Internet. However, their performance often decreases significantly when applied to more complex tasks such as translation, name recognition, or summary generation (Chang et al., 2014).

Text classification is an essential task in the field of NLP, allowing us to sort and categorize a wide variety of content, from questions to product reviews (Minaee et al., 2022). Although various methods effectively classify texts into previously labeled categories, their performance deteriorates significantly when faced with new classes not included in the previous training (Pourpanah et al., 2019). Zero-shot classification aims to classify elements that have not been seen during training (Wang et al., 2019). This classification technique used in this study seeks to identify new topics and determine if they are related to the main topic of the text. Zhang et al. (2022) generate features for unseen classes based on lateral information, i.e., class-level attributes or text descriptions. Ye et al. (2020) also employ reinforced self-training techniques to take advantage of unlabeled data during training. By assuming that there is no information about unknown categories, they explore different methods to classify texts without labels in a generalized way.

Based on the previous studies that mentioned techniques for extracting keywords such as YAKE! and Zero-shot classification, this research proposes analyzing transcripts of videos obtained from the Internet (YouTube) through Application Programming Interfaces (APIs). First, the keywords are extracted. Then, new related topics are generated using Zero-shot classification. Finally, these topics are linked to Wikipedia articles and presented in a web mashup. The resulting system allows a more complete video content exploration and related terms.

Finally, this document is organized as follows: Section II contains the related works; Section III is the methodology used for execution; Section IV shows the results achieved; Section V addresses the evaluation; and finally, Section VI presents the conclusions of the work.

Related Works

Several studies are focused on applying different techniques and mechanisms to create tools that help people improve their study methods (Burstein, 2009). However, some studies have not used a combination of the proposed techniques. Methodologically, some studies apply NLP and text-mining techniques to find new topics from a base text (Devlin et al., 2018). These proposals are based on a similar process since characteristics are extracted from the transcribed texts, or keywords from the entered text are classified. At the same time, some studies use NLP and AI processes to improve teaching and learning processes.

Keyword extraction is essential for analyzing texts, allowing us to identify key points quickly. Shukla and Kakkar (2016) propose a method to extract keywords from transcripts of MOOCs (Massive Open Online Courses). Using grammatical rules and term frequency-inverse document frequency or Term Frequency and Inverse Document Frequency (TF-IDF) allows this method to highlight the most important concepts and facilitate the search for information in educational materials.

In the study of Zhang et al. (2022), an automatic keyword extraction algorithm using supervised machine learning was developed. Through experiments, they significantly improved the algorithm's performance by combining the predictions of three different models. The preprocessing of the data, performed with NLP tools, was crucial to the success of this research.

NLP has revolutionized the way students interact with information. By efficiently analyzing texts, NLP facilitates learning and the generation of new knowledge (Ferreira-Mello et al., 2019). In addition, it is a powerful tool that enhances learning by helping students understand, improve language structures, and effectively use search engines (Campos et al., 2020). Therefore,

a properly designed proposal would allow students to use these tools effectively. Students' responses can be analyzed and compared with the search content by entering textual information into the system and identifying their coincidences and discrepancies (Burstein, 2009).

Vaswani et al. (2017) developed a Zero-shot classification technique that links known classes to unknown classes through auxiliary information. This information encodes the distinctive properties of the objects, allowing the model to identify types that were not present in the training set.

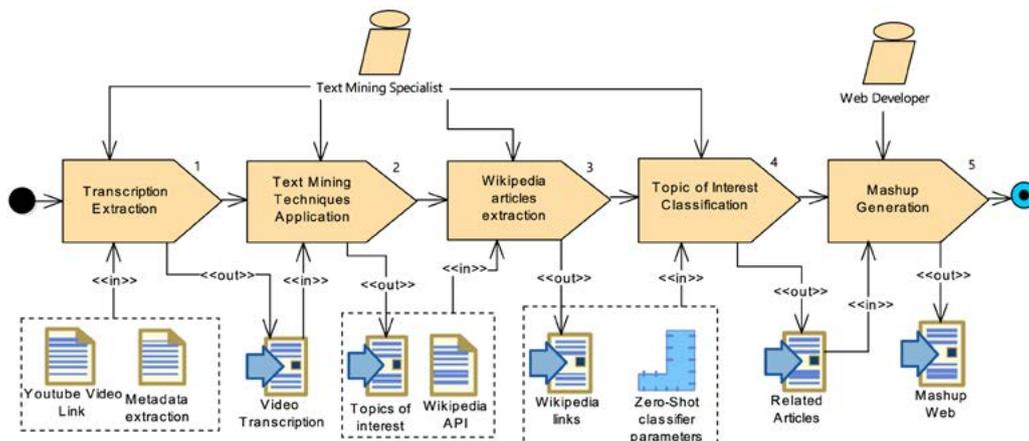
Unlike previous research that uses NLP tools such as TF-IDF to identify keywords in organized textual data, this study explores the possibility of extracting keywords from YouTube videos and obtaining their transcriptions through specialized APIs. Additionally, new learning topics linked to these keywords are generated with this information, providing links to related topics. A web mashup is developed, where these new links are displayed. In contrast to the research above, which is limited to identifying keywords, this study extracts keywords from video transcripts. It establishes meaningful connections between these words and external information sources, such as Wikipedia articles. In this way, a complete and contextualized vision of the topics addressed in the video is provided.

Materials and Methods

The exponential growth of data from various sources, such as transactions, sensors, and multimedia content, represents an unprecedented challenge. To deal with this massive volume of information, it is necessary to develop systems capable of automatically generating reports, views, or summaries, thus facilitating data-based decision-making.

The Software and Systems Process Engineering Meta-Model 2.0 (SPEM 2.0) has been used to structure and represent the methodology of this research. As seen in Figure 1, each phase is detailed here in a sequential order. Each stage is characterized by its specific inputs and outputs. Likewise, the roles of those involved in each phase are identified. The methodology was divided into five main tasks: i) Transcripts extraction; ii) Text mining techniques application; iii) Wikipedia article extraction; iv) Topics of interest classification; and v) Mashup generation. Finally, the Technology Acceptance Model (TAM) was used to evaluate the acceptance of the results obtained using the new methodology. This model, widely used in information technologies, allows us to analyze the factors that influence users' decisions to adopt and use a new technology.

Figure 1
Phases of the Research Methodology represented with SPEM 2.0



Transcript Extraction

The elements necessary to extract relevant information from the selected videos were identified. The duration of the videos, according to the study by Manasrah et al. (2021), Click or tap here to enter text. was established between two to ten minutes. The source for extracting the videos is the YouTube platform, one of the most popular and mature video hosting platforms. In addition, this platform allows integration with several programming languages through APIs with different functionalities. Furthermore, the recovered videos are limited to this language because the AI model has been trained primarily with English content. Thus, the identified components include the YouTube video link and the APIs that allow access to its content and metadata.

Initially, the audio conversion of the videos to text was performed. For this, a specialized API, such as that of YouTube, was used to obtain an accurate transcription of the audiovisual content. Subsequently, this transcript was formatted to facilitate analysis and processing.

The video platform API obtains all the information necessary for the subsequent stages of the process. This procedure was implemented using the Python programming language in version 3.10.11 and requires the installation of the "youtube-transcript-API" library in version 0.6.2; this library recommends a version of Python more significant than or equal to version 3.8.

The transcription process is illustrated with an example of how to get the transcript of the selected video using the "youtube-transcript-api" module:

```
$pip install youtube_transcript_api
from youtube_transcript_api import YouTubeTranscriptApi
YoutubeTranscriptApi.get_transcript(video_id)
```

As an example, two YouTube videos are selected to evaluate the process:

- "What is Programming?" from the Khan Academy channel, with 3.4 million views, available at: https://www.youtube.com/watch?v=FCMxA3m_Imc
- "Factorizing Algebraic Expressions" from the Maths Explained channel, with 1.4 million views, available at: <https://www.youtube.com/watch?v=ctqviXu-mTE>

Once the video transcriptions were obtained, they were stored in text variables for later analysis. From these transcripts, themes related to the content of each video are extracted.

The video transcripts serve as a starting point for this analysis. Through them and using NLP techniques, it is possible to identify the relevant terms or words and obtain a more detailed understanding of the knowledge of each video.

Text Mining Technique Application

In this task, several text mining techniques were applied to extract the most information from the transcribed videos.

Pre-processing

Before applying the computational model, it is necessary to prepare the text data to maximize its effectiveness. This preprocessing process involves several tasks:

- Elimination of irrelevant words (stopwords):
- In this technique, common words such as "the," "that," and "a," which do not

contribute significantly to the analysis, were removed. A search engine configured to ignore these words was employed (Shukla & Kakkar, 2016).

- Tokenization:
- For this process, a list of tokens is created that excludes prevalent and linguistically uninformative words, such as conjunctions (and, or, nor), prepositions (a, in, for), and common verbs (Campos et al., 2020).
- Keyword extraction with YAKE!

YAKE! It is an automatic method to identify the most critical keywords in a text based on their statistical characteristics. It does not require prior training or depend on external dictionaries or corpora. In addition, it includes a measure of relevance in the keywords, which allows for the inclusion of a threshold for selecting them (Campos et al., 2020).

Keyword extraction

In this stage, the transcription obtained from the selected YouTube video from various sources is used to analyze its content and apply data pre-processing techniques. Next, the keyword extraction technique automatically identifies the most relevant and essential words and phrases within the text. In this way, the dimensionality of the data is reduced through pre-processing techniques and keyword extraction, facilitating the classification process and subsequent evaluation with the Artificial Intelligence model.

For this, the YAKE! Library was used in version 0.4.8 in Python (3.10.11), together with the transcription of the video selected as input. Afterward, the library was configured with the desired parameters (language, n-gram size, among others.). Finally, the keywords were extracted and stored in a text list, as presented in the following implementation:

```
$pip install git+https://github.com/LIAAD/yake
import yake
custom_kw_extractor = yake.KeywordExtractor(lan="en", n=2, dedupLim=0.9,
dedupFunc='seqm', windowsSize=1, top=10, features=None)
keywords = custom_kw_extractor.extract_keywords(transcription)
```

Through the application of the YAKE! Tool, extracting between eight and ten of the most relevant keywords from each video transcription was possible. This set of key terms, along with the most significant n-grams, provided an overview of the content of each video and served as a starting point for deeper analyses. The frequency with which a word appeared in the transcript was directly proportional to the value assigned by YAKE!, which allowed keywords to be ordered according to their relative importance.

Continuing with the themes to be evaluated for the topic of Computer Science and Mathematics, the extracted keywords are presented in Table 1:

Table 1
Keywords extracted for each topic

COMPUTING	MATHEMATICS
"programming"	"common factor"
"program"	"highest common"
"programs"	"common divisor"

COMPUTING	MATHEMATICS
"computer"	"algebraic expressions"
"Code"	"factor analysis"
"process"	"lowest common factor"
"learn"	"expression (mathematics)"
"animations"	"factor solet"
"languages"	"closed-form expression"

Wikipedia Articles Extraction

Once the critical topics in the videos were identified, they were linked to relevant Wikipedia articles. To do so, the API of this virtual encyclopedia was used, which allows searching programmatically through its large search engine. Using the Wikipedia library, in version 0.6.0 for Python 3.10.11, an iterative cycle was established for each keyword, and queries were performed with the API, obtaining a maximum of four relevant results.

Topics of Interest Classification

Text classification within NLP is a fundamental task where a model must predict the categories to which text documents belong. However, traditional classification methods require large amounts of labeled data to train the model and cannot be generalized to new data. Unlike traditional methods, the Zero-shot technique seeks to classify text documents without needing previously labeled data. This is achieved using large AI models based on the Transformers architecture, which are trained on general language understanding tasks.

This way, the pre-trained model "bart-large-mnli" from Meta was used, and a Natural Language Inference (NLI) task was trained on it. NLI involves determining whether two sentences are related, contradictory, or unrelated. Although this pre-trained model presents high performance in NLI tasks in English, it has yet to be trained on a Spanish language corpus, which limits its applicability to this language. The video transcription was proposed as a premise for classifying a topic, and a hypothesis was built for each candidate label, such as "This text is about mathematics" if the label is "Mathematics." Then, the pre-trained model was used to evaluate the relationship between the premise and the hypothesis, obtaining probabilities of implication and contradiction. These probabilities are converted into classification scores for each candidate label.

The prediction model returns indicate the probability that the video transcript is related to a candidate tag. A high score suggests a strong relationship, while a low score indicates the relationship is unlikely. The Zero-shot technique evaluated the relationship between the themes extracted from the video transcription and the suggested Wikipedia articles. Each pair's score was calculated, indicating the relevance and correspondence between the video content and the articles. The links to the articles related to the video were used as a starting point to explore other sources of information on the web, further expanding the understanding of the topics of interest.

Mashup Generation

Through the stages described above, a complete process has been created to extract topics associated with a YouTube video selected by the user. The video transcription was used as a starting point, and using text mining and NLP techniques, a processing flow implemented in a Mashup was created. The main objective of this Mashup is to present the user with new topics of interest related to the selected video, providing links to articles on the web where more information can be found.

This study used Django, a high-level framework for the rapid development of websites with Python, to implement this process. This way, a graphical interface was developed that allows the user to enter the URL of the desired YouTube video and obtain related articles.

The Mashup processes the transcription by entering the video URL and presenting the related topics and relevant subtopics. Each topic and subtopic includes a direct link to a Wikipedia article to complement the information. For example, in the video with a computer theme, the main topics found were “*Programming*” and subtopics were “*Computer programming*,” “*Program*,” “*Programming language*,” and “*Code*.” In contrast, with the mathematics-themed video, the main topic was “*Common Factor*,” and the subtopics were “*Greatest common divisor*,” “*Common factors theory*,” “*Lowest common factor*,” and “*Factor analysis*.” When a subtopic is selected, it is automatically redirected to the corresponding Wikipedia article, completing the process and providing detailed information on the topics of interest.

Evaluation

The TAM model is based on three primary constructs: perceived usefulness, perceived ease of use, and attitude toward use. The objective is to evaluate the acceptance of the results of the proposed methodology, using the TAM and measuring perceptions of usefulness, ease of use, and attitude towards the use of the results through a seven-question questionnaire based on the five-point Likert scale. Additionally, the Goal Question Metric (GQM) was used to define the objectives of the case study.

In this way, a case study was performed in which the methodology was applied to a YouTube video about mathematics, and the results were evaluated manually and through a survey of experts in different areas. The GQM template defines the case study's objectives, as seen in Table 2.

Table 2
Definition of objectives of the case study

	QUESTIONS	ANSWERS
EVALUATE	What is being studied?	The result of applying the methodology to identify related topics from a mathematics video on YouTube through implementing and experimenting with text mining and NLP techniques and methods.
FOR THE PURPOSE OF	What is the intention of the study?	Evaluate the validity of the results obtained from the method.
WITH RESPECT TO	What effect is studied?	Related topics obtained from a video in the mathematics area.
FROM THE POINT OF VIEW OF	Who is affected? Refers to the study group	Systems and Data Science Engineer.
IN THE CONTEXT OF	Where, how, and by whom is the study performed?	Researchers from the Computer Science Research and Development Laboratory (LIDI) of the University of Azuay.

Subsequently, the variables of perception of usefulness, perception of ease of use, and attitude towards use are defined. Hypotheses were established, and expert surveys were conducted to evaluate these variables. The survey included questions about the effectiveness of the methodology results, the precision of the results, the ease of implementation, and the simplicity of the user interface, where a five-point Likert scale was used, the same as in indicator one, it refers to "Strongly disagree" and five "Totally agree".

Hypothesis

The hypotheses proposed for the evaluation are presented below:

- H1: The perception of the usefulness of the results is adequate for productivity or efficiency when finding related topics.
- H2: The results are easy to understand and use.
- H3: The results have significant value for the user.

The questionnaire for measuring variables with TAM included questions about the effectiveness, precision, ease of implementation, and simplicity of the user interface of the results.

Evaluation Execution

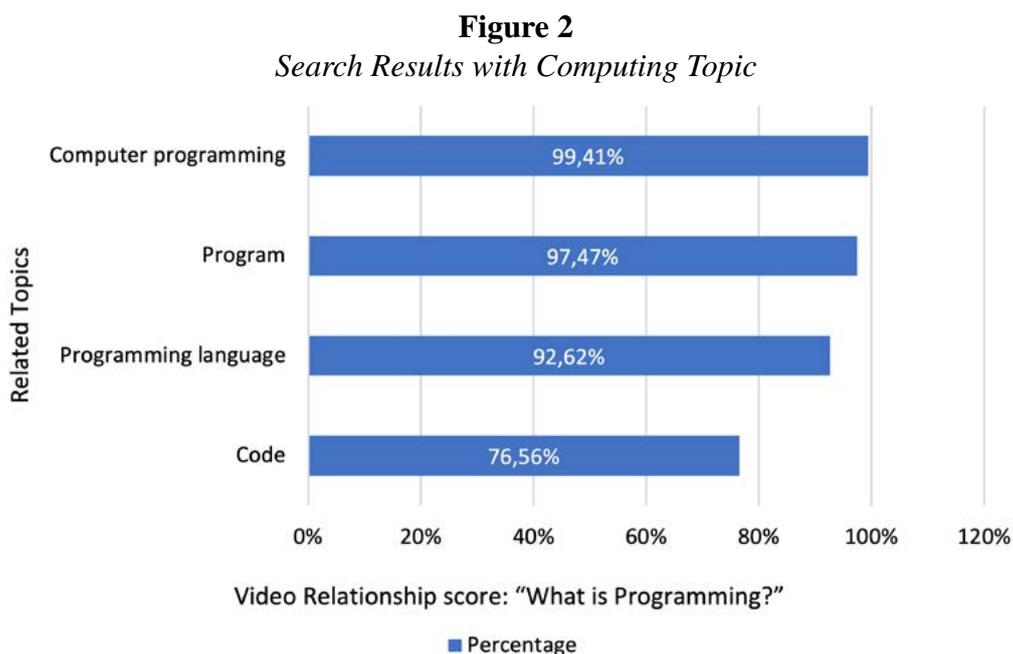
For the evaluation to be performed successfully, the experts were introduced to the methodology used and how the Mashup generated the results. Afterward, a demonstration and interaction were performed with each of the experts, who, based on the results obtained, performed the provided survey.

Analysis and Interpretation of Collected Data

The survey results included the variables' minimum values, maximums, and averages and the scale's reliability through Cronbach's Alpha coefficient, which varies between zero and one. The higher the value, the higher the internal reliability of the items.

Results and Discussion

The links to related Wikipedia articles were analyzed for their relevance to the video content. For this, the Zero-shot classification technique was used. This process was divided into three stages: i) data preparation, the video transcription is sent as a premise and the related topics as candidate labels to the classifier; ii) relationship analysis, the classifier evaluates the relationship between the premise and each candidate label, assigning a probability score; and iii) interpretation of the results, the scores are interpreted as percentages of relevance. A value of 100% indicates a high relationship between the topic and the video.



As we can observe in Figure 2, four different themes were analyzed: “*Computer Programming*,” “*Program*,” “*Programming Language*,” and “*Code*,” classified in order of most significant relevance for the analyzed video on “*What is Programming*.” The topic “*Computer Programming*” obtained the highest relevance with 99.41%, followed by “*Program*” with 97.47%, the topic “*Programming Language*” with 92.62%, and “*Code*” had the slightest relevance with 76.56%, which suggests that its connection with the video is less significant. These results determined the most relevant and associated articles for the video. Subsequently, these results were transferred to the Mashup as a direct link to each Wikipedia article.

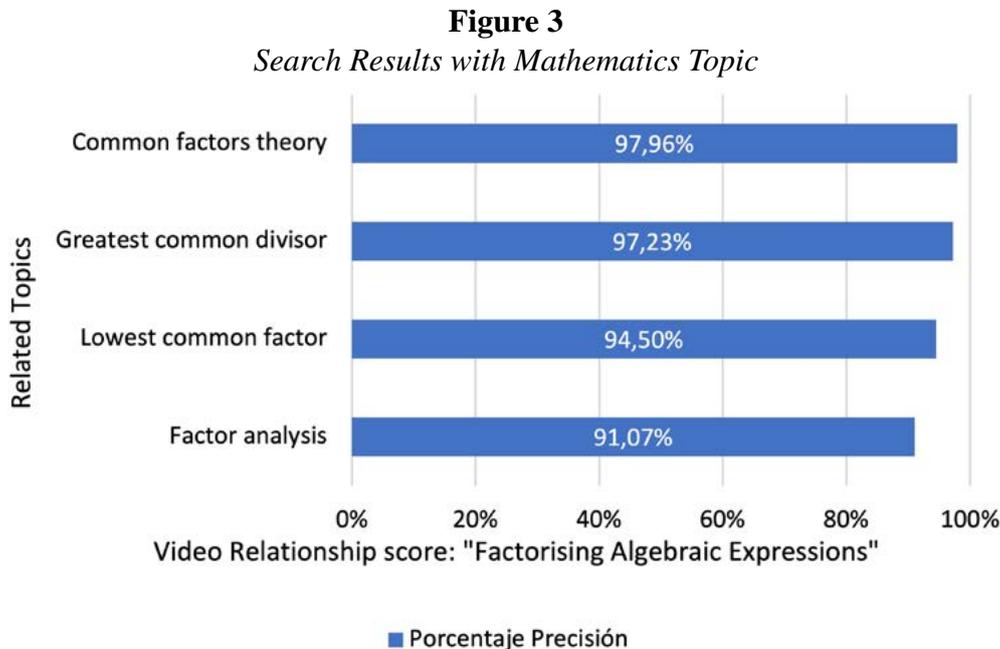


Figure 3 presents the analysis of four different topics: “*Common Factors Theory*,” “*Greatest Common Divisor*,” “*Lowest Common Factor*,” and “*Factor Analysis*,” classified in order of most significant relationship to the “*Factorizing Algebraic Expressions*.” The most relevant topic was “*Common Factor Theory*” with 97.96%, followed by “*Greatest Common Divisor*” with 97.23%, and the topic “*Lowest Common Factor*” with 94.50%. Moreover, “*Factor Analysis*” presented a lower relevance of 91.07%. With these ratings, the topics most related to the video analyzed were determined to be viewed as part of the *Mashup*.

TAM Evaluation Results

Through the results obtained in the survey, Cronbach's alpha coefficient was used to evaluate the internal reliability of the questionnaire and its results. The consistency and correlation between the items that measure each variable are indicated to evaluate its validity. Below are the scales used to measure the level of reliability:

- 0.90 or higher: Excellent reliability. The items are highly correlated, and the variable is consistently measured.
- 0.80 to 0.89: Good reliability. The items are moderately correlated, and the variable is measured consistently.
- 0.70 to 0.79: Acceptable reliability. The items are moderately correlated, and the variable is measured acceptably.
- 0.60 to 0.69: Reliable in certain circumstances. The items are weakly correlated, and the variable is measured moderately.

- Less than 0.60: Low reliability. The items are weakly correlated, and the variable needs to be measured consistently.

The results indicated that participants perceived the results as practical, easy to use, and valuable. Cronbach's Alpha coefficient was 0.85, indicating solid variables and responses' internal consistency.

Validation of Hypotheses

In this section, the hypotheses raised at the beginning of the study are examined using the results obtained from the survey.

- Hypothesis 1: Are the results helpful in finding related topics?
The analysis of the average value for the variable "perception of the usefulness of the results" was 4.16, indicating that the participants consider the results obtained helpful in terms of productivity and efficiency, validating hypothesis 1.
- Hypothesis 2: Are the results easy to understand and use?
The average value for the variable "perceived ease of use of the results" was 4.5, indicating that participants consider the results easy to understand and use, supporting hypothesis 2.
- Hypothesis 3: Do the results generate trust in the user?
The average value for the variable "attitude toward use" was 4.13, indicating that participants perceived significant value in the results and trust in their operation, validating hypothesis 3.

The average results of the survey supported the three hypotheses stated. The participants perceived that the proposed methodology was practical, easy to use, and generated trust, which suggests positive acceptance by users. These results are a positive indicator that the proposed methodology has the potential to be a valuable tool for effectively identifying related topics in YouTube videos. However, several video themes could hinder the developed system, and the keyword extraction technique may not be the most effective in some cases. Therefore, it is necessary to investigate new techniques and more advanced algorithms. Finally, the results of this research highlight the marked disparity between the quantity and quality of pre-trained language models available in Spanish and English. This gap shows the urgent need to develop more models in Spanish to democratize access to artificial intelligence technologies in the Spanish-speaking world.

Conclusions

This study implemented a process of identifying and extracting related topics from YouTube videos. Text mining and NLP techniques, such as YAKE! and Zero-shot classification, were combined to perform the task. Two specific subject areas were selected to evaluate the effectiveness of this methodology: computer science and mathematics. Experiments were performed in both fields to analyze the results obtained and compare the performance of the different techniques.

The results were obtained through the application of the YAKE! The tool accurately revealed the relevant themes in the analyzed videos' transcripts. This tool proved to be effective in extracting relevant keywords and concepts from poorly structured text. On the other hand, NLP was essential in preparing the data for all processes, reducing dimensionality, and improving its quality. The Zero-shot classification technique allowed us to objectively evaluate whether

the extracted themes aligned with the video's general content. By assigning a score to each topic, it was possible to establish a relevance ranking and discard those unrelated to the original video. Visualizing results through a web mashup, which connected the identified topics with Wikipedia articles, provided a powerful tool for exploring and understanding the data, enriching its analysis. In conclusion, combining YAKE! NLP techniques, Zero-shot classification, and visualization through a web mashup allowed us to achieve the objectives proposed in this study. It was possible to accurately identify the main themes of the videos, evaluate their relevance, and provide an interactive tool for exploring related information.

Acknowledgments

This work was partially supported by the Vice rectorate of Research at Universidad del Azuay for their financial and academic support and the entire staff in the Computer Science Research & Development Laboratory (LIDI).

References

- Burstein, J. (2009). Opportunities for natural language processing research in education. *Computational Linguistics and Intelligent Text Processing: 10th International Conference, CICLing 2009, Mexico City, Mexico, March 1-7, 2009*. Proceedings 10, 6-27.
- Campos, R., Mangaravite, V., Pasquali, A., Jorge, A., Nunes, C., & Jatowt, A. (2020). YAKE! Keyword extraction from single documents using multiple local features. *Information Sciences*, 509, 257-289. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.09.013>
- Chang, A., Savva, M., & Manning, C. D. (2014). Semantic parsing for text to 3d scene generation. *Proceedings of the ACL 2014 workshop on semantic parsing*, 17-21.
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
- Ferreira-Mello, R., André, M., Pinheiro, A., Costa, E., & Romero, C. (2019). Text mining in education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 9(6), e1332.
- Hsin, W.-J., & Cigas, J. (2013). Short videos improve student learning in online education. *J. Comput. Sci. Coll.*, 28(5), 253-259.
- Litman, D. (2016). Natural Language Processing for Enhancing Teaching and Learning. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30(1). <https://doi.org/10.1609/aaai.v30i1.9879>
- Litvak, M. (2019). *Deep Dive into Authorship Verification of Email Messages with Convolutional Neural Network* (pp. 129-136). https://doi.org/10.1007/978-3-030-11680-4_14
- Manasrah, A. M., Masoud, M. Z., & Jaradat, Y. (2021). Short Videos, or Long Videos? A Study on the Ideal Video Length in Online Learning. *2021 International Conference on Information Technology (ICIT)*, 366-370. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:236482423>
- Marujo, L., Grazina, N., Luis, T., Ling, W., Coheur, L., & Trancoso, I. (2011). BP2EP-adaptation of Brazilian Portuguese texts to European Portuguese. *Proceedings of the 15th Annual conference of the European Association for Machine Translation*.
- Medelyan, O., Perrone, V., & Witten, I. H. (2010). Subject metadata support powered by Maui. *Proceedings of the 10th annual joint conference on Digital libraries*, 407-408. <https://doi.org/10.1145/1816123.1816204>

- Minaee, S., Kalchbrenner, N., Cambria, E., Nikzad, N., Chenaghlu, M., & Gao, J. (2022). Deep Learning--based Text Classification. *ACM Computing Surveys*, 54(3), 1-40. <https://doi.org/10.1145/3439726>
- Özgür, A., Özgür, L., & Güngör, T. (2005). *Text Categorization with Class-Based and Corpus-Based Keyword Selection* (pp. 606-615). https://doi.org/10.1007/11569596_63
- Pal, S. K., Banerjee, R., Dutta, S., & Sarma, S. Sen. (2013). An Insight Into The Z-number Approach To CWW. *Fundamenta Informaticae*, 124(1-2), 197-229. <https://doi.org/10.3233/FI-2013-831>
- Pourpanah, F., Lim, C. P., Wang, X., Tan, C. J., Seera, M., & Shi, Y. (2019). A hybrid model of fuzzy min-max and brain storm optimization for feature selection and data classification. *Neurocomputing*, 333, 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.01.011>
- Shukla, H., & Kakkar, M. (2016). Keyword extraction from Educational Video transcripts using NLP techniques. *2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)*, 105-108. <https://doi.org/10.1109/CONFLUENCE.2016.7508096>
- Turney, P. D. (2000). Learning Algorithms for Keyphrase Extraction. *Information Retrieval*, 2(4), 303-336. <https://doi.org/10.1023/A:1009976227802>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł. ukasz, & Polosukhin, I. (2017). Attention is All you Need. En I. Guyon, U. Von Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan, & R. Garnett (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 30). Curran Associates, Inc. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fd053c1c4a845aa-Paper.pdf
- Wang, W., Zheng, V. W., Yu, H., & Miao, C. (2019). A Survey of Zero-Shot Learning. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 10(2), 1-37. <https://doi.org/10.1145/3293318>
- Ye, Z., Geng, Y., Chen, J., Chen, J., Xu, X., Zheng, S., Wang, F., Zhang, J., & Chen, H. (2020). Zero-shot Text Classification via Reinforced Self-training. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 3014-3024. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.272>
- Zhang, Y., Yuan, C., Wang, X., Bai, Z., & Liu, Y. (2022). Learn to Adapt for Generalized Zero-Shot Text Classification. *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (Volume 1: Long Papers), 517-527. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.acl-long.39>

El impacto de la Inteligencia Artificial en la Gestión de Proyectos

The Impact of Artificial Intelligence on Project Management

José Antonio Carrillo Zenteno¹ <https://orcid.org/0000-0002-4159-0882>, Aida Diana Ormaza Vintimilla² <https://orcid.org/0009-0006-9876-8887>, Julio Jhovany Santacruz Espinoza¹ <https://orcid.org/0000-0001-7543-0919>

¹Universidad Católica de Cuenca, Cañar, Ecuador
jacarrilloz@ucacue.edu.ec, jsantacruz@ucacue.edu.ec

²Unidad Educativa Luis Cordero, Azogues, Ecuador
aida.ormaza@educacion.gob.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/30

Aceptado: 2024/10/03

Publicado: 2024/10/15

Resumen

En la última década, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una tecnología transformadora, especialmente en la gestión de proyectos. Este estudio analiza su impacto en América Latina, con un enfoque en Ecuador. Se observa un interés significativo en la adopción de IA en Ecuador, influenciado por políticas favorables, condiciones económicas y avances tecnológicos. La mayoría de los encuestados son docentes, investigadores científicos y directores de departamento, lo que subraya la relevancia de la IA en los ámbitos educativo y científico (Fernández & Fernández, 2019; Hassan, Khairudin & Nasir, 2019).

Las grandes organizaciones, con más de 200 empleados, están mejor posicionadas para adoptar la IA debido a sus mayores recursos financieros y técnicos (Chui, Henke, & Miremadi, 2020). Sin embargo, persisten barreras significativas, como limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias y la falta de apoyo de la dirección, que dificultan su implementación (Smith & Lazarus, 2021).

A pesar de estas barreras, la mayoría de los encuestados anticipa un aumento significativo en la adopción de IA en los próximos cinco años, aunque aún existen dudas y desafíos por superar para asegurar una implementación exitosa y sostenida (Jones, Patel, & Smith, 2019). Este análisis

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

Como citar: Carrillo, J., Ormaza, A. & Santacruz, J. (2024). El impacto de la Inteligencia Artificial en la Gestión de Proyectos. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 52-66. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1190>

destaca tanto las oportunidades como los retos que enfrenta la IA en la gestión de proyectos en Ecuador, subrayando la necesidad de un enfoque integral para maximizar sus beneficios.

Palabras clave: Inteligencia Artificial (AI), Gestión de Proyectos, Beneficios de IA, Eficiencia operativa, modelos de adopción.

Abstract

Over the past decade, artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative technology, particularly in project management. This study examines its impact in Latin America, with a focus on Ecuador. There is significant interest in AI adoption in Ecuador, driven by favorable policies, economic conditions, and technological advancements. Most respondents are educators, scientific researchers, and department heads, highlighting the relevance of AI in educational and scientific fields (Fernández & Fernández, 2019; Hassan, Khairudin, & Nasir, 2019).

Large organizations, with more than 200 employees, are better positioned to adopt AI due to their greater financial and technical resources (Chui, Henke, & Miremadi, 2020). However, significant barriers persist, such as technological limitations, budgetary constraints, and a lack of managerial support, which complicate its implementation (Smith & Lazarus, 2021).

Despite these barriers, most respondents anticipate a significant increase in AI adoption over the next five years, although doubts and challenges remain that must be addressed to ensure successful and sustained implementation (Jones, Patel, & Smith, 2019). This analysis underscores both the opportunities and challenges that AI faces in project management in Ecuador, emphasizing the need for a comprehensive approach to maximize its benefits.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Project Management, AI Benefits, Operational Efficiency, Adoption Models.

Introducción

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en la exploración y comprensión de la inteligencia artificial (IA) y su impacto en la gestión de proyectos.

La IA se define como la capacidad de una máquina para imitar funciones cognitivas humanas, como el aprendizaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones (Russell & Norvig, 2020). Esta definición abarca una amplia gama de tecnologías, incluyendo el aprendizaje automático (machine learning), el procesamiento del lenguaje natural (NLP) y los sistemas expertos.

Inteligencia Artificial y su Aplicación en la Gestión de Proyectos

La gestión de proyectos se refiere a la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para cumplir con los requisitos de un proyecto (Project Management Institute, 2017). La introducción de la IA en la gestión de proyectos tiene el potencial de transformar significativamente esta disciplina al mejorar la eficiencia, la precisión y la capacidad de toma de decisiones. Según Batselier & Vanhoucke (2020), las técnicas de IA, como los algoritmos de aprendizaje automático y los sistemas de recomendación, pueden ser aplicadas en varias áreas de la gestión de proyectos, incluyendo la planificación, la gestión de recursos, la gestión de riesgos y el monitoreo del desempeño.

El aprendizaje automático, una subdisciplina de la IA, permite a las máquinas aprender de los datos y hacer predicciones o tomar decisiones sin ser programadas explícitamente para ello (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016). En la gestión de proyectos, esto puede traducirse en la capacidad de predecir retrasos, identificar riesgos potenciales y sugerir acciones correctivas basadas en datos históricos y patrones observados.

Modelos de Adopción de Tecnología

Para entender cómo las organizaciones adoptan nuevas tecnologías como la IA, es útil revisar modelos teóricos sobre la adopción de tecnología. El Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM), propuesto por Davis (1989), sugiere que la percepción de utilidad (PU) y la percepción de facilidad de uso (PEU) son determinantes clave en la adopción de nuevas tecnologías. La percepción de utilidad se refiere a la creencia de que usar una tecnología mejorará el rendimiento laboral, mientras que la percepción de facilidad de uso se refiere a la creencia de que usar la tecnología será libre de esfuerzo.

Otro modelo relevante es la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT) de Venkatesh y otros (2003), que amplía el TAM al incluir factores adicionales como las expectativas de rendimiento, las expectativas de esfuerzo, la influencia social y las condiciones facilitadoras. Estos modelos proporcionan un marco para entender los factores que influyen en la adopción de IA en la gestión de proyectos, incluyendo las barreras tecnológicas, la disponibilidad de recursos y el apoyo directivo.

Beneficios de la IA en la Gestión de Proyectos

La implementación de IA en la gestión de proyectos ofrece numerosos beneficios. Entre los más destacados se encuentran la mejora en la eficiencia operativa, la reducción de costos, y el aumento en la precisión de la toma de decisiones. Hassan y otros (2019) señalan que la IA puede automatizar tareas repetitivas, lo que permite a los gestores de proyectos concentrarse en actividades de mayor valor añadido. Además, los sistemas de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos para proporcionar insights que de otro modo pasarían desapercibidos, mejorando así la capacidad de tomar decisiones informadas.

El uso de algoritmos de IA también puede mejorar la gestión de recursos al optimizar la asignación y utilización de recursos en función de datos en tiempo real y predicciones basadas en tendencias históricas (Batselier & Vanhoucke, 2020). Asimismo, la IA puede facilitar la gestión del riesgo mediante la identificación temprana de problemas potenciales y la recomendación de acciones correctivas antes de que estos se conviertan en problemas significativos.

Barreras para la Adopción de IA

A pesar de los numerosos beneficios, la adopción de IA en la gestión de proyectos enfrenta varias barreras. Las limitaciones tecnológicas, como la falta de infraestructura adecuada y la complejidad de integrar la IA con sistemas existentes, son desafíos significativos (Smith & Lazarus, 2021). Las restricciones presupuestarias también juegan un papel crucial, ya que la implementación de soluciones de IA puede ser costosa y requiere una inversión considerable en hardware, software y capacitación del personal.

Además, la normativa y los aspectos legales pueden dificultar la adopción de IA, especialmente en sectores altamente regulados (Chui, Henke, & Miremadi, 2020). La falta de apoyo de la dirección es otra barrera importante, ya que la implementación exitosa de IA requiere un compromiso y una visión claros por parte de los líderes organizacionales. Estos desafíos múltiples y entrelazados sugieren la necesidad de un enfoque integral para superar las barreras y facilitar la adopción efectiva de IA en la gestión de proyectos.

El marco referencial de esta investigación se basa en una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre la inteligencia artificial (IA) y su aplicación en la gestión de proyectos. Este marco proporciona el contexto necesario para comprender cómo las tecnologías de IA están siendo adoptadas y utilizadas en diferentes sectores y cómo esta investigación puede contribuir a ese conocimiento.

Estudios Previos sobre la IA en la Gestión de Proyectos

La implementación de IA en la gestión de proyectos ha sido objeto de numerosos estudios que destacan sus beneficios y desafíos. Por ejemplo, Fernández & Fernández (2019) analizaron cómo la IA está cambiando las reglas del juego en la gestión ágil de proyectos, permitiendo una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta a los cambios en el entorno del proyecto. Este estudio es relevante para nuestra investigación, ya que ofrece un marco para entender cómo la IA puede mejorar la adaptabilidad y eficiencia en la gestión de proyectos.

Hassan y otros (2019) discuten el impacto de la IA en la gestión de proyectos, señalando que su implementación puede llevar a una mejora significativa en la eficiencia operativa y la precisión en la toma de decisiones. Este estudio es crucial para nuestra investigación, ya que proporciona evidencia empírica de los beneficios de la IA, lo cual nos ayudará a validar los resultados obtenidos en nuestro estudio.

De acuerdo con Project Management Institute Sweden (2024), la llegada de la IA ha provocado que numerosos países y organizaciones intensifiquen las inversiones en tecnología emergente, así como la necesidad de líderes en gestión de proyectos con habilidades en innovación y toma de decisiones basadas en datos junto con una sólida comprensión del entorno empresarial. Aunque la IA facilitará diversas tareas, no sustituirá de inmediato el trabajo humano, sino que reorientará la gestión de proyectos hacia un enfoque más estratégico y basado en datos.

En Norteamérica, una mayoría significativa de profesionales (76%) considera que la IA transformará la gestión de proyectos en los próximos años, lo que indica que perciben a la IA como esencial para mantenerse en el mercado laboral. En Europa, el surgimiento de la inteligencia artificial ha aumentado el número de profesionales (71%) en la gestión de proyectos que consideran que adoptar una mentalidad innovadora y desarrollar la capacidad de tomar decisiones basadas en datos serán habilidades fundamentales. Así mismo, en Asia el 79% de expertos consideran que la IA beneficiará y transformará la gestión de proyectos al incluir habilidades específicas y herramientas tecnológicas que mejoren la eficiencia en la ejecución de proyectos; así mismo, África ve en la IA una herramienta potencial para transformar la gestión de proyectos; sin embargo, la región enfrenta desafíos significativos como la brecha de habilidades digitales y la necesidad de mejorar la infraestructura.

En América Latina, el 87% de los profesionales está convencido de que la inteligencia artificial (IA) tendrá un impacto positivo en la gestión de proyectos. Aunque la región se encuentra en las primeras fases de adopción de esta tecnología, hay un notable interés en adquirir y desarrollar competencias relacionadas con la IA. Tanto las organizaciones públicas como privadas se enfrentan al desafío de establecer las condiciones adecuadas para facilitar esta formación, un paso esencial para reducir la brecha con otras regiones más avanzadas en la implementación de IA.

En Oceanía, el 86% de los profesionales considera que la IA transformará la gestión de proyectos. La región está comenzando a implementarla en este ámbito, y se anticipa que los profesionales deberán adaptarse rápidamente a este nuevo paradigma. Las empresas necesitarán

preparar y capacitar adecuadamente a sus equipos para que esta transición sea efectiva, con un enfoque particular en la gestión del cambio y en la retención del talento especializado en IA.

En el caso del Ecuador, la adopción de la IA en la gestión de proyectos es aún incipiente debido a los desafíos en cuanto a infraestructura y formación, por lo que se están haciendo esfuerzos por seguir desarrollando las bases digitales y fomentar la educación en tecnología, de modo que se integre la IA en proyectos de gran envergadura; ejemplo de ello es la mejora de la planificación y ejecución de proyectos en zonas rurales, donde la logística y la gestión de recursos son especialmente complejas (Salinas & Fernández, 2020).

A medida que Ecuador continúa desarrollando su infraestructura digital y fomenta la educación en tecnología, es probable que la IA juegue un papel cada vez más importante en la gestión de proyectos a nivel nacional. Este desarrollo es crucial para que el país pueda aprovechar las oportunidades que ofrece la inteligencia artificial y así mejorar la competitividad de sus proyectos en un contexto global (UNESCO, 2021).

Factores que Influencian en la Adopción de IA

La adopción de IA no ocurre en el vacío; está influenciada por varios factores contextuales. Chui y otros (2020) discuten cómo las políticas económicas y tecnológicas de un país pueden afectar la adopción de IA. En América Latina, y específicamente en Ecuador, estos factores son cruciales para entender por qué algunas organizaciones adoptan IA más rápidamente que otras. Este estudio proporciona un marco para analizar cómo las condiciones locales pueden influir en la adopción de IA en la gestión de proyectos.

Venkatesh y otros (2003), en su Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT), identifican factores como las expectativas de rendimiento, las expectativas de esfuerzo, la influencia social y las condiciones facilitadoras como determinantes clave en la adopción de tecnología. Este modelo es útil para nuestra investigación, ya que nos permite estructurar nuestro análisis sobre los factores que influyen en la adopción de IA en la gestión de proyectos.

Barreras para la Adopción de IA

Smith & Lazarus (2021) exploran las barreras tecnológicas, presupuestarias y normativas que dificultan la adopción de tecnologías innovadoras. Estos hallazgos son particularmente relevantes para nuestra investigación, ya que proporcionan un marco para identificar y analizar las barreras específicas que enfrentan las organizaciones en América Latina al adoptar IA. La comprensión de estas barreras nos permitirá ofrecer recomendaciones prácticas para superarlas.

Beneficios de la IA en la Gestión de Proyectos

Batselier & Vanhoucke (2020) revisan cómo las técnicas de IA pueden mejorar la gestión de recursos del proyecto, la optimización de cronogramas y el análisis predictivo. Estos beneficios son centrales para nuestra investigación, ya que nos permiten enfocarnos en cómo la IA puede transformar aspectos específicos de la gestión de proyectos. Este estudio proporcionará una base sólida para comparar los beneficios observados en nuestra investigación con los hallazgos de estudios previos.

Contribución de la Investigación

Este marco referencial no solo contextualiza nuestra investigación dentro del cuerpo existente de literatura, sino que también identifica las lagunas de conocimiento que nuestro estudio puede llenar. Por ejemplo, aunque hay estudios significativos sobre los beneficios de la IA,

hay menos investigaciones que aborden las barreras específicas en el contexto latinoamericano. Nuestra investigación contribuirá a llenar esta laguna al proporcionar datos empíricos sobre las barreras y facilitadores de la adopción de IA en la gestión de proyectos en Ecuador y otros países de la región.

Además, al aplicar modelos teóricos como TAM y UTAUT, nuestra investigación no solo identificará los factores que influyen en la adopción de IA, sino que también proporcionará un marco para que otras investigaciones futuras exploren estos factores en diferentes contextos. Esto hará que nuestros hallazgos sean más generalizables y útiles para una amplia gama de interesados en la gestión de proyectos y la adopción de IA.

Materiales y Métodos

La metodología de esta investigación se diseñó para proporcionar un análisis comprensivo y detallado sobre el impacto de la inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos en América Latina, con un énfasis particular en Ecuador. El enfoque metodológico adoptado combina métodos cuantitativos y cualitativos, permitiendo así una comprensión holística de los beneficios, barreras y factores que influyen en la adopción de IA en la gestión de proyectos.

Diseño de Investigación

El diseño de investigación es de tipo exploratorio y descriptivo. Según Creswell (2014), un diseño exploratorio es adecuado para estudios donde hay poca información previa disponible, y un diseño descriptivo permite detallar las características de un fenómeno específico. Este enfoque es relevante para nuestra investigación, ya que busca explorar y describir la adopción de IA en un contexto regional específico.

Instrumentos de Recolección de Datos

Se empleó una encuesta estructurada, que incluyó preguntas de opción múltiple y preguntas con escala Likert, como principal instrumento para la recolección de datos cuantitativos. La encuesta fue diseñada para capturar información detallada sobre:

1. Perfil de los encuestados: País de residencia, cargo en la organización, sector industrial, y tamaño de la organización.
2. Uso actual de IA: Preguntas sobre si el departamento o equipo utiliza actualmente IA en la gestión de proyectos.
3. Beneficios observados de la IA: Identificación de los beneficios específicos que los encuestados han observado desde la implementación de IA.
4. Barreras para la adopción de IA: Identificación de las principales barreras percibidas para la adopción futura de IA.
5. Perspectivas futuras sobre la IA: Selección de diversas opciones sobre el futuro de la IA en la gestión de proyectos en los próximos cinco años.

Procedimiento de Recolección de Datos

Se distribuyeron electrónicamente 900 encuestas a personal calificado en la gestión de proyectos en América Latina, utilizando plataformas de correo electrónico (207 encuestas) y redes sociales profesionales (693 encuestas). De este total, se recibieron 693 respuestas, lo que representa un 77% del total enviado. La selección de la muestra fue intencional, enfocándose

en individuos que laboran en sectores donde la IA tiene un potencial significativo de aplicación, tales como la educación, la investigación científica, la salud y la tecnología.

Análisis de Datos

Análisis Cuantitativo

Los datos cuantitativos recopilados se analizaron utilizando técnicas estadísticas descriptivas y análisis inferencial. Las estadísticas descriptivas (medias, medianas, frecuencias y porcentajes) se utilizaron para resumir las respuestas de la encuesta y proporcionar una visión general de las tendencias observadas. Según Pallant (2020), este enfoque permite identificar patrones y tendencias clave en los datos.

Se utilizó el software estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para realizar el análisis. El análisis inferencial, incluyendo pruebas de chi-cuadrado y análisis de varianza (ANOVA), se empleó para identificar diferencias significativas entre grupos y explorar relaciones entre variables.

Validez y Confiabilidad

Para asegurar la validez y confiabilidad de la investigación, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Validez de contenido: La encuesta fue revisada por expertos en gestión de proyectos y tecnología de IA para asegurar que las preguntas fueran relevantes y comprensivas (Creswell, 2014).
- Prueba piloto: Se realizó una prueba piloto con un pequeño grupo de profesionales de la gestión de proyectos para identificar y corregir cualquier problema potencial con la encuesta antes de su distribución a gran escala.
- Consistencia interna: Se utilizó el coeficiente Alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de las escalas utilizadas en la encuesta (Pallant, 2020).

Limitaciones de la Investigación

Es importante reconocer ciertas limitaciones en esta investigación. La muestra intencional, aunque adecuada para el enfoque exploratorio, puede limitar la generalización de los resultados a toda la población de profesionales de la gestión de proyectos en América Latina. Además, la recolección de datos a través de encuestas electrónicas puede introducir sesgos de respuesta debido a la accesibilidad y disposición de los encuestados a participar.

Contribución de la Metodología a la Investigación

Esta metodología colaborará en la investigación al proporcionar una visión integral de la adopción de IA en la gestión de proyectos. La combinación de datos cuantitativos y cualitativos permitirá una comprensión más profunda de los beneficios y barreras percibidas. Además, el análisis estadístico ayudará a identificar tendencias significativas y relaciones entre variables, lo que es esencial para formular recomendaciones prácticas y basadas en evidencia.

Al emplear un enfoque metodológico robusto y sistemático, esta investigación contribuirá a llenar las lagunas de conocimiento existentes y proporcionará información valiosa para los profesionales de la gestión de proyectos que buscan implementar IA en sus organizaciones.

Resultados y Discusión

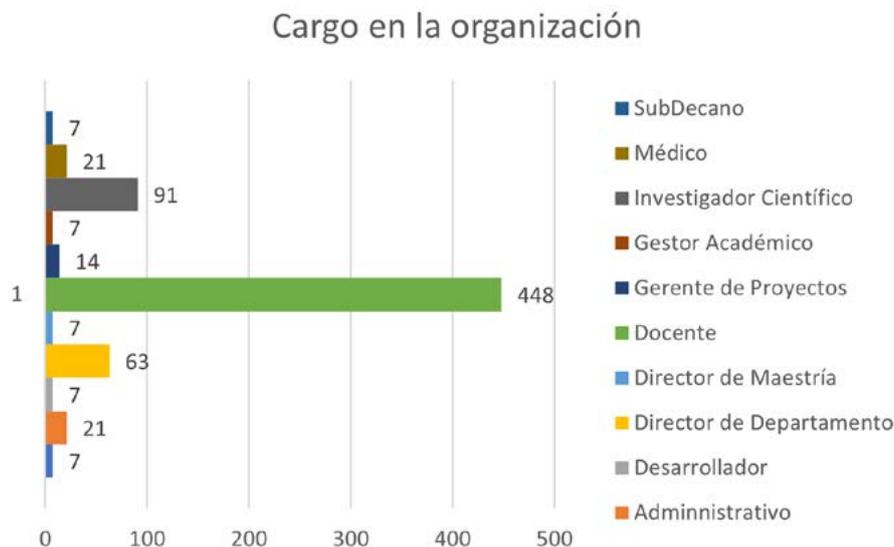
Resultados

Tabla 1
Nacionalidad de los Participantes

PAÍS	NÚMERO
Argentina	7
Cuba	21
Ecuador	392
El Salvador	14
Guatemala	7
Honduras	14
México	91
Perú	98
República Dominicana	21
Venezuela	28

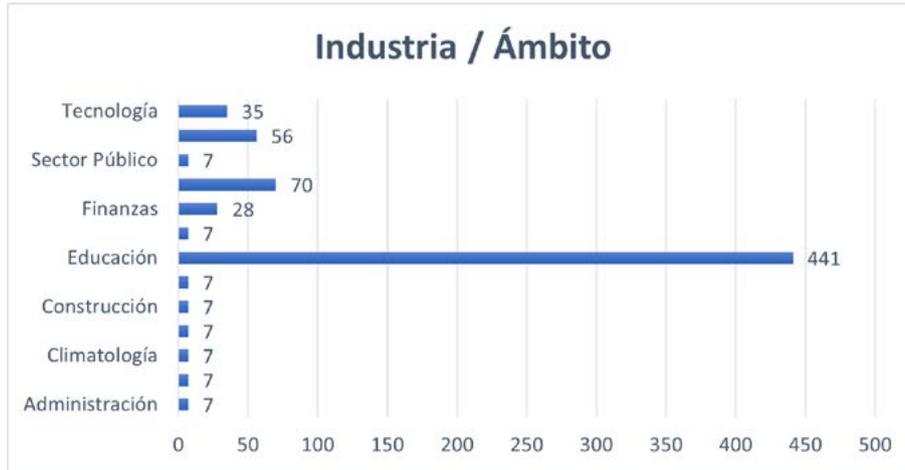
Como se observa en la Tabla 1, la mayoría de los encuestados provienen de Ecuador, seguido por otros países de la región. Esto sugiere que hay un mayor interés o disposición a responder encuestas sobre la IA en la gestión de proyectos en Ecuador. Esta distribución puede influir en la interpretación de los resultados, considerando las políticas, economías y avances tecnológicos de cada región.

Figura 1
Cargo que Desempeñan de los Participantes



En la Figura 1 se observa que la mayoría de los encuestados son docentes (448), seguidos por investigadores científicos (91) y directores de departamento (63). Los administradores constituyen una minoría con 7 respuestas. Este dato destaca la relevancia de la IA en el ámbito educativo y la investigación científica, indicando que estos roles están más involucrados o interesados en la adopción de IA en la gestión de proyectos.

Figura 2
Sector en el que Laboran los Participantes



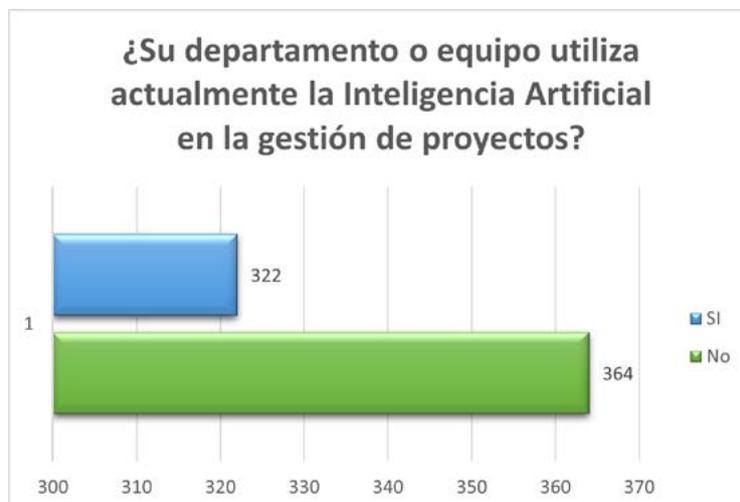
En la Figura 2 se aprecia que los sectores educativos y de investigación científica son los más representados, seguidos por la salud y la tecnología; lo que indica que dichos ámbitos están más interesados en la implementación y en el impacto de la IA en la gestión de proyectos.

Figura 3
Tamaño de la organización



De acuerdo con la Figura 3, las organizaciones grandes (más de 200 empleados) son las más representadas, lo que indica que éstas tienen más recursos para adoptar la IA en la gestión de proyectos.

Figura 4
Uso de la Inteligencia Artificial en la Gestión de Proyectos



En la Figura 4 se aprecia una diferencia notable entre los departamentos que utilizan IA y aquellos que no lo hacen. Una proporción mayor de departamentos no está empleando actualmente IA en sus proyectos, lo cual sugiere que, a pesar del creciente interés en la adopción de esta tecnología, aún hay muchas organizaciones que no han comenzado a implementarla.

Tabla 2
Beneficios de la Implementación de la IA en la Gestión de Proyectos

¿Qué beneficios ha observado desde la implementación de la IA en la gestión de proyectos?	
BENEFICIOS	NÚMERO DE RESPUESTAS
Avances en la investigación.	126
Mejora de la eficiencia operativa.	49
Mejora de la eficiencia operativa, avances en la investigación.	49
Mejora de la eficiencia operativa, mejora de la satisfacción del cliente/estudiante.	14
Mejora de la eficiencia operativa, mejora de la satisfacción del cliente/estudiante, avances en la investigación.	28
Mejora de la eficiencia operativa, mejora de la satisfacción del cliente/estudiante, reducción del tiempo del proyecto.	7
Mejora de la eficiencia operativa, mejora en la toma de decisiones.	14
Mejora de la eficiencia operativa, mejora en la toma de decisiones, avances en la investigación.	35
Mejora de la eficiencia operativa, mejora de la toma de decisiones, mejora de la satisfacción del cliente/estudiante.	7
Mejora de la eficiencia operativa, reducción de costes.	7
Mejora de la eficiencia operativa, reducción de costes, avances en la investigación.	7
Mejora de la eficiencia operativa, reducción de costes, mejora de la satisfacción del cliente/estudiante, avances en la investigación.	7
Mejora de la eficiencia operativa, reducción de costes, mejora en la toma de decisiones, avances en la investigación.	7
Mejora de la eficiencia operativa, reducción de costos, mejora en la toma de decisiones, mejora de la satisfacción del cliente/estudiante, avances en la investigación.	7
Mejora de la satisfacción del cliente/estudiante.	14
Mejora de la satisfacción del cliente/estudiante, avances en la investigación.	7
Mejora en la toma de decisiones, avances en la investigación.	28
Mejora en la toma de decisiones, mejora en la satisfacción del cliente/alumno.	7
Mejora en la toma de decisiones, mejora en la satisfacción del cliente/estudiante, avances en la investigación.	21
No implementado en la institución.	7
Reducción de costes, avances en la investigación.	7

En la Tabla 2 se observa que los principales beneficios tras la implementación de la IA en la gestión de proyectos incluyen avances significativos en la investigación (126 respuestas) y mejoras en la eficiencia operativa (49 respuestas). La intersección de estos dos beneficios es especialmente notable, con 49 respuestas adicionales que subrayan mejoras tanto en la eficiencia operativa como en los avances en investigación. Además, 35 respuestas señalaron una combinación de mejoras en la eficiencia operativa, la toma de decisiones y los avances en investigación, lo que indica el valor integral de la IA en múltiples aspectos críticos de la gestión de proyectos.

Otros beneficios reportados incluyen mejoras en la toma de decisiones, reducción de costos y un aumento en la satisfacción de clientes o estudiantes, con frecuencias que oscilan entre 7 y 28 respuestas. Estos resultados sugieren que la IA no solo optimiza las operaciones diarias y aumenta la productividad, sino que también impulsa la innovación y fortalece la capacidad de investigación, beneficiando a diversas áreas dentro de la organización.

Tabla 3
Barreras en la Inclusión de la IA en la Gestión de Proyectos

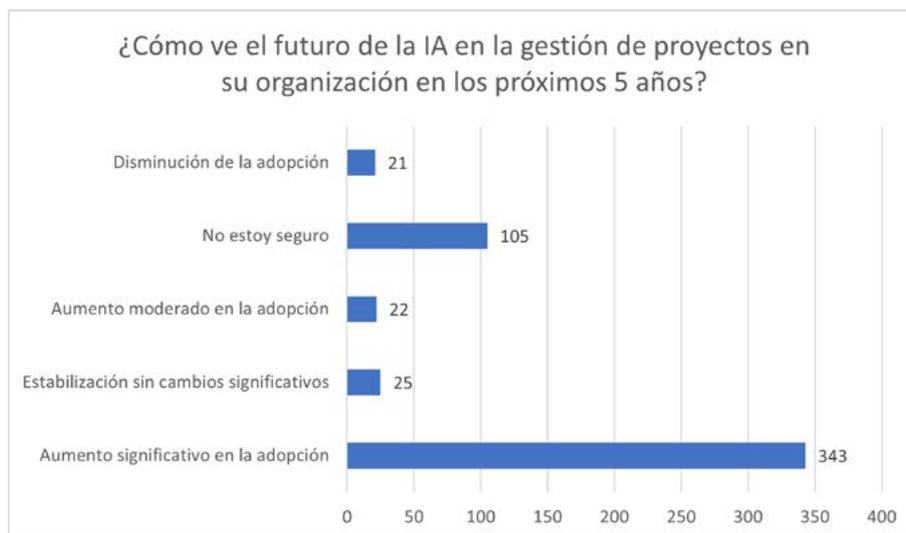
¿Qué barreras considera que son las más significativas para la adopción futura de IA en la gestión de proyectos?	
BARRERAS	NÚMERO DE RESPUESTAS
Falta de apoyo gerencial.	28
Falta de apoyo gerencial, aspectos regulatorios y legales.	14
Limitaciones tecnológicas.	98
Limitaciones tecnológicas, falta de apoyo gerencial.	42
Limitaciones tecnológicas, falta de apoyo gerencial, ética.	7
Limitaciones tecnológicas, aspectos regulatorios y legales.	56
Limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias.	56
Limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias, falta de apoyo gerencial.	21
Limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias, falta de apoyo gerencial, aspectos regulatorios y legales.	28
Limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias, aspectos regulatorios y legales.	14
Aspectos regulatorios y legales.	70
Restricciones presupuestarias.	49
Restricciones presupuestarias, falta de apoyo gerencial.	7
Restricciones presupuestarias, falta de apoyo gerencial, aspectos regulatorios y legales.	21
Restricciones presupuestarias, aspectos regulatorios y legales.	35
Todo lo anterior.	7

En la Tabla 3 se puede observar que las principales barreras para la adopción de IA en la gestión de proyectos se identificaron en las limitaciones tecnológicas, mencionadas en 98 ocasiones, seguidas por las restricciones presupuestarias, con 49 menciones, y los aspectos normativos y legales, con 70 menciones. Además, la falta de apoyo de la dirección emergió como una barrera significativa, con 28 menciones.

Estas barreras suelen presentarse de manera combinada, lo que refleja la complejidad del desafío: 56 respuestas mencionaron conjuntamente limitaciones tecnológicas y restricciones presupuestarias, mientras que otras 56 combinaron limitaciones tecnológicas con aspectos normativos y legales. Asimismo, 42 respuestas señalaron la coexistencia de limitaciones tecnológicas y la falta de apoyo directivo, y 28 respuestas identificaron la conjunción de limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias y falta de apoyo de la dirección.

Estas múltiples barreras subrayan que las organizaciones enfrentan desafíos complejos e interrelacionados que deben abordarse de manera integral para facilitar la adopción efectiva de la IA en la gestión de proyectos.

Figura 5
Futuro de la IA en la Gestión de Proyectos



En la Figura 5, se aprecia que la mayoría de los encuestados anticipa un aumento significativo en la adopción de IA en la gestión de proyectos durante los próximos cinco años, con aproximadamente 350 menciones. Esto refleja un optimismo generalizado sobre el potencial de la IA para transformar la gestión de proyectos en el futuro cercano. No obstante, un número considerable de encuestados, alrededor de 100, expresó incertidumbre sobre el futuro de la adopción de IA, lo que señala que aún persisten dudas y desafíos por resolver.

Adicionalmente, un número notable de respuestas, cerca de 75, prevé un incremento moderado en la adopción, mientras que un grupo más pequeño (aproximadamente 25 menciones) espera una estabilización sin cambios significativos. Solo un pequeño porcentaje, menos de 10 menciones, anticipa una reducción en la adopción de IA. Estos resultados sugieren una tendencia positiva hacia la adopción de IA, aunque acompañada de cierta cautela y la necesidad de abordar las preocupaciones subyacentes para garantizar una implementación exitosa y sostenida.

Discusión

La elevada participación de encuestados provenientes de Ecuador sugiere un notable interés y disposición hacia la adopción de inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos dentro del país. Este hallazgo es significativo, ya que refleja la influencia de políticas locales favorables, condiciones económicas adecuadas y avances tecnológicos en la aceptación y uso de la IA. Ecuador podría estar posicionándose como un líder regional en términos de adopción de IA, sirviendo como modelo para otras naciones con menores tasas de implementación.

El predominio de docentes (448) entre los encuestados, seguido por investigadores científicos (91) y directores de departamento (63), subraya la importancia de la IA en los sectores educativo y de investigación científica. Esta tendencia sugiere que estos ámbitos están particularmente comprometidos con la integración de IA, posiblemente debido a la necesidad de gestionar grandes volúmenes de datos y mejorar la eficiencia en procesos académicos y de investigación. En contraste, la baja participación de administradores (7) podría indicar que, aunque la IA es reconocida como una herramienta valiosa, su adopción aún no se ha generalizado en los roles administrativos.

La fuerte representación del sector educativo y de investigación científica, seguido por la salud y la tecnología, reafirma la percepción de la IA como una herramienta esencial para mejorar la eficiencia y efectividad en estos campos. La adopción de IA en estos sectores responde a la creciente demanda de soluciones innovadoras para problemas complejos que requieren procesamiento de datos en tiempo real y decisiones informadas.

Las grandes organizaciones, con más de 200 empleados, dominan la muestra, lo que podría indicar que disponen de mayores recursos financieros y técnicos para implementar IA en sus operaciones. Este hecho podría deberse a la disponibilidad de presupuestos más amplios, infraestructuras robustas y personal especializado, facilitando así la integración de tecnologías avanzadas como la IA.

La significativa diferencia entre los departamentos que utilizan IA (190) y los que no (489) revela que, a pesar del creciente interés, muchas organizaciones aún se encuentran en las primeras etapas de implementación. Esta situación podría atribuirse a barreras como limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias y la necesidad de mayor apoyo directivo y normativo.

Entre los principales beneficios de la implementación de IA se destacan los avances en investigación (126 menciones) y las mejoras en la eficiencia operativa (49 menciones). La combinación de estos beneficios es particularmente significativa, ya que 49 menciones adicionales destacaron mejoras tanto en la eficiencia operativa como en la investigación, y 35 menciones indicaron una combinación de mejora en la eficiencia operativa, toma de decisiones y avances en investigación. Esto sugiere que la IA está generando un valor integral en diversos aspectos críticos de la gestión de proyectos. Otros beneficios, como mejoras en la toma de decisiones, reducción de costos y aumento en la satisfacción del cliente o estudiantes, aunque menos frecuentes, también son importantes, evidenciando que la IA no solo optimiza operaciones diarias, sino que también impulsa la innovación y la capacidad de investigación.

Las principales barreras para la adopción de IA incluyen limitaciones tecnológicas (98 menciones), restricciones presupuestarias (49 menciones) y aspectos normativos y legales (70 menciones). La falta de apoyo de la dirección también se destaca como una barrera significativa (28 menciones). La combinación de estas barreras, como las limitaciones tecnológicas con restricciones presupuestarias (56 menciones) y con aspectos normativos y legales (56 menciones), indica una preocupación multifacética que requiere un enfoque integral para ser superada. Estas barreras múltiples revelan que las organizaciones enfrentan desafíos complejos e interrelacionados que deben abordarse para facilitar la adopción efectiva de IA.

Finalmente, la mayoría de los encuestados prevé un aumento significativo en la adopción de IA en los próximos cinco años (350 menciones), lo que sugiere un optimismo generalizado sobre su potencial transformador. Sin embargo, aproximadamente 100 encuestados expresaron incertidumbre, señalando la persistencia de dudas y desafíos por superar. Un número considerable de respuestas (75) anticipa un incremento moderado en la adopción, mientras que solo un pequeño porcentaje espera una reducción. Estos resultados reflejan una tendencia positiva hacia la adopción de IA, aunque es necesario abordar las preocupaciones subyacentes para asegurar una implementación exitosa y sostenida.

Conclusiones

Ecuador muestra un mayor interés o disposición hacia la IA en la gestión de proyectos, reflejado en la alta participación de encuestados de este país. Este interés puede ser impulsado por políticas favorables, condiciones económicas adecuadas y avances tecnológicos en la región.

La alta participación de docentes, investigadores científicos y directores de departamento indica que la IA es particularmente relevante en los ámbitos educativo y científico. Estos sectores están más avanzados en la adopción de IA debido a la necesidad de manejar grandes volúmenes de datos y mejorar la eficiencia en sus procesos.

El sector educativo y de investigación científica son los más representados, seguidos por salud y tecnología. Esto sugiere que estos sectores reconocen la importancia de la IA para mejorar sus operaciones y resultados.

Las organizaciones grandes son las más representadas, lo que sugiere que estas tienen más recursos para implementar IA. La disponibilidad de presupuesto, infraestructuras robustas y personal especializado son factores que facilitan la integración de IA en organizaciones más grandes.

La adopción de IA aún está en una fase de transición, con una mayor proporción de departamentos que no la utilizan. Esto indica que, aunque hay interés, muchos departamentos aún no han comenzado a implementar IA, probablemente debido a diversas barreras.

Los principales beneficios de la implementación de IA incluyen avances en investigación y mejoras en la eficiencia operativa. Además, la IA también contribuye significativamente a la mejora en la toma de decisiones, reducción de costos y aumento en la satisfacción del cliente/estudiante. Esto demuestra el valor integral de la IA en diversos aspectos críticos de la gestión de proyectos.

Las principales barreras incluyen limitaciones tecnológicas, restricciones presupuestarias y normativas y aspectos legales. La falta de apoyo de la dirección también es significativa. Estas barreras múltiples y entrelazadas indican que las organizaciones enfrentan desafíos complejos que requieren un enfoque integral para superarse.

La mayoría de los encuestados anticipan un aumento significativo en la adopción de IA en los próximos cinco años, lo que refleja un optimismo generalizado. Sin embargo, existe incertidumbre y la necesidad de abordar preocupaciones para asegurar una implementación exitosa y sostenida.

En resumen, aunque hay un claro interés y optimismo sobre el uso de IA en la gestión de proyectos, existen barreras significativas que deben abordarse. La adopción es más avanzada en sectores educativos y científicos y en organizaciones grandes que tienen más recursos. Los beneficios observados son diversos, lo que subraya el potencial transformador de la IA, pero superar las barreras tecnológicas, presupuestarias y normativas es crucial para su adopción generalizada.

Referencias

- Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2020). Artificial Intelligence Techniques for Project Resource Management: A Review. *Journal of Operations Management*, 5(66), 651-677.
- Chui, M., Henke, N., & Miremadi, M. (2020). *Artificial Intelligence and the Modern Productivity Revolution*. McKinsey Quarterly.
- Creswell, J. (2014). *Research Desing: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Cuarta ed.). SAGE Publications.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The Qualitative Content Analysis Process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107-115.
- Fernández, D., & Fernández, J. (2019). Agile Project Management with Artificial Intelligence: How AI is Changing the Game. *Journal of Modern Project Management*, 7(2), 224 - 233.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Hassan, Z., Khairudin, N., & Nasir, M. (2019). Impact of Artificial Intelligence on Project Management. *Procedia Computer Science*, 163, 489-496.
- Jones, R., Patel, V., & Smith, L. (2019). Sampling Techniques in Modern Research: Adapting to Emerging Technologies. *Survey Methodology*, 45(2), 265-283.
- Pallant, J. (2020). *Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using IBM SPSS* (Séptima ed.). McGraw-Hill Education.
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. (Sexta ed.).
- Project Management Institute Sweden. (2024). *Artificial Intelligence and Project Management*. Project Management Institute Sweden.
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A modern Approach*. Cuarta edición. Pearson.
- Salinas, A., & Fernández, A. (2020). *CEPAL*. Retrieved from www.cepal.org
- Smith, J., & Lazarus, S. (2021). Exploring Innovative Technologies: Approaches in Qualitative Research. *Journal of Technology Research*, 42(3), 134-150.
- UNESCO. (2021). *UNESCO*. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org>
- Venkatesh, V., Morris, M., & Davis, F. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.

MOVILIDAD Y VISIÓN COMPUTACIONAL



Determinación de la densidad vehicular en ciudades intermedias por medio de visión por computador

Determination of vehicle density in intermediate cities through computer vision

Daniel Alejandro Febres-Loaiza¹ <https://orcid.org/0009-0009-0336-3943>, Luis Roberto Jácome-Galarza¹ <https://orcid.org/0000-0002-2886-3372>, Wilson Eduardo Jaramillo-Sangurima¹ <https://orcid.org/0000-0002-4058-5053>, Silvia Alexandra Jaramillo-Luzuriaga¹ <https://orcid.org/0000-0003-0335-4325>

¹Universidad Internacional del Ecuador, Loja, Ecuador
danieldjfebres12@gmail.com, roberto.jacome@gmail.com,
wjaramillosa@uide.edu.ec, sijaramillolu@uide.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/15

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo calcular mediante la utilización de visión por computador la densidad vehicular de las ciudades. Para llevar a cabo el estudio, se procedió a capturar videos del tráfico vehicular en 8 intersecciones de la ciudad de Loja por medio de un dron y una cámara de alta resolución. Posteriormente se utilizó el lenguaje python y la librería YOLOv8 para realizar el conteo de vehículos de diferentes categorías como son vehículos livianos, pesados y motos. Por medio de fórmulas matemáticas utilizadas en ingeniería de tráfico se obtuvieron los valores de la densidad vehicular, tasa de flujo vehicular y espaciamiento promedio. Como resultados tenemos que el modelo de aprendizaje automático utilizando YOLOv8 tiene una precisión micro del 90% en la detección y clasificación de vehículos, y gracias a su uso se identificó la vía de mayor densidad vehicular. Las aplicaciones prácticas del presente trabajo podrían mejorar el flujo vehicular y ayudar a la toma de decisiones a los organismos competentes relacionados con la gestión del tránsito.

Palabras clave: Flujo vehicular, simulación, conteo vehicular, visión por computadora, visión artificial.

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

Como citar: Febres-Loaiza, D., Jácome-Galarza, L., Jaramillo-Sangurima, W. & Jaramillo-Luzuriaga, S. (2024). Determinación de la densidad vehicular en ciudades intermedias por medio de visión por computador. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 68-79. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1216>

Abstract

The objective of this research work is to calculate the vehicle density of cities through the use of computer vision. To carry out the study, we captured videos of vehicular traffic at 8 intersections in the city of Loja using a drone and a high-resolution camera. Subsequently, we used the Python language and the YOLOv8 library to count vehicles of different categories, such as small vehicles, trucks, and motorcycles. Through mathematical formulas used in transportation engineering, the values of vehicle density, vehicle flow rate, and average spacing were obtained. As results, we have that the machine learning model using YOLOv8 has an accuracy of 90% in detecting and classifying vehicles, and thanks to its use, the road with the highest vehicle density was identified. The practical applications of this work could improve vehicle flow and help competent organizations related to traffic management make decisions.

Keywords: Vehicle flow, simulation, vehicle counting, computer vision, machine vision.

Introducción

La congestión de tráfico vehicular es uno de los problemas que más afectan a las ciudades, puesto que se produce mayor contaminación ambiental, aumentan los costos de transporte de personas y productos, y en general se disminuye la calidad de vida de sus habitantes. Así mismo, con el rápido crecimiento de las ciudades, el desafío es cada vez mayor.

Por su parte, Cal y Mayor (2018) indican que la ingeniería de tránsito concierne a la vialidad y por ende a la movilidad de los vehículos como también de peatones. Por medio de la aplicación de los conceptos de ingeniería de tránsito es factible disminuir el problema de la congestión vehicular mediante el análisis y planificación del tránsito.

Dentro de la ingeniería de tránsito, Cal y Mayor (2018) identifica además 3 variables principales que caracterizan el tránsito vehicular en cualquier intersección: el flujo vehicular (número de vehículos que pasan por un punto dado en un tiempo determinado), la velocidad promedio de los vehículos, y la densidad vehicular (cantidad de vehículos presentes en una vía por unidad de longitud).

La implementación de los conceptos de ingeniería de tránsito en la planificación de las ciudades tendría un impacto significativo en la disminución de los problemas provocados por la congestión vehicular, sin embargo, su utilización no es sencilla debido a que previamente es necesario realizar el conteo de vehículos por las vías del área en estudio y este procedimiento es tedioso y monótono al hacerlo de forma manual.

El objetivo del presente proyecto consiste en implementar un modelo de visión por computador capaz de realizar la detección, clasificación y conteo de vehículos que pasan por un área de estudio para aplicarlo en el cálculo de variables de ingeniería de tránsito como son tasa de flujo vehicular, densidad vehicular y espaciamiento promedio con la intención de disminuir considerablemente el tiempo y esfuerzo en la medición de mencionadas variables.

Rout et al. (2023) modificaron el algoritmo de YOLOv7 para mejorar la precisión en la detección, clasificación y conteo de vehículos con miras a administrar el tráfico, detectar infracciones de tránsito y disminuir accidentes.

Hasanvand et al. (2023) utilizaron técnicas de procesamiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático como support vector machines, redes bayesianas, KNN y redes neuronales para clasificar vehículos con el objetivo de detectar infracciones de tránsito. Además, subrayan que el uso de sistemas de toma de decisiones automática podría disminuir enormemente la congestión vehicular.

A diferencia del uso de algoritmos de visión por computador, Ansariyar & Taherpour (2023) implementaron un sensor LIDAR para obtener datos en tiempo real como número de vehículos, peatones y ciclistas, la velocidad de los vehículos y los conflictos entre vehículos. Se pudieron identificar zonas críticas y las causas de conflictos como son la velocidad de los vehículos, el clima y el volumen de tráfico.

Kilic & Ozturk (2023) utilizaron la red VGG-16 como red neuronal convolucional base para detectar y contar automóviles en imágenes aéreas mediante mapas de calor de los automóviles. La implementación de aumento de datos de imágenes y normalización por lotes contribuyeron a mejorar el algoritmo.

Madhavi et al. (2023) proponen un método de detección automática de accidentes de tránsito en videos de vigilancia mediante el uso de redes neuronales convolucionales, obteniendo un 93% de precisión en la detección de accidentes.

Pillai (2023) estudia la gestión y control del tráfico, mediante el procesamiento del flujo vehicular, como el conteo y seguimiento de vehículos, utilizando YOLOv5. Resalta además que los métodos tradicionales fallan en condiciones complejas como cambios de iluminación y oclusiones parciales. Los resultados indican que YOLOv5 mejora la detección y conteo de vehículos en diversas condiciones.

Materiales y Métodos

El presente estudio es de tipo experimental cuantitativo, que consiste de los siguientes pasos: Recopilación de datos mediante la captura de videos del tráfico vehicular, preprocesamiento de los videos, construcción del modelo de visión artificial para conteo de vehículos, estimación de la precisión del modelo, cálculos de los parámetros de flujo vehicular e interpretación de los resultados. A continuación, detallamos cada uno de los pasos.

El proyecto inicia con la recopilación de datos, para lo cual se utilizó un vehículo aéreo no tripulado o dron (marca Dji, modelo Mavic Air) con una cámara de alta resolución, el mismo que fue utilizado para capturar videos en 8 intersecciones viales del casco céntrico de la ciudad de Loja, Ecuador.

En el proyecto de regeneración urbana de la ciudad de Loja se determinaron los límites del casco céntrico de la ciudad, lo que permitió que para el presente trabajo de investigación se tomen como referencia y punto de partida en la determinación de los puntos críticos de congestión vehicular (Figura 1).

Los límites están marcados en función de la intersección de calles y avenidas, tomando como referencia algunos puntos emblemáticos de la ciudad. El límite norte inicia en la intersección de la Av. Universitaria y Av. Emiliano Ortega (Puerta de la ciudad).

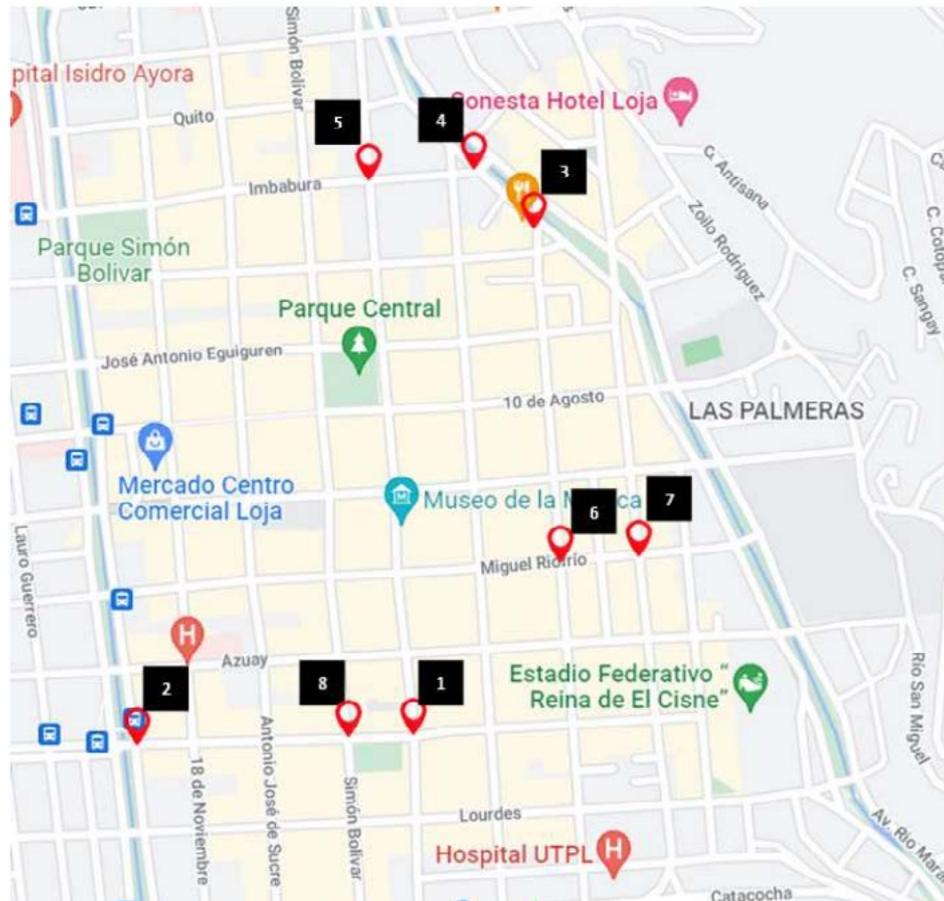
El límite sur desde el cruce de la Av. Emiliano Ortega (Centro de Rehabilitación Social), recorre la calle Catacocha hasta el cruce con la calle Olmedo; ahí tomará el sentido de la calle Olmedo hacia el Sur, hasta empatar con la calle Maximiliano Rodríguez. Recorre el sentido sur de la calle Maximiliano Rodríguez, hasta su unión con la Av. Eduardo Kingman; desde ahí recorre el trayecto de la Av. Eduardo Kingman, hasta la intersección con el redondel de la Av. Gobernación de Mainas. Recorre el trayecto de la avenida Av. Gobernación de Mainas, hasta el cruce con la calle 18 de Noviembre, donde finaliza el límite Sur 48.

El límite oeste inicia en el cruce de la Av. Gobernación de Mainas con la calle 18 de Noviembre. Siguiendo la dirección sur, se introduce en el desvío que conduce a la Unidad de tránsito y transporte terrestre del Municipio de Loja, hasta el cruce con la Av. Universitaria. Sigue el trayecto de la Av. Universitaria hasta llegar a la Puerta de la Ciudad.

El límite este inicia en la Puerta de la Ciudad; recorre la Av. Emiliano Ortega hasta el cruce con la calle Catacocha.

Figura 1

Casco céntrico de la ciudad de Loja y marcación de puntos críticos de congestión vehicular



Por otra parte, los vuelos realizados con el dron se debieron realizar considerando las disposiciones dadas por la Dirección General de Aviación Civil (DAC), que mediante la Resolución No. 251, expedida el 17 de septiembre de 2015, establece que la operación de estos equipos se mantendrá durante toda la duración del vuelo, a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros de las proximidades de cualquier aeródromo o base aérea militar; que la altura máxima de vuelo no excederá los 122 metros sobre el terreno; que las horas de operación de los drones serán las comprendidas entre la salida y la puesta de sol y en condiciones de visibilidad absoluta.

Los vídeos del flujo vehicular fueron realizados en formato Mp4. Así mismo, se trató de utilizar el dron a una altura similar en cada vídeo, siendo esto sujeto a las características de cada intersección vial. Las características de cada vídeo son mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1
Información de vídeos recolectados

CÓDIGO DE VIDEO	TIPO	INTERVALO DE TIEMPO (MIN)	CÓDIGO DE INTERSECCIÓN (UBICACIÓN GPS)	TELEMETRÍA	
				ALTURA (M)	INCLINACIÓN DE CÁMARA (°)
D1	Aéreo	5	I1	10	10
D2	Aéreo	5	I1	10	10
D3	Aéreo	2	I1	10	10
D4	Aéreo	2	I1	10	10
D5	Aéreo	1	I1	10	10
D6	Aéreo	1	I1	10	10
D7	Aéreo	2	I2	15	25
D8	Aéreo	5	I2	20	20
D9	Aéreo	1	I2	20	20
D10	Aéreo	7	I3	30	45
D11	Aéreo	2	I3	30	45
D12	Aéreo	5	I3	30	45
D13	Aéreo	6	I3	30	45
D14	Aéreo	5	I4	45	45
D15	Aéreo	5	I5	40	30
D16	Aéreo	5	I4	45	30
D17	Aéreo	6	I4	20	25
D18	Aéreo	7	I6	15	10
D19	Aéreo	4	I7	15	20
D20	Aéreo	6	I7	20	10
C1	Superficie	9	I8	0	5
C2	Superficie	13	I8	0	5

Después de la captura de los vídeos, se procede al preprocesamiento de los mismos. Es necesario disminuir la resolución de mencionados vídeos con el objetivo de reducir la cantidad de trabajo del modelo de detección y con ello reducir el tiempo de procesamiento; se procede además a convertir los vídeos al formato de arreglos (arrays) de la librería NumPy, el mismo que es utilizado para trabajar con redes neuronales convolucionales.

En el siguiente paso, se procedió a construir un modelo de detección y clasificación de vehículos por medio del lenguaje Python y la librería YOLOv8.

Sohan et al. (2024) describen la arquitectura YOLOv8 (You Only Look Once, versión 8) como una red neuronal convolucional diseñada para la detección de objetos en tiempo real con la capacidad de distinguir 80 clases de objetos, entre los cuales tenemos automóviles, motocicletas, bicicletas, peatones o señales de tránsito.

YOLOv8 está conformado por a) Un “backbone” de redes convolucionales capaz de extraer características relevantes de la imagen de entrada, utiliza normalización por lotes, y funciones de activación no lineales; b) Una sección “neck” de la arquitectura cuya función principal es procesar las características extraídas de las imágenes a diferentes escalas mediante las

técnicas de Feature Pyramid Network y Path Aggregation Network; c) Una sección “head” que se encarga de realizar las predicciones y calcular el nivel de confianza de las mismas, utiliza la técnica “anchor free” o sin anclas que no utiliza anclas predefinidas para las cajas delimitadoras, sino que predice directamente la posición y tamaño de las mismas, lo que consigue mejorar la precisión y velocidad del modelo. Después de que la "head" genera las predicciones, estas pasan por un proceso de postprocesamiento para eliminar las detecciones duplicadas y refinar las cajas delimitadoras finales; para ello se utiliza la técnica de Non-Maximum Suppression (Sohan et al. 2024).

En este estudio, se utilizó YOLOv8 para detectar y contar los vehículos de los vídeos capturados clasificándolos en vehículos livianos, vehículos pesados y motos, se resalta que se escogió mencionada librería por ser de código abierto al igual que el lenguaje de programación Python. Por otra parte, debido a la alta demanda de procesamiento por parte de la librería YOLOv8. Se utilizó un computador con procesador Core i5, memoria RAM de 16 GB, tarjeta de vídeo dedicada de 4 GB y chipset NVIDIA. La Figura 2 muestra la captura de un vídeo de tráfico vehicular en la ciudad de Loja, en el cual se detectan y clasifican vehículos.

Figura 2
Resultado del procesamiento de videos en YOLOv8



Para determinar la validez de mencionado modelo se procedió a calcular la métrica de precisión (Ecuación 1). Para ello es necesario obtener la matriz de confusión en la que se comparan los resultados de la predicción con los resultados reales. La matriz de confusión se llena con los datos de: VP=Verdaderos Positivos, VN=Verdaderos Negativos, FP=Falsos Positivos y FN=Falsos Negativos, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Matriz de confusión multiclase

Matriz de confusión multiclase		Predicción		
		S1	S2	S3
Observación	S1	VP	FN	FN
	S2	FP	VN	VN
	S3	FP	VN	VN

Después de obtener la matriz de confusión multiclase, mediante el uso de la librería NumPy, se procedió a obtener el valor de la precisión micro del modelo de clasificación y conteo mediante la Ecuación 2, la misma que es utilizada en problemas de clasificación multiclase.

Ecuación 1

Precisión

$$\text{Precisión} = \frac{(\text{Verdaderos Positivos (VP)})}{(\text{Verdaderos Positivos (VP)} + \text{Falsos Positivos (FP)})} Z$$

Ecuación 2

Precisión micro

$$\text{Precisión micro} = \frac{\sum VP}{\sum (VP+FP)}$$

A continuación, se procedió con la estimación de los parámetros del flujo vehicular. El cálculo de la densidad vehicular se realiza por cada uno de los videos procesados, aplicando las ecuaciones Cal y Mayor, respectivamente (2018). Esto es para calcular la tasa de flujo vehicular (Ecuación 3), la densidad vehicular (Ecuación 4) y el espaciamiento promedio (Ecuación 5). Cabe señalar que para los cálculos se ha tomado como velocidad media espacial a la velocidad máxima establecida para la circulación vehicular en el centro de la ciudad que es de 50 km/h.

Ecuación 3

Tasa de flujo vehicular

$$q = \frac{N}{T}$$

Donde: q = Tasa de flujo expresada en veh/h

N = Número de vehículos

T = Intervalo en horas

Ecuación 4

Densidad vehicular

$$k = \frac{q}{V_e}$$

Donde:

k = Densidad expresada en veh/km

q = Tasa de flujo

Ve = Velocidad promedio de viaje (50km/h)

Ecuación 5

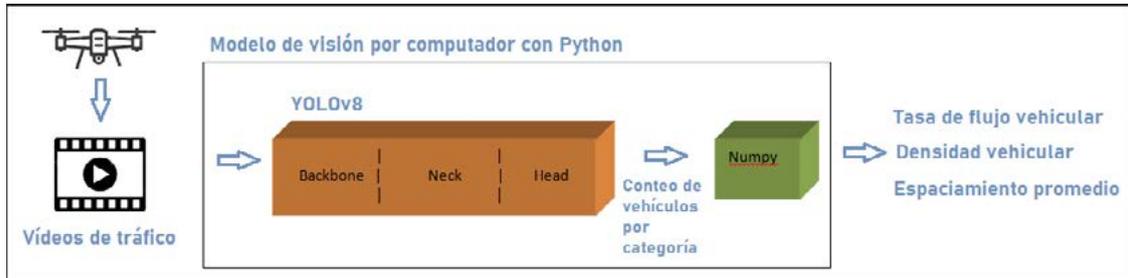
Espaciamiento promedio

$$S = \frac{1}{k}$$

Donde:
 S = Espaciamiento promedio (m/veh)
 k = Densidad

La figura 3 muestra el esquema del procesamiento utilizado en el presente proyecto.

Figura 3
 Esquema de procesamiento del modelo de visión por computador para determinar parámetros de flujo vehicular



Resultados y Discusión

Mediante el modelo de detección, clasificación y conteo de vehículos se procesaron los 22 videos de los cuales se extrajo la información del conteo de 3 clases detectadas y que se refiere a vehículos livianos, vehículos pesados y motos, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
 Información de videos recolectados

CÓDIGO DE VIDEO	INTERVALO DE TIEMPO (MIN)	CLASES			TOTAL DE VEHÍCULOS POR VIDEO
		VEHÍCULOS LIVIANOS	VEHÍCULOS PESADOS	MOTOS	
D1	5	9	1	1	11
D2	5	11	0	0	11
D3	2	10	0	1	11
D4	2	8	0	0	8
D5	1	6	0	2	8
D6	1	6	0	2	8
D7	2	26	2	3	31
D8	5	36	0	4	40
D9	1	20	0	3	23
D10	7	33	1	6	40
D11	2	11	0	0	11
D12	5	30	1	5	36
D13	6	55	1	4	60
D14	5	27	0	8	35
D15	5	46	2	11	59
D16	5	30	2	5	37
D17	6	20	0	1	21
D18	7	45	0	6	51
D19	4	20	0	2	22
D20	6	25	1	4	30
C1	9	31	0	7	38
C2	13	60	0	10	70
Total		565	11	85	661

De los datos obtenidos, el 85% de los objetos detectados corresponde a vehículos livianos, el 2% a vehículos pesados y el 13% a motocicletas. Aplicando las ecuaciones 3, 4, y 5, utilizadas para el cálculo de los parámetros del flujo vehicular, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4
Tasa de flujo, densidad y espaciamiento promedio

CÓDIGO DE VIDEO	DURACIÓN (MIN)	TOTAL DE VEHÍCULOS	TASA DE FLUJO VEHICULAR (VEH/H)	DENSIDAD VEHICULAR (VEH/KM)	ESPACIAMIENTO PROMEDIO (M/VEH)
D1	5	11	132	3	378,79
D2	5	11	132	3	378,79
D3	2	11	330	7	151,52
D4	2	8	240	5	208,33
D5	1	8	480	10	104,17
D6	1	8	480	10	104,17
D7	2	31	930	19	53,76
D8	5	40	480	10	104,17
D9	1	23	1380	28	36,23
D10	7	40	342,9	7	145,83
D11	2	11	330	7	151,52
D12	5	36	432	9	115,74
D13	6	60	600	12	83,33
D14	5	35	420	8	119,05
D15	5	59	708	14	70,62
D16	5	37	444	9	112,61
D17	6	21	210	4	238,10
D18	7	51	437,1	9	114,38
D19	4	22	330	7	151,52
D20	6	30	330	6	166,67
C1	9	38	253,3	5	197,37
C2	13	70	323,1	6	154,76

Una vez finalizado el cálculo de flujo vehicular, densidad y espaciamiento, se observa que en las intersecciones analizadas existe densidad vehicular muy baja, que no supera los 30 vehículos por kilómetro, por lo que el espaciamiento resulta ser bastante amplio.

Finalmente, se llegó a determinar la densidad vehicular en función de las intersecciones de las avenidas y calles que forman parte del presente estudio, y que está formado por 8 puntos críticos de análisis.

De la Tabla 5 se identifica que las intersecciones con mayor densidad vehicular son la Avenida Universitaria y la calle Mercadillo y las calles José Joaquín de Olmedo e Imbabura.

Tabla 5
Densidad vehicular por intersecciones

CÓDIGO DE INTERSECCIÓN	INTERSECCIONES DE CALLES	DENSIDAD VEHICULAR
I1	Bernardo Valdivieso y Alonso de Mercadillo	6
I2	Av. Universitaria y Alonso de Mercadillo	19
I3	Av. Emiliano Ortega y calle Juan José Peña	9

CÓDIGO DE INTERSECCIÓN	INTERSECCIONES DE CALLES	DENSIDAD VEHICULAR
I4	Av. Emiliano Ortega e Imbabura	7
I5	José Joaquín de Olmedo e Imbabura	14
I6	Juan José Peña y Miguel Riofrío	9
I7	24 de Mayo y Miguel Riofrío	6
I8	Simón Bolívar y Alonso de Mercadillo	6

Los resultados obtenidos son satisfactorios puesto que la librería YOLOv8 alcanzó precisión micro del 90%. Sin embargo, existen desafíos en la implementación de este tipo de soluciones como son las condiciones de iluminación, clima y oclusión de vehículos, lo que afecta la precisión de los sistemas de conteo. La implementación de estos sistemas en entornos urbanos densos y con gran volumen de tráfico presentan condiciones desafiantes. Los modelos de aprendizaje profundo requieren recursos computacionales significativos para su entrenamiento y operación en tiempo real. Por otro lado, se puede destacar que la información obtenida por parte de un sistema automático de conteo de vehículos y estimación de los parámetros de flujo vehicular, es mucho más ágil que un método manual. Se destaca su alta confiabilidad, lo que representa un conocimiento relevante y oportuno para la gestión eficaz del tráfico en las ciudades. Destacamos también que la aplicación de la ingeniería de tránsito no es aplicada actualmente por parte de los organismos de planificación debido, entre otras cosas, a la dificultad de obtener los datos del conteo de vehículos y/o peatones, por lo que la aplicación y difusión de modelos de visión por computador representa una oportunidad para mejorar la gestión del tráfico.

En cuanto a las limitaciones del proyecto, mencionamos que el presente estudio fue realizado en la ciudad de Loja, que es considerada una ciudad intermedia, y que para su implementación en ciudades de mayor tamaño se deberían considerar más parámetros como la sectorización, transporte multimodal, horas pico, feriados o regulaciones por parte de los organismos de gestión de tránsito.

Como trabajos futuros, se tiene la aplicación de modelos de visión por computador para detectar otro tipo de objetos como peatones, bicicletas, señales de tránsito y, así mismo, la implementación del modelo en una aplicación web para procesar vídeos de tráfico en tiempo real.

Conclusiones

La visión por computador aplicada a la clasificación y conteo de vehículos tiene un enorme potencial para transformar la gestión del tráfico y la planificación urbana. Con avances continuos en la tecnología es posible desarrollar sistemas más precisos, robustos y eficientes. En el presente proyecto se determinó la densidad vehicular en 8 intersecciones del casco céntrico de la ciudad de Loja por medio de un modelo de detección, clasificación y conteo de vehículos con visión por computador. Nuestro modelo obtuvo 90% de precisión micro para la detección y clasificación de 3 tipos de vehículos, y con la utilización de ingeniería de tráfico se pudieron determinar de forma cuantitativa sectores críticos de congestión vehicular.

La utilización de visión por computador para el conteo de vehículos resulta ser un procedimiento mucho más barato y altamente confiable que usar métodos tradicionales o hacerlo manualmente. Este proceso reduce el número de personas para llevar a cabo el trabajo, lo que disminuye los costos de operación, y se reduce también el tiempo de obtención de resultados de manera significativa. Por su parte, la librería YOLOv8 de uso libre resulta ser una alternativa viable por su versatilidad y robustez en la detección de objetos de hasta 80 categorías.

Las aplicaciones del presente estudio son diversas, como la optimización de los ciclos de semáforos, toma de decisiones informadas sobre el redireccionamiento del tráfico, expansión de vías. Así mismo, con los datos sobre la demanda y el flujo vehicular, se puede ajustar la frecuencia y las rutas de los autobuses y otros medios de transporte público para satisfacer mejor las necesidades de los usuarios.

Finalmente, podemos concluir que el conteo de vehículos automatizado constituye una herramienta esencial para las ciudades modernas que buscan mejorar su infraestructura y calidad de vida.

Referencias

- Ansariyar, A., & Taherpour, A. (2023). Statistical analysis of vehicle-vehicle conflicts with a LIDAR sensor in a signalized intersection. *Advances in transportation studies*, 60.
- Alexandrova, S., Tatlock, Z., & Cakmak, M. (2015, May). RoboFlow: A flow-based visual programming language for mobile manipulation tasks. In *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 5537-5544). IEEE.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *"Ingeniería de Tránsito"*. Editorial Alfaomega. 9na. edición.
- Chek, X. & Uttraphan, C. (2023). 3D Geometric Shape Recognition System using YOLO v8 Implemented on Raspberry Pi. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 4(2), 158-164.
- Deepa, D., Sivasangari, A., Roonwal, R., & Nayan, R. (2023). Pothole Detection using Roboflow Convolutional Neural Networks. In *2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 560-564). IEEE.
- Dehghani, M., Gritsenko, A., Arnab, A., Minderer, M., & Tay, Y. (2022). Scenic: AJAX library for computer vision research and beyond. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 21393-21398).
- Gao, G., Gao, J., Liu, Q., Wang, Q., & Wang, Y. (2020). Cnn-based density estimation and crowd counting: A survey. *arXiv preprint arXiv:2003.12783*.
- Grumiaux, P. A., Kitić, S., Girin, L., & Guérin, A. (2022). A survey of sound source localization with deep learning methods. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 152(1), 107-151.
- Guo, M. H., Xu, T. X., Liu, J. J., Liu, Z. N., Jiang, P. T., Mu, T. J., ... & Hu, S. M. (2022). Attention mechanisms in computer vision: A survey. *Computational visual media*, 8(3), 331-368.
- Hasanvand, M., Nooshyar, M., Moharamkhani, E., & Selyari, A. (2023). Machine learning methodology for identifying vehicles using image processing. In *Artificial Intelligence and Applications* (Vol. 1, No. 3, pp. 170-178).
- Hassaballah, M., & Awad, A. I. (Eds.). (2020). *Deep learning in computer vision: principles and applications*. CRC Press.
- Jocher, G., Stoken, A., Chaurasia, A., Borovec, J., Kwon, Y., Michael, K., ... & Thanh Minh, M. (2021). *ultralytics/yolov5: v6. 0-YOLOv5n'Nano'models, Roboflow integration, TensorFlow export, OpenCV DNN support. Zenodo*.
- Kilic, E., & Ozturk, S. (2023). An accurate car counting in aerial images based on convolutional neural networks. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-10.
- Liu, Y., Sun, P., Wergeles, N., & Shang, Y. (2021). A survey and performance evaluation of deep learning methods for small object detection. *Expert Systems with Applications*, 172, 114602.

- Madhavi, G., Bhavani, A., Reddy, Y., Kiran, A., Chitra, N., & Reddy, P. (2023). Traffic Congestion Detection from Surveillance Videos using Deep Learning. In *2023 International Conference on Computer, Electronics & Electrical Engineering & their Applications (IC2E3)* (pp. 1-5). IEEE.
- Pillai, A. (2023). Traffic Surveillance Systems through Advanced Detection, Tracking, and Classification Technique. *International Journal of Sustainable Infrastructure for Cities and Societies*, 8(9), 11-23.
- Pineda-Perdomo, G. A., & Villatoro-Flores, H. F. (2023, December). Implementation of a Computer Vision System for Fault and Component Analysis of Computer PCBs. In *2023 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT)* (pp. 1-6). IEEE.
- Rouf, M., Wu, Q., Yu, X., Iwahori, Y., Wu, H., & Wang, A. (2023). Real-time vehicle detection, tracking and counting system based on YOLOv7. *Embedded Selforganising Systems*, 10(7), 4-8.
- Sohan, M., Sai Ram, T., Reddy, R., & Venkata, C. (2024). A review on yolov8 and its advancements. In *International Conference on Data Intelligence and Cognitive Informatics* (pp. 529-545). Springer, Singapore.
- Talebi, H., & Milanfar, P. (2021). Learning to resize images for computer vision tasks. In *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision* (pp. 497-506).
- Wang, P., Li, P., & Chowdhury, F. R. (2022). Development of an adaptive traffic signal control framework for urban signalized interchanges based on infrastructure detectors and CAV technologies. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 148(4), 04022004.
- Won, M. (2020). Intelligent traffic monitoring systems for vehicle classification: A survey. *IEEE Access*, 8, 73340-73358.
- Yuan, X., Shi, J., & Gu, L. (2021). A review of deep learning methods for semantic segmentation of remote sensing imagery. *Expert Systems with Applications*, 169, 114417.
- Zhang, J., Xiao, W., Coifman, B., & Mills, J. P. (2020). Vehicle tracking and speed estimation from roadside lidar. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5597-5608.

Semaforización Inteligente: Un Análisis a los Desafíos en la Implementación de Tecnologías y Algoritmos IoT

Intelligent Traffic Signaling: An Analysis to the Challenges in the Implementation of IoT Technologies and Algorithms

Ingrid García-de-la-Cruz¹ <https://orcid.org/0009-0006-9128-1806>, Leonardo Chancay-García¹ <https://orcid.org/0000-0002-4090-048X>

¹Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
igarcia5968@utm.edu.ec, leonardo.chancay@utm.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/28

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

La semaforización inteligente es un sistema de control de tráfico diseñado para mejorar la seguridad vial y promover la movilidad sostenible. En este sentido, se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica que examina las tecnologías, algoritmos y desafíos asociados a este sistema. Para ello, se seleccionaron 22 estudios publicados entre 2019 y 2023, siguiendo la metodología PRISMA a lo largo de tres fases: Planificación, Ejecución y Documentación. Los resultados destacan la implementación de tecnologías como WI-FI y CCTV, utilizadas predominantemente para la conectividad y la vigilancia, respectivamente. En cuanto a los algoritmos, YOLO emerge como el más aplicado, abordando desafíos clave como la necesidad de una conectividad estable y la protección de la confidencialidad de los datos. Sin embargo, también se identifican limitaciones significativas, como los costos asociados y la aceptación social. De esta manera, se infiere que las innovaciones técnicas pueden contrarrestar tanto los desafíos como las limitaciones inherentes, contribuyendo así a una gestión del tráfico más eficiente y a la protección de vidas.

Palabras clave: Seguridad vial, IoT, Redes neuronales, Visión por computador.

Abstract

Intelligent traffic signalization is a traffic control system designed to improve road safety and promote sustainable mobility. In this regard, an exhaustive literature review has examined

Sumario: Introducción, Estado del Arte, Métodos y Herramientas, Resultados y Discusión, Conclusiones.

Como citar: García-de-la-Cruz, I. & Chancay-García, L. (2024). Semaforización Inteligente: Un Análisis a los Desafíos en la Implementación de Tecnologías y Algoritmos IoT. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 80-96. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1189>

the technologies, algorithms, and challenges associated with this system. For this purpose, 22 studies published between 2019 and 2023 were selected, following the PRISMA methodology along three phases: Planning, Implementation, and Documentation. The results highlight the implementation of technologies such as WI-FI and CCTV, which are predominantly used for connectivity and surveillance. In terms of algorithms, YOLO emerges as the most applied, addressing key challenges such as the need for stable connectivity and protection of data confidentiality. However, significant limitations are also identified, such as associated costs and social acceptance. Thus, it is inferred that technical innovations can counteract both the challenges and inherent limitations, therefore contributing to more efficient traffic management and life protection.

Keywords: Road safety, IoT, Neural networks, Computer vision.

Introducción

El avance constante de las tecnologías ha transformado la manera en que las ciudades abordan los desafíos relacionados con la movilidad urbana y la seguridad vial. La semaforización inteligente se refiere al uso de tecnologías avanzadas, como el Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN) y Artificial Intelligence (AI). Estas optimizan y gestionan de manera eficiente el funcionamiento de los semáforos en un sistema de tráfico urbano, a diferencia de los semáforos tradicionales que operan en ciclos predefinidos sin tener en cuenta el flujo real de tráfico. Por lo tanto, la semaforización inteligente puede ser una solución para garantizar la seguridad de peatones y automovilistas (Palma & García, 2023).

El problema de la movilidad en América Latina es un tema bastante complejo; la mayoría de ciudades continúa creciendo sin una planificación urbana previa. Además, la población utiliza medios de transporte para el desarrollo de gran parte de las actividades cotidianas, lo que genera congestión vehicular y el punto crítico se establece en los semáforos. En consecuencia, se provoca estrés y situaciones peligrosas como accidentes peatonales o vehiculares, generando una preocupación importante (Aarón et al., 2019). La seguridad vial es un tema de gran importancia, ya que los accidentes de tránsito pueden ocasionar lesiones graves e incluso la pérdida de vidas humanas. Por lo tanto, es crucial investigar soluciones que mejoren la seguridad en los cruces peatonales (Michelle & Alberto, s. f.).

La semaforización inteligente emerge como un paradigma transformador en la gestión del tráfico, pues acopla las ventajas del análisis y procesamiento de información para permitir mayor fluidez en el tráfico peatonal y vehicular. Por tal motivo, el propósito de este artículo es desarrollar un análisis bibliográfico acerca de las tecnologías clave, algoritmos innovadores y los desafíos asociados. Con ello, se busca ofrecer una visión integral sobre la implementación efectiva de estos sistemas, respaldados por la Internet de las Cosas (IoT).

El presente artículo está organizado en cinco secciones siguientes. En primer lugar, se presenta el estado del arte con trabajos acordes al tema de investigación, luego se expone a profundidad la metodología y las fases llevadas a cabo en el trabajo. Posteriormente se ilustran los resultados iniciales que dan pie al análisis y discusión de los mismos. Seguidamente se plantea una propuesta con base en los hallazgos de la revisión y finalmente se expresan las conclusiones de la investigación.

Estado del Arte

La semaforización inteligente ha adquirido una importancia creciente en los últimos años como una solución prometedora para la gestión eficiente del tráfico. Diversos estudios han investigado los enfoques y tecnologías que sustentan estos sistemas, evidenciando la integración de sensores, cámaras y uso de algoritmos. Los sistemas dinámicos de estos semáforos se han presentado como una respuesta eficaz a problemas persistentes como la congestión vehicular, la contaminación ambiental, el gasto excesivo de combustible y los largos tiempos de espera en intersecciones (Michelle & Alberto, s. f.).

De la misma manera, la Internet de las Cosas (IoT) ha impulsado el desarrollo de la semaforización inteligente, facilitando el análisis de datos en tiempo real para optimizar la toma de decisiones que mejoren la calidad de vida de las personas (Rodríguez Romo & Bravo León, 2021). La aplicación de IoT en este contexto permite la integración de dispositivos y sensores conectados, capaces de recopilar y procesar datos sobre condiciones climáticas, presencia de peatones y flujos vehiculares en tiempo real, mejorando así la gestión del tráfico.

En diversas ciudades como Melina y La Meca se han implementado controladores inteligentes de semáforos mediante la integración de lógica difusa y procesamiento de imágenes con Matlab. Este sistema innovador controla el tráfico tanto a través de cámaras como de sensores automáticos, adaptando los tiempos de las señales según la congestión vehicular, lo que garantiza que los vehículos no tengan que esperar innecesariamente (Chabchoub et al., 2021).

Así mismo, en India se ha desarrollado un sistema de control de tráfico que utiliza técnicas de detección de objetos, como YOLO (“You Only Look Once”) y el algoritmo SORT (Simple Online and Real-time Tracking), para ajustar los patrones de tráfico en tiempo real. Aunque este sistema ha mostrado resultados satisfactorios en condiciones de tráfico difíciles, presenta limitaciones en la detección de vehículos en situaciones de baja visibilidad, como durante la noche o en presencia de sombras intensas (Sharma et al., 2021).

De manera similar, en Wasit, en Irak, se ha implementado un sistema de control de tráfico basado en Arduino, que incluye sensores ultrasónicos y cámaras para gestionar el tráfico en intersecciones complejas. Este sistema no solo optimiza el tiempo de espera, sino que también es capaz de registrar y reportar infracciones de tránsito, mejorando así el cumplimiento de las normas viales (Ramadhan et al., 2021).

Además, en una literatura reciente sobre semaforización inteligente, se han identificado avances significativos en el uso de tecnologías IoT para mejorar la eficiencia del tráfico vehicular. Según un estudio, se han propuesto enfoques que integran sensores y algoritmos avanzados para optimizar el flujo de vehículos en tiempo real, reduciendo significativamente los tiempos de espera y el consumo de combustible. Sin embargo, estos enfoques enfrentan desafíos importantes, como la interoperabilidad de los sistemas y la seguridad de la información transmitida (Leon & Ygnacio, 2024).

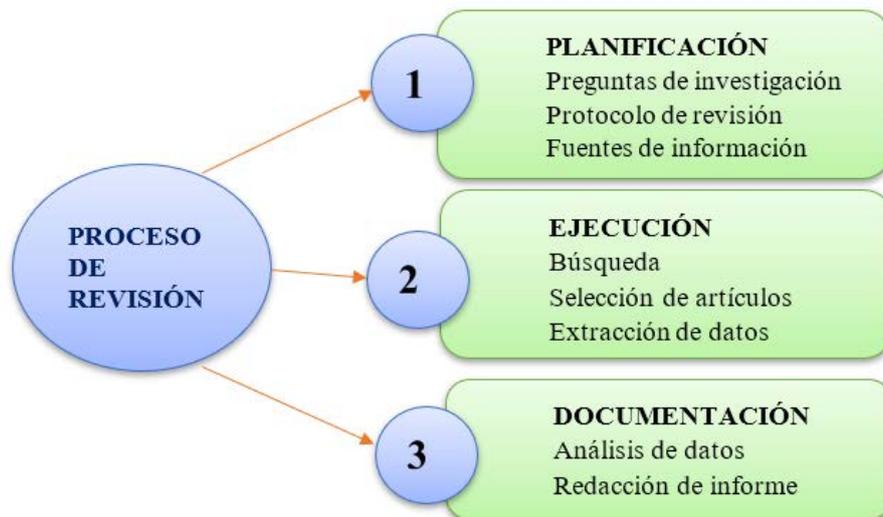
Si bien existen múltiples estudios que han explorado la semaforización inteligente y su implementación mediante tecnologías IoT, las revisiones existentes presentan resultados limitados, por lo tanto, la presente revisión pretende ofrecer una perspectiva más integrada sobre los desafíos en la adaptación de estas tecnologías. Mientras que trabajos anteriores se han centrado en soluciones específicas o en estudios de caso en ciudades particulares, este artículo busca proporcionar una visión más amplia y comparativa. Además, se pone un énfasis especial en factores técnicos de implementación y los desafíos y limitaciones persistentes, aspectos que han sido menos explorados en revisiones anteriores.

Métodos y Herramientas

Para la realización de este artículo, se utilizó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), reconocida por su rigurosidad en la realización de revisiones sistemáticas y meta análisis. Para optimizar la eficiencia y la colaboración en este proceso, se empleó la herramienta en línea Parsifal (<https://parsif.al>). La revisión se llevó a cabo en tres fases: planificación, ejecución y documentación, como se detalla en la Figura 1. Posteriormente, se proporciona una explicación detallada de cada fase.

Figura 1

Esquema del Proceso de Revisión



Planificación de la revisión

En esta sección, se describe el protocolo seguido a lo largo de la revisión. Para estructurar de manera efectiva la búsqueda bibliográfica, se empleó el modelo PICOC, que se utiliza comúnmente en revisiones sistemáticas para definir los componentes clave de la investigación. PICOC es un acrónimo que representa: P(Population), I(Intervention), C(Comparison), O(Outcome), C(Context). Estos permiten delimitar y enfocar la revisión de manera precisa. Primero, se determinaron las palabras claves correspondientes a cada uno de los componentes del modelo PICOC, las cuales se detallan en la Tabla 1. Fueron elegidas cuidadosamente para asegurar una búsqueda bibliográfica precisa y relevante. En este caso fueron las siguientes: (tránsito vehicular, seguridad vial, pasos peatonales, semáforo, semaforización inteligente, visión computacional). Estas palabras claves permiten una revisión enfocada en los aspectos críticos del tema. Además, se formularon cuatro preguntas de investigación (PI), que se detallan a continuación:

PI1. ¿Cuáles son los trabajos relacionados para la semaforización inteligente?

PI2. ¿Cuáles son las tecnologías de comunicación necesarias para recrear un semáforo inteligente?

PI3. ¿Cuáles son los algoritmos de programación para el desarrollo de un semáforo inteligente?

PI4. ¿Cuáles son los desafíos y limitaciones para la semaforización inteligente?

Con base en las palabras clave enumeradas en la Tabla 1, se diseñó una cadena de búsqueda específica para identificar y recopilar la literatura relevante. A continuación, se presenta un ejemplo de la cadena de búsqueda: ("Smart traffic lights" OR "Vehicle traffic" OR "pedestrian crossings" OR "road safety" OR "computer vision") AND ("Traffic light"). La elección de estas palabras clave se basó en criterios específicos que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1
Palabras PICOC

TÉRMINOS PICOC	PALABRAS CLAVE
Población.	Tránsito vehicular, seguridad vial, pasos peatonales.
Intervención.	Semáforo.
Comparación.	Semaforización inteligente, visión computacional.

Se implementaron criterios de inclusión y exclusión, como se muestra en la Tabla 2. Los criterios de inclusión se centraron en la consideración de artículos de revistas y trabajos presentados en congresos que estuvieran publicados en el período comprendido entre 2019 y 2023, y se exigía que los títulos de las investigaciones estuvieran relacionados con el tema de interés. Por otro lado, los criterios de exclusión se basaron en descartar artículos en acceso anticipado, capítulos de libros, y cualquier contenido que no estuviera accesible para su revisión. Además, se descartaron duplicados, editoriales, y aquellos artículos redactados en idiomas distintos al inglés o español. Estos criterios se aplicaron rigurosamente con el fin de garantizar la consistencia y relevancia de los estudios incorporados en la revisión.

Para determinar la idoneidad de los artículos seleccionados, se definieron tres Preguntas de Evaluación de Calidad (PEC), cuya ponderación se muestra en la Tabla 3 y se utiliza como criterio para la inclusión. Un artículo se considera apto si obtiene al menos 1 punto en esta evaluación. A continuación, se presentan las preguntas de evaluación de calidad para el proceso de selección.

PEC1: ¿El documento plantea la información precisa sobre semaforización inteligente?

PEC2: ¿Se ha implementado un algoritmo de programación para semaforización inteligente?

PEC3: ¿Se han planteado desafíos y limitaciones sobre la implementación de semaforización inteligente?

Tabla 2
Criterios de Selección

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Artículos de revistas.	Acceso anticipado.
Congresos.	Capítulos de libros.
Publicaciones desde 2019 al 2023.	Contenido no accesible.
Título de la investigación.	Duplicados.
	Editoriales.
	Otro idioma que no sea inglés, español.
	Otros temas.
	Reseñas.
	Resúmenes.

Tabla 3
Puntuación Conforme a la Pregunta

DEFINICIÓN	PUNTUACIÓN
Sí	1.0
Parcial	0.5
No	0.0

Se ha creado un formulario de extracción de datos, con el objetivo de tabular los campos más relevantes dentro de los estudios seleccionados en la investigación. En la Tabla 4, se denotan cuáles son estos campos y su relación directa con las preguntas de investigación planteadas con anterioridad. Se destaca que, para responder a la PI4, se ha considerado necesario realizar una distinción clara entre los desafíos y las limitaciones que surgen durante la implementación de tecnologías y algoritmos IoT. Por tal motivo, en el formulario presentado se dividen en campos diferentes; teniendo en cuenta que los desafíos se refieren a aquellos aspectos que, si bien presentan dificultades, pueden ser superados o mitigados mediante la innovación, el desarrollo tecnológico o la adopción de nuevas estrategias. Mientras que las limitaciones se entienden como aquellas restricciones inherentes que pueden no ser fácilmente superables debido a factores externos, como normativas regulatorias, costos elevados o barreras técnicas actuales.

Tabla 4
Extracción de Datos

DESCRIPCIÓN	TIPO	PI
Id	Número	-
Referencia	Texto	PI1
Nombre	Texto	-
País	Texto	-
Año	Número	-
Tecnologías	Texto	PI2
Algoritmos	Texto	PI3
Desafíos	Texto	PI4
Limitaciones	Texto	PI4

Ejecución de la revisión

Para la revisión, se eligieron tres bases de datos científicas: Scopus, IEEE Xplore y ACM Digital Library, consideradas fuentes confiables y completas para la búsqueda de literatura relevante. Además de la cadena de búsqueda base previamente definida, se realizaron ajustes específicos en cada una de estas bases de datos, como limitaciones en el rango de años o tipos de publicaciones. Tras completar la búsqueda en cada base de datos, se llevó a cabo una primera selección de artículos conforme a los criterios de selección establecidos en la Tabla 2. Posteriormente, se aplicaron las PEC a los artículos preseleccionados, donde se extrajeron datos de aquellos que obtuvieron al menos 1 punto en la evaluación de calidad, conformando así la segunda selección de artículos para su análisis detallado.

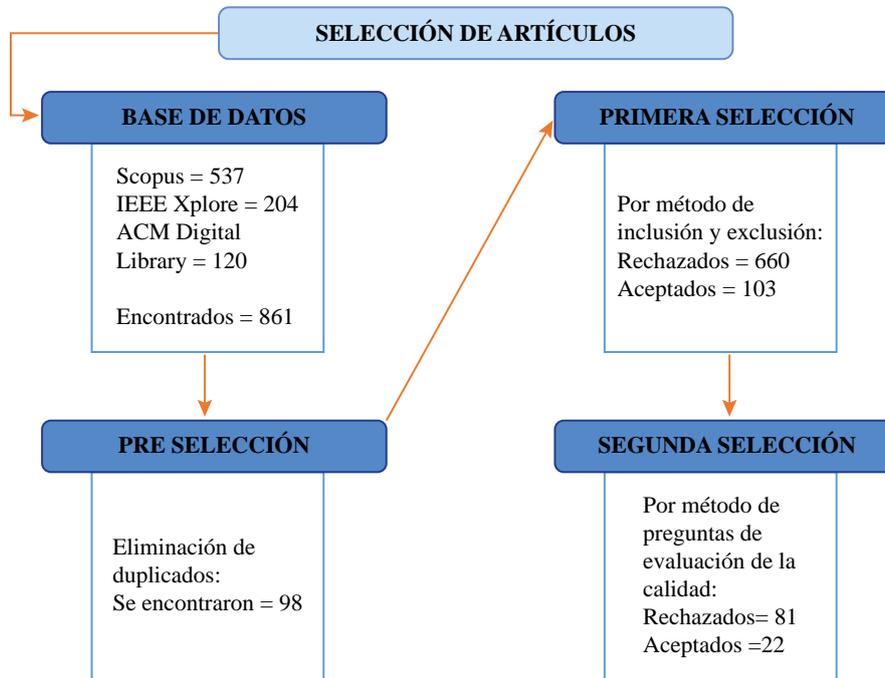
Resultados y Discusión

Selección de artículos

La Figura 2 presenta los resultados de la búsqueda en las bases de datos, mostrando un total de 861 artículos identificados. Donde la primera selección corresponde a los criterios de inclusión y exclusión. La segunda selección a las preguntas de evaluación de la calidad.

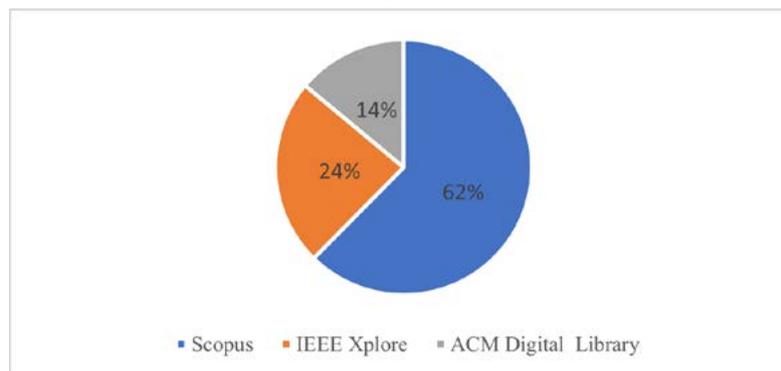
Por ende, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron 103 artículos que cumplían dichos criterios. Luego, al aplicar PEC, quedaron 22 artículos aceptados que cumplían con la puntuación de las PEC.

Figura 2
Selección de Artículos



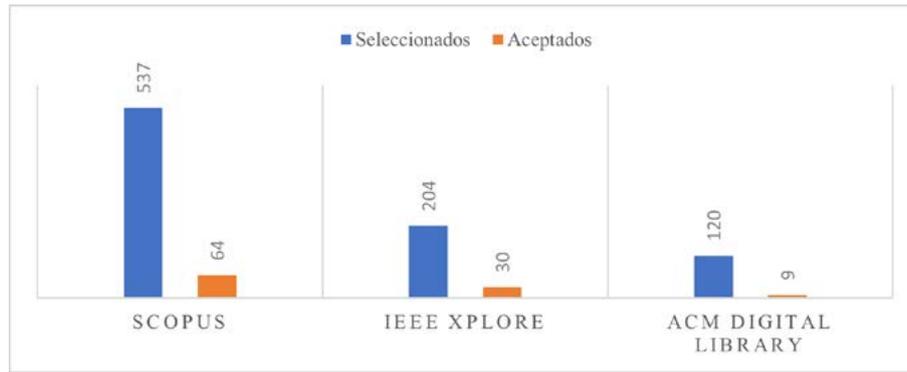
La Figura 3 muestra los artículos por fuentes bibliográficas, dando como resultado en Scopus un 62%, en IEEE Xplore, un 24%, y en ACM Digital Library, con un 14%.

Figura 3
Artículos por Fuentes



La Figura 4 presenta los resultados de la selección de artículos en Scopus, IEEE Xplore y ACM Digital Library. En Scopus se revisaron 537 artículos, de los cuales 64 fueron aceptados. De manera similar, en IEEE Xplore se evaluaron 204 artículos de los cuales 30 fueron aceptados y, por último, en ACM Digital Library se verificaron 120 artículos de los cuales se aceptaron 9 para la primera revisión.

Figura 4
Artículos Aceptados por Base de datos



Extracción de información

Tabla 5
Extracción de Datos

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
1	(Sharma et al., 2021)	Sistema inteligente de control de semáforos basado en el entorno del tráfico mediante aprendizaje profundo.	India	2021		-YOLO (you only look once). - SORT (simple online and real-time tracking algorithm).	- Dificultades logísticas. - Confidencialidad de datos.	- Restricciones espaciales. - Capacidad limitada de detección de automóviles.
2	(Abohashima et al., 2020)	Una propuesta de sistema de control de semáforos inteligentes basado en IoT dentro de un marco V2X.	Egipto	2020	- Vehículo a vehículo (V2V). - Vehículo a infraestructura (V2I).	- ANFIS (Sistemas de Inferencia difusos basados en redes adaptivas).	-Conexión estable. - Datos precisos y en tiempo real. - Confidencialidad de datos.	- Aceptación de autoridades y sociedad. - Costos.
3	(Guo et al., 2020)	Diseño de un sistema inteligente de guiado de peatones y vehículos para pasos de cebra basado en radar de ondas milimétricas.	China	2020	- Radar de onda milimétrica. - Módulo de comunicación inalámbrica (LORA). - Tecnología MIMO. - NB-IoT.	- Sistema OneNET.	- Precisión del Radar.	- Costos.
4	(Chabchoub et al., 2021)	Controlador de semáforo inteligente mediante lógica difusa y procesamiento de imágenes.	Arabia	2021			- Precisión del Procesamiento de Imágenes.	- Limitación de respuesta en tiempo real.
5	(Aulia Yusuf et al., 2021)	Desarrollo reciente de semáforos inteligentes	Indonesia	2021	- Tecnología RFID Cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV).	- Algoritmo FP. - Algoritmo EDF. - YOLO.	- Calidad de imágenes. - Reglas específicas para los algoritmos.	- Limitación de respuesta en tiempo real. - Costos.

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
6	(Ramadhan et al., 2021)	Diseñar e implementar un semáforo inteligente controlado por internet de las cosas.	Irak	2021	- Red Wifi	- MicroPython.	- Conectividad estable. - Personal capacitado (mantenimiento del sistema).	- Infraestructura adecuada. - Costos. - compatibilidad con sistema actual.
7	(Evan et al., 2020)	Reconocimiento de semáforo peatonal mediante Tensorflow y SSD MobileNet V2.	Indonesia	2020		- SSD MobileNet V2.	- Datos precisos y en tiempo real.	- Aceptación de autoridades y sociedad.
8	(Saad et al., 2020)	Diseño e Implementación de un Sistema Portátil de Control Inalámbrico Inteligente para Cruces Peatonales.	Irak	2020	- Módulo bluetooth.	- Arduino IDE.	- Datos precisos y en tiempo real.	- Margen de error con sensor PIR. - Costos. - Infraestructura adecuada.
9	(Dangi et al., 2020)	Sistema Inteligente de Control de Semáforos Basado en la Densidad del Tráfico.	Inglaterra	2020		- Método Auto Canny.	- Confidencialidad de datos.	
10	(Aleko & Djahel, 2020)	Un eficiente sistema de control adaptativo de semáforos para reducción la congestión del tráfico en las vías urbanas en Ciudades inteligentes.	Inglaterra	2020		- SUMO (Simulación de movilidad urbana).	- Implementación Real.	- Interrupciones Durante la Instalación. - Cierre de Vías para Mantenimiento. - Aceptación autoridades y sociedad.
11	(Villagra et al., 2020)	Una comprensión mejor sobre la programación de semáforos: Nuevos algoritmos genéticos celulares y un nuevo análisis detallado de soluciones.	España	2020		- cGA (Algoritmos genéticos celulares). - cGA-sync. - cGA-async.	-Confidencialidad de datos. - Reducir esfuerzo computacional. - Conectividad estable. - Implementación Real.	- Aceptación autoridades y sociedad.
12	(Singh et al., 2019)	Gestión autónoma del tráfico utilizando Big Data en un red de dispositivos habilitados para IoT.	India	2019	-GPS. - Red WI-FI.		- Confidencialidad de datos. - Servidor seguro.	- Costos. - Aceptación de autoridades y sociedad.
13	(Nguyen-Ly et al., 2019)	Implementación de hardware de bajo costo y alta eficiencia del sistema de semáforo inteligente	Vietnam	2019	-Red WI-FI		- Datos precisos y en tiempo real.	- Costos Problemas de escalabilidad

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
14	(Hiari & Nofal, 2020)	Un semáforo dinámico descentralizado sistema de gestión: un enfoque inspirado en TCP.	Jordania	2020	- Protocolo de control de transmisión (TCP). - Módulos Bluetooth conectados.	- Algoritmo de semáforo adaptativo. - Algoritmo de triangulación.	- Conectividad estable.	- Problemas de Escalabilidad.
15	(Rezgui et al., 2019)	Algoritmos de programación de semáforos inteligentes	Canadá	2019		- Algoritmo STLS. - Algoritmo STLSDT. - Algoritmo STLSDE.	- Precisión de los datos y en tiempo real.	- Características de simulador. - Costos. - Problemas de Escalabilidad.
16	(Mahima et al., 2020)	Sistema de control dinámico de semáforos mediante Google Maps e IoT.	Sri Lanka	2020		- Algoritmo personalizado (matemático). Se utilizó Python.	- Precisión de los datos y en tiempo real. - Conectividad estable.	- Funcionalidad para 4 vías. - Aceptación de autoridades y sociedad.
17	(Ibrieva et al., 2020)	El uso de la red neuronal YOLO en la tarea de separar vehículos y peatones en una señal intersección controlada.	Rusia	2020		- YOLO basadas en el marco Darknet. - Rastreador SORT.	- Recopilación Continua de Datos - Conectividad estable.	- Costos.
18	(Faqr et al., 2020)	Enfoque de Q-learning profundo para problemas de congestión en ciudades inteligentes	Marruecos	2020		- Deep Q-Network (DQN).	- Conectividad estable.	- Compatibilidad con el sistema actual. - Costos.
19	(Zinchenko et al., 2020)	Visión por Computador en el Control y Optimización de tráfico en la carretera.	Ucrania	2020	Cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV).	- YOLO (biblioteca OpenCV). - Faster R-CNN.	- Reducir esfuerzo computacional. - Conectividad estable. - Recopilación Continua de Datos.	- Dependencia de Datos tecnología específica- Consideraciones Éticas y de Privacidad.
20	(Jauregui et al., 2020)	Mejora de la accesibilidad de las personas mediante un control de señales totalmente accionado en cruces con alta densidad de peatones.	Perú	2020		- Visvap	- Confidencialidad de datos.	- Problemas de escalabilidad. - Costos.
21	(Gandhi et al., 2020)	Control inteligente de semáforos mediante artificial inteligencia.	India	2020	Cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV).	- YOLO (Biblioteca OpenCV).	- Recopilación Continua de Datos. - Confidencialidad de datos.	- Costos.

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
22	(Sotiriadis & Mamalis, 2020)	Una arquitectura jerárquica basada en niebla para IoT servicios del sistema de semáforos inteligentes	Grecia	2020		- Akka	- Conectividad estable. - Confidencialidad de datos.	- Problemas de escalabilidad.

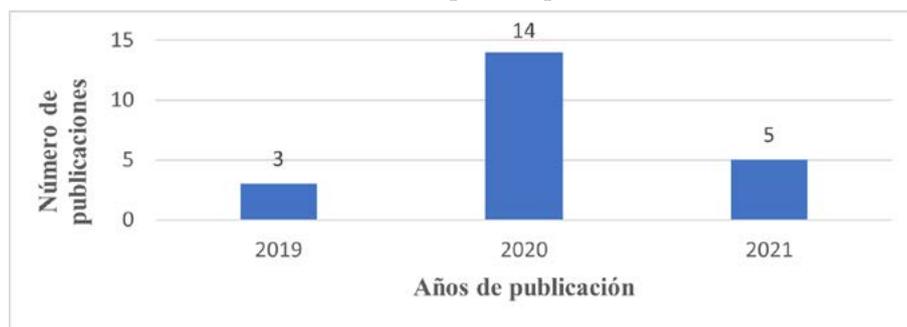
Análisis de datos

A continuación, se detalla el análisis por separado de los campos con los datos que corresponden a cada PI.

PI1 Trabajos encontrados

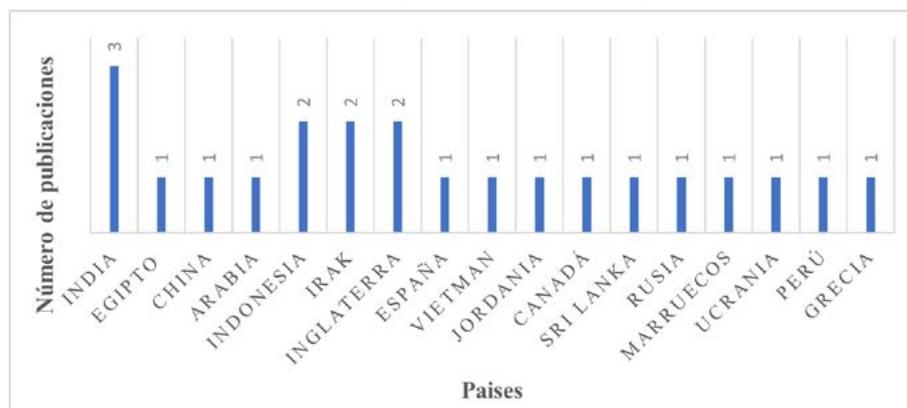
Al llevar a cabo la selección y evaluación de la calidad de los estudios, se exponen los artículos aceptados por año en el periodo comprendido entre 2019 y 2023, tal como se muestra en la Figura 5. Destaca que en el año 2020 se registra la mayor cantidad de artículos aceptados. Es importante señalar que los artículos correspondientes a los años 2022 y 2023 fueron excluidos debido a la falta de acceso o porque su contenido no era relevante para la investigación.

Figura 5
Artículos Aceptados por Año



En la Figura 6 se muestran los trabajos encontrados según los países de origen. La mayoría de propuestas resultan del continente asiático, titulándola India. Cabe recalcar que se obtuvieron resultados de diversos países.

Figura 6
Artículos Segun su País de Origen

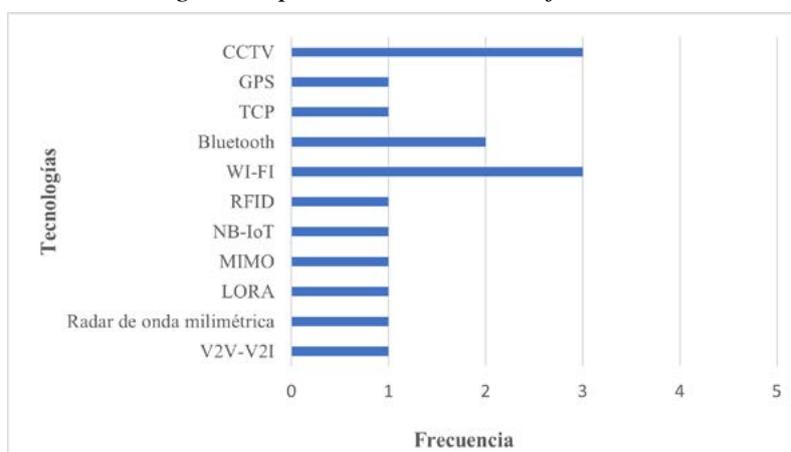


PI2 Tecnologías de comunicación

Se encontraron diferentes tipos de tecnologías que se utilizan en semaforización inteligente. En la Figura 7 se muestra la cantidad de las tecnologías aplicadas en los estudios seleccionados.

Las más utilizadas fueron Wi-Fi y circuito cerrado de televisión (CCTV), debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real y su facilidad de implementación. Otras tecnologías como el módulo Bluetooth también juegan un papel importante debido a que se utiliza para detectar, monitorear y gestionar el tráfico vehicular de manera eficiente, aprovechando su bajo costo y bajo consumo de energía. Sin embargo, tiene limitantes como alcance limitado, dependencia de dispositivos activos, interferencias y privacidad de datos (Saad et al., 2020).

Figura 7
Tecnologías Empleadas en los Trabajos Estudiados



Como se muestra en Figura 7, las tecnologías menos utilizadas en los estudios seleccionados fueron GPS, TCP, RFID, NB-IoT, MIMO, LORA, Radar de ondas milimétrica y V2V-V2I, debido a que tienen sus limitaciones en alcance, dependencia de activación por parte de los usuarios y capacidad de manejo de datos.

PI3 Algoritmos de programación

Existen distintos algoritmos de programación para la detección y gestión eficiente del tráfico. En los trabajos de investigación revisados, como se muestra en la Figura 8, se destacan los siguientes algoritmos:

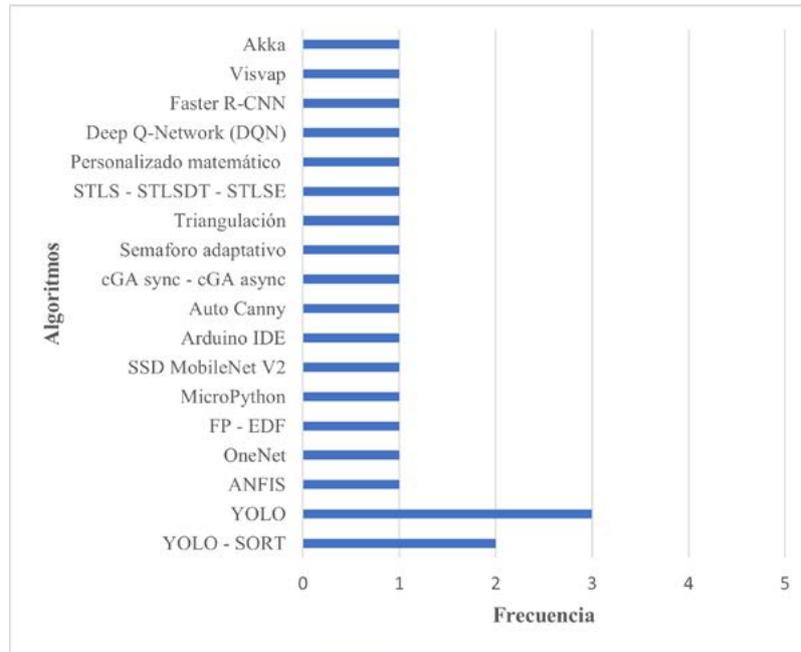
YOLO (You Only Look Once)

YOLO es un algoritmo de detección de objetos en imágenes y videos que se ha utilizado exitosamente en el desarrollo de semáforos inteligentes. YOLO divide la imagen en cuadrículas y realiza predicciones para cada cuadrícula, lo que lo hace eficiente para aplicaciones en tiempo real, como la gestión de semáforos (Pérez et al., 2019).

YOLO en conjunto con SORT (Simple Online and Realtime Tracking)

La combinación de YOLO con SORT mejora la capacidad del sistema para realizar un seguimiento continuo y preciso de objetos a medida que se mueven en el entorno. SORT se encarga de asignar identificadores únicos a los objetos detectados, facilitando así un seguimiento efectivo. La integración de YOLO y SORT proporciona un sistema más robusto para la gestión del tráfico en entornos urbanos (Ibriaeva et al., 2020).

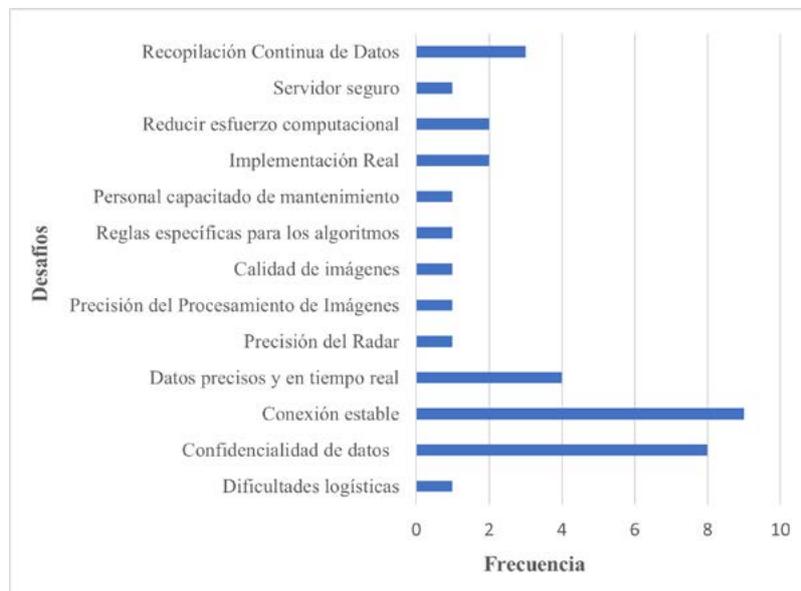
Figura 8
Algoritmos de Programación Encontrados en los Trabajos Estudiados



PI4 Desafíos y limitaciones

La implementación de la semaforización inteligente presenta varios desafíos, como se muestra en la Figura 9, que requieren una atención cuidadosa para garantizar su eficacia y éxito.

Figura 9
Desafíos Encontrados en los Trabajos Estudiado



Existen dos de estos desafíos significativos que se presentan en la mayoría de trabajos estudiados, como lo son:

Conexión estable

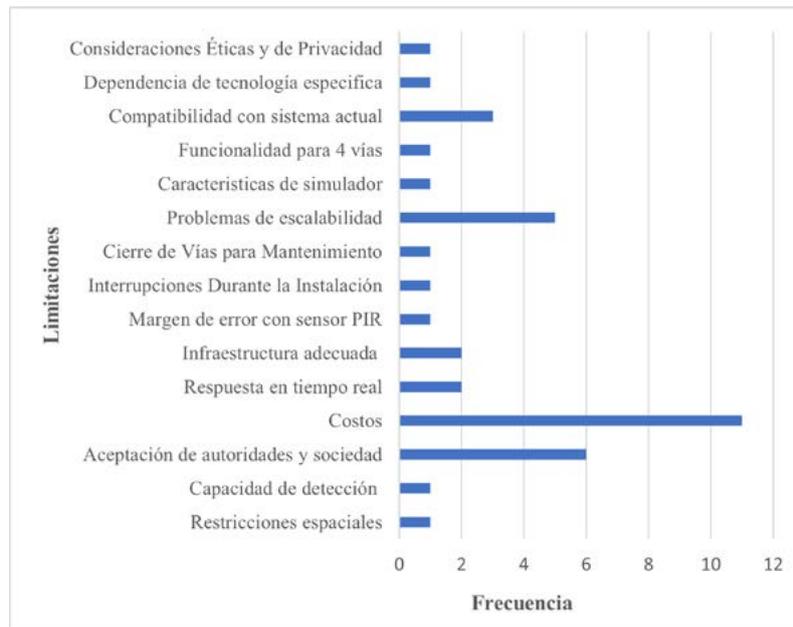
La semaforización inteligente depende en gran medida de la conectividad estable para la comunicación efectiva entre los semáforos y otros dispositivos. Desafíos como la interferencia

de señal, la pérdida de conexión y la congestión de la red pueden afectar negativamente el rendimiento del sistema, lo que destaca la importancia de implementar soluciones robustas de conectividad.

Confidencialidad de datos

La semaforización inteligente implica la recopilación y el intercambio de datos sensibles, como información de tráfico y patrones de movimiento de vehículos. Garantizar la confidencialidad de estos datos es crucial para proteger la privacidad de los usuarios y prevenir posibles riesgos de seguridad.

Figura 10
Limitaciones Encontradas en los Trabajos Estudiados



También existen diversas limitaciones para la implementación de semaforización inteligente, como se muestra en la Figura 10, que se deben abordar para garantizar su viabilidad y adopción exitosa. Las siguientes son las limitaciones más notables:

Costos

Esta es una de las principales limitantes para la implementación de la infraestructura necesaria de semaforización inteligente, debido a que los sistemas avanzados a menudo requieren inversiones significativas en tecnología, equipos y software especializado. Este costo puede ser una barrera para la adopción generalizada, especialmente en áreas con recursos financieros limitados.

Aceptación de autoridades y sociedad

La implementación exitosa de la semaforización inteligente depende en gran medida de la aceptación y cooperación tanto de las autoridades de tránsito como de la sociedad en general. La falta de comprensión, resistencia al cambio o preocupaciones sobre la privacidad pueden generar limitantes significativas. Es esencial abordar estos aspectos a través de campañas de concientización y una comunicación transparente para fomentar la aceptación y confianza.

Problemas de escalabilidad

A medida que las ciudades crecen y evolucionan, la semaforización inteligente debe ser capaz de escalar eficientemente para adaptarse a entornos urbanos en constante cambio.

Los problemas de escalabilidad pueden surgir debido a la complejidad de la infraestructura, la diversidad de las condiciones de tráfico y la necesidad de coordinar múltiples intersecciones. Garantizar que la tecnología sea escalable y flexible es crucial para su implementación efectiva a largo plazo.

Análisis de propuesta en base a los trabajos estudiados

La investigación revela que la implementación de un sistema de semaforización inteligente puede ser beneficiosa para mejorar la seguridad vial y fomentar la movilidad sostenible. Se presenta un análisis en base a los resultados encontrados:

Aspectos positivos

Adaptando nuevas tecnologías a la infraestructura existente, se encuentra la red WiFi que ayuda a la recopilación de datos, mientras que al implementar cámaras o CCTV ayudará a capturar imágenes en tiempo real.

Por otro lado, para complementar el sistema, es importante definir un algoritmo que ayude a tener efectividad del mismo. En la revisión bibliográfica se destacó el algoritmo YOLO como una solución efectiva para la detección de objetos en tiempo real. Su capacidad para identificar múltiples objetos simultáneamente puede mejorar la efectividad del sistema al abordar la complejidad del tráfico urbano. A su vez, tuvo muy buenos resultados a niveles de pruebas de simulación.

Aspectos a considerar

Sin embargo, para aprobar una implementación de recreación de un semáforo inteligente es importante considerar aspectos como desafíos o limitaciones que se deben abordar.

Uno de ellos es una conexión estable, que es crucial para garantizar el funcionamiento continuo del sistema. Se deben implementar medidas robustas para mitigar problemas de conectividad y asegurar una operación consistente.

Además, la preocupación por la confidencialidad de datos es un factor crítico, especialmente cuando se utilizan cámaras de video. La implementación de protocolos de seguridad sólidos es esencial para proteger la información sensible recopilada por el sistema.

Por otro lado, existen limitaciones para la implementación de estos sistemas como los gastos financieros. No obstante, se pueden analizar estrategias para reducir costos, como la optimización de recursos y la búsqueda de soluciones rentables, pueden abordar estos obstáculos.

También existe otra limitante, la aceptación por parte de las autoridades y la sociedad para el éxito de la implementación. Por último, pero no menos importantes, están los problemas de escalabilidad. La incorporación de estrategias es fundamental para garantizar que el sistema pueda adaptarse eficazmente a los cambios en el entorno urbano.

Conclusiones

La semaforización inteligente, como se describe en este artículo, presenta un avance significativo en la gestión del tráfico urbano al integrar tecnologías IoT y visión por computador. Los estudios revisados confirman que la implementación de tecnologías como Wi-Fi, CCTV y algoritmos como YOLO pueden mejorar sustancialmente la seguridad vial y la eficiencia del tráfico. Además, en términos de incorporación de tecnologías avanzadas, logra ser una solución

eficiente del tráfico, optimizando los tiempos de espera y reduciendo los riesgos de accidentes. La capacidad de recopilar y analizar datos en tiempo real permite ajustes dinámicos en la regulación del tráfico, adaptándose a las necesidades cambiantes de la infraestructura urbana y proporcionando un ambiente más seguro para peatones y conductores.

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, persisten desafíos técnicos y logísticos, como la precisión en la detección en condiciones adversas y la confidencialidad de los datos, que deben abordarse para garantizar una implementación efectiva y segura. Además, existen limitaciones actuales como costos elevados y la aceptación social, de forma que se destaca la necesidad de seguir investigando y optimizando estos sistemas para superar los desafíos y limitaciones actuales para lograr la movilidad sostenible y segura deseada en las Smart Cities.

Referencias

- Aarón, M. A., Gómez, C. A., Fontalvo, J., Gómez, A. J., Aarón, M. A., Gómez, C. A., Fontalvo, J., & Gómez, A. J. (2019). Análisis de la Movilidad Vehicular en el Departamento de La Guajira usando Simulación. El Caso de Riohacha y Maicao. *Información tecnológica*, 30(1), 321-332. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000100321>
- Abohashima, H., Gheith, M., & Eltawil, A. (2020). A proposed IoT based Smart traffic lights control system within a V2X framework. *2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 338-343. <https://doi.org/10.1109/NILES50944.2020.9257874>
- Aleko, D. R., & Djahel, S. (2020). An Efficient Adaptive Traffic Light Control System for Urban Road Traffic Congestion Reduction in Smart Cities. *Information*, 11(2), 119. <https://doi.org/10.3390/info11020119>
- Aulia Yusuf, A. N., Setyo Arifin, A., & Yuli Zulkifli, F. (2021). Recent development of smart traffic lights. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 10(1), 224. <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i1.pp224-233>
- Chabchoub, A., Hamouda, A., Al-Ahmadi, S., & Cherif, A. (2021). Intelligent Traffic Light Controller using Fuzzy Logic and Image Processing. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(4). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120450>
- Dangi, K., Kushwaha, M. S., & Bakthula, R. (2020). An Intelligent Traffic Light Control System Based on Density of Traffic. En J. K. Mandal & D. Bhattacharya (Eds.), *Emerging Technology in Modelling and Graphics* (Vol. 937, pp. 741-752). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7403-6_65
- Evan, Wulandari, M., & Syamsudin, E. (2020). Recognition of Pedestrian Traffic Light using Tensorflow And SSD MobileNet V2. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012022>
- Faqir, N., En-Nahnahi, N., & Boumhidi, J. (2020). Deep Q-learning Approach for Congestion Problem In Smart Cities. *2020 Fourth International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICDS50568.2020.9268709>
- Gandhi, M. M., Solanki, D. S., Daptardar, R. S., & Baloorkar, N. S. (2020). Smart Control of Traffic Light Using Artificial Intelligence. *2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICRAIE51050.2020.9358334>
- Guo, P., Xiang, H., Wu, S., Pu, T., & Chen, D. (2020). Design of Intelligent Pedestrian and Vehicle Guidance System for Zebra Crossing Based on Millimeter Wave Radar. *Journal of Physics: Conference Series*, 1646(1), 012125. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1646/1/012125>
- Hiari, O., & Nofal, I. (2020). A Dynamic Decentralized Traffic Light Management System: A TCP Inspired Approach. *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/NOMS47738.2020.9110461>
- Ibriaeva, O., Shepelev, V., Zhulev, A., Chizhova, M., Yakupova, G., & Fatikhova, L. (2020). The Use of the YOLO Neural Network in the Task of Separating Vehicles and Pedestrians at a Signal-Controlled

- Intersection. *2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC)*, 303-308. <https://doi.org/10.1109/GloSIC50886.2020.9267845>
- Jauregui, C., Torres, M., Silvera, M., & Campos, F. (2020). Improving people's accessibility through a fully actuated signal control at intersections with high density of pedestrians. *2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONIITI)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI51147.2020.9240288>
- Leon, E. R. W., & Ygnacio, M. A. C. (2024). Una revisión sistemática de literatura sobre implementaciones de sistemas de control de tráfico. *Interfases*, 019, Article 019. <https://doi.org/10.26439/interfases2024.n19.6779>
- Mahima, K. T. Y., Abeygunawardana, R. A. B., & Ginige, T. N. D. S. (2020). Dynamic Traffic Light Controlling System Using Google Maps and IoT. *2020 From Innovation to Impact (FITI)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/FITI52050.2020.9424870>
- Michelle, G. N. A., & Alberto, S. C. O. (s. f.). *INGENIERO EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES*.
- Nguyen-Ly, T. T., Tran, L., & Huynh, T. V. (2019). Low-cost, high-efficiency hardware implementation of smart traffic light system. *2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE)*, 28-32. <https://doi.org/10.1109/ISEE2.2019.8921146>
- Palma, L. V. G., & García, L. C. (2023). Estudio bibliográfico de Sistemas de Transporte Inteligente orientado a los buses urbanos de la ciudad Portoviejo. *Polo del Conocimiento*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i5.5633>
- Pérez, R. M., Arias, J. S., & Porras, A. M. (2019). Introducción al Aprendizaje Automático con YOLO. *Tecnología Vital*, 2(6), Article 6. <https://revistas.ulatina.ac.cr/index.php/tecnologiavital/article/view/250>
- Ramadhan, Z. A., Salman, R. H., Mohammed, B. K., & Alwaily, A. H. (2021). Design and implement a smart traffic light controlled by internet of things. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 9(4), 542. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i4.2351>
- Rezgui, J., Barri, M., & Gayta, R. (2019). Smart Traffic Light Scheduling Algorithms. *2019 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/SmartNets48225.2019.9069760>
- Rodríguez Romo, T. M., & Bravo León, J. A. (2021). IoT para la semaforización inteligente en la ciudad de Guayaquil. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(11), 1022-1039.
- Saad, W. K., Hashim, Y., & Jabbar, W. A. (2020). Design and Implementation of Portable Smart Wireless Pedestrian Crossing Control System. *IEEE Access*, 8, 106109-106120. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000014>
- Sharma, M., Bansal, A., Kashyap, V., Goyal, P., & Sheikh, T. H. (2021). Intelligent Traffic Light Control System Based On Traffic Environment Using Deep Learning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1022(1), 012122. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1022/1/012122>
- Singh, R., Saini, S., & Bathla, R. (2019). Autonomous Traffic Management using Big Data in a Network of IoT Enabled Devices. *2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, 33-37. <https://doi.org/10.1109/PEEIC47157.2019.8976687>
- Sotiriadis, L., & Mamalis, B. (2020). A Hierarchical Fog-based Architecture for IoT-enabled Intelligent Traffic Lights System Services. *24th Pan-Hellenic Conference on Informatics*, 127-130. <https://doi.org/10.1145/3437120.3437290>
- Villagra, A., Alba, E., & Luque, G. (2020). A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions. *Journal of Computational Science*, 41, 101085. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.101085>
- Zinchenko, V., Kondratenko, G., Sidenko, I., & Kondratenko, Y. (2020). Computer Vision in Control and Optimization of Road Traffic. *2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, 249-254. <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204329>

APLICACIONES

EN IOT, DOMÓTICA Y SISTEMAS EMBEBIDOS



Caracterización y Análisis de la Calidad del Agua en Entornos Urbanos mediante la implementación de un Sistema Embebido con Tecnología IoT

Characterization and Analysis of Water Quality in Urban Environments through the Implementation of an Embedded System with IoT Technology

Néstor Rafael Salinas Buestán¹ <https://orcid.org/0000-0003-3814-9639>, Nicole Roxana Briones Yopez¹ <https://orcid.org/0009-0005-9041-3208>, Steven Isaias Quiroz Nieves¹ <https://orcid.org/0009-0004-8506-9193>, Diego Patricio Peña Banegas¹ <https://orcid.org/0000-0003-2108-4306>, Yadyra Monserrath Ortíz González¹ <https://orcid.org/0000-0001-8696-7463>

¹*Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador*
nsalinasb@uteq.edu.ec, rbrionesy@uteq.edu.ec
squirozn@uteq.edu.ec, dpena@uteq.edu.ec
yortizg@uteq.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/30

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

Este estudio tiene como objetivo caracterizar y analizar la calidad del agua en entornos urbanos mediante un sistema embebido con tecnología IoT, centrándose en la parroquia San Camilo, Quevedo, Ecuador, donde el crecimiento poblacional ha incrementado la demanda de agua potable. Se diseñó un sistema embebido que hace uso de un microcontrolador y sensores para monitorear en tiempo real parámetros críticos de la calidad del agua. Los datos recolectados se transmiten a una plataforma en la nube para su almacenamiento, análisis y visualización. Se prefirió el coeficiente de correlación de Spearman para el análisis estadístico de los datos. Esto permitió identificar patrones y relaciones entre las variables examinadas. Los datos revelaron asociaciones significativas en datos no lineales, facilitando una decisión en cuanto al desarrollo de modelos predictivos para la gestión y tratamiento del agua. Los resultados evidencian la viabilidad y eficiencia del uso de tecnologías IoT en el monitoreo continuo de la calidad del agua, ofreciendo una base científica para la recolección y tratamiento de datos relevantes en torno a

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

Como citar: Salinas, N., Briones, N., Quiroz, S., Peña, D., Ortíz, Y. (2024). Caracterización y Análisis de la Calidad del Agua en Entornos Urbanos mediante la implementación de un Sistema Embebido con Tecnología IoT. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 98-112. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1194>

la calidad de agua potable en zonas residenciales, proporcionando una herramienta robusta para vigilar por la salud pública y el bienestar de los habitantes.

Palabras clave: Agua potable, Análisis estadístico, Calidad del agua, Computación en la nube, Microcontrolador, Monitoreo en tiempo real.

Abstract

This study aims to characterize and analyze water quality in urban environments using an IoT embedded system, focusing on San Camilo's community of Quevedo, Ecuador, where population growth has increased the demand for drinking water. An embedded system was designed to make use of a microcontroller and sensors to monitor critical water quality parameters in real time. The collected data is transmitted to a cloud platform for storage, analysis, and visualization. Spearman's correlation coefficient was preferred for statistical analysis of the data. This allowed for the identification of patterns and relationships between the variables examined. The data revealed significant associations in non-linear data, facilitating a decision regarding the development of predictive models for water management and treatment. The results demonstrate the feasibility and efficiency of using IoT technologies in the continuous monitoring of water quality, offering a scientific basis for the collection and processing of relevant data on the quality of drinking water in residential areas, providing a robust tool to monitor public health and the comfort of the inhabitants.

Keywords: Potable water, Statistical analysis, Water quality, Cloud computing, Microcontroller, Real-time monitoring.

Introducción

La calidad del agua es un factor de gran importancia para garantizar la salud pública y el bienestar de los habitantes de las ciudades, por lo que su monitoreo y análisis resulta indispensable al cumplir con ciertos estándares de calidad para asegurar su adecuado uso. Además, en entornos urbanos existe una mayor exposición a contaminantes, como residuos químicos y biológicos, lo que resalta la necesidad de evaluar regularmente la calidad del agua (Semarnat, 2023). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el rango aceptable del agua potable para consumo humano debe estar dentro de ciertos parámetros; por ejemplo, para sólidos disueltos totales (TDS) se encuentra entre 300 y 1000 ppm (partes por millón), el pH debe estar entre 6.5 y 8.5 (OMS, 2018), mientras que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) establece que los niveles de turbidez aceptables están entre 0 y 5 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) (OPS, 2008).

El Internet de las cosas (IoT) se ha hecho cada vez más popular para una amplia gama de aplicaciones, entre ellas la monitorización, donde mediante diversos dispositivos ofrece una solución para la adquisición de información relevante con la que se podría evaluar la calidad del agua, llevando a cabo un proceso de caracterización para comprender y describir sus atributos físicos, químicos y biológicos. Esta comprensión cuantificable permite identificar relaciones y patrones entre variables como temperatura, pH o turbidez (Jan, Min-Allah, & Düştegör, 2023).

En la ciudad de Quevedo, Ecuador, a pesar del creciente avance tecnológico, no se cuenta con datos específicos y actualizados sobre la calidad del agua potable, lo que representa un problema significativo para la gestión y el control de los recursos hídricos. La ausencia de investigaciones científicas aplicadas en esta área resalta la urgencia de implementar un sistema

de monitoreo que proporcione información precisa y en tiempo real. Por lo tanto, se propone el desarrollo e implementación de un sistema IoT que permita la monitorización continua de la calidad del agua en esta localidad, con el objetivo de llenar el vacío de datos y proporcionar una base importante para futuras investigaciones interdisciplinarias.

Trabajo relacionado

El proyecto liderado por Roque (2020) se centra en la importancia del agua y la necesidad de monitorear su calidad en tiempo real. Este estudio destaca la creciente escasez y deterioro del agua debido al aumento de la población y las actividades humanas. Propone soluciones mediante sistemas autónomos de monitoreo, destacando la eficiencia y la reducción de costos. El equipo desarrollado permite medir pH, temperatura y conductividad eléctrica en el agua utilizando tecnología de software y hardware libres y así tecnologías de IoT. Además, se realizaron pruebas de validación en el laboratorio, comparando los resultados con sensores comerciales de alta precisión, llevando a cabo un análisis estadístico para validar valores de los sensores, obteniendo datos similares a los equipos de referencia. Este estudio proporciona una base tecnológica valiosa para el proyecto, con un enfoque similar en sistemas IoT para monitorear la calidad del agua. Sin embargo, se diferencia al aplicar estas tecnologías específicamente a entornos urbanos, adaptando las soluciones a los desafíos y características particulares de estas áreas.

El proyecto "Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de Internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicaciones de baja potencia" describe un sistema IoT diseñado para monitorear en tiempo real la calidad del agua. Equipado con sensores que miden pH, conductividad, turbidez y temperatura, el sistema recoge y transmite datos a una plataforma web para su análisis. Las pruebas realizadas en diferentes zonas rurales en la provincia de Loja, Ecuador, demostraron la capacidad para recopilar datos precisos y fiables, facilitando la detección temprana de problemas. El estudio concluye que la tecnología IoT es una solución viable para el monitoreo de la calidad del agua en zonas rurales, ofreciendo una herramienta valiosa para mejorar la gestión del agua y asegurar su acceso seguro para las comunidades rurales (Guevara & Suintaxi, 2020). WaterAlert utiliza tecnología LoRaWAN para el monitoreo en entornos rurales, mientras que este proyecto emplea acceso wifi en áreas urbanas. El uso de esta tecnología proporciona mayor velocidad de transmisión y es adecuado para infraestructura urbana.

El estudio "Desarrollo de un sistema de monitoreo basado en IoT para la calidad del agua" (Carriazo, 2021) aborda la monitorización en tiempo real de la calidad del agua potable. Utilizando un microcontrolador y una Raspberry Pi 4, el sistema gestiona y transmite información a la nube a través de la plataforma PubNub. Este estudio se centra en hallar datos atípicos mediante este sistema de monitoreo, implementado en zonas rurales. Los sensores miden parámetros como pH, turbidez, temperatura, TDS, mejorando la toma de decisiones y asegurando una distribución de agua apta para consumo humano, especialmente en áreas de difícil acceso. Estos resultados y experiencias permiten dar paso al presente proyecto con el fin de aplicarlo en zonas residenciales de la provincia de Los Ríos, Ecuador.

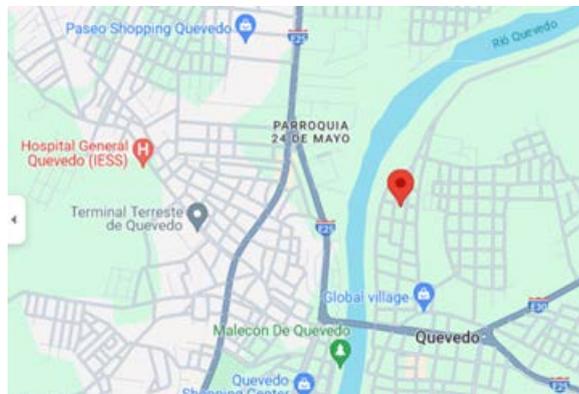
Materiales y Métodos

Área de Estudio

La parroquia San Camilo, ubicada en el cantón Quevedo de la provincia de Los Ríos, Ecuador, ha experimentado un notable crecimiento poblacional con un índice de 3,07% en los últimos años, lo que ha incrementado la demanda de agua potable (GAD Quevedo, 2020).

Para realizar el estudio sobre la calidad del agua se seleccionó esta parroquia en específico debido a su alta densidad de habitantes. El agua potable en la parroquia proviene de pozos profundos y una planta de tratamiento provisional. Se utilizó una cisterna de un domicilio de la zona para realizar el estudio.

Figura 1
Ubicación del domicilio



Conceptos importantes

Diseño y Creación del PCB

Un circuito impreso, también conocido como PCB (Printed Circuit Board), es un soporte físico que permite conectar los diferentes componentes eléctricos y electrónicos. Los circuitos impresos están compuestos por una o más capas conductoras. Para conectar pistas de distintas capas se utilizan orificios llamados vías que pueden atravesar completamente la PCB o solamente llegar hasta una determinada profundidad (Francisco, 2020). El diseño de un PCB se realiza utilizando software especializado conocido como EDA (Electronic Design Automation). Estos programas permiten crear esquemas electrónicos y planificar la disposición física de los componentes en la placa.

Diseño del Circuito Esquemático

El diseño esquemático contiene todos los componentes del sistema, y especifica cómo se realiza la interconexión de los mismos. Este diagrama es el que permite diseñar circuitos de forma sencilla. Mediante la unión de símbolos esquemáticos que representan cada uno de los elementos o redes utilizadas, este esquema actúa como guía para el diseño del circuito impreso. Permite visualizar, analizar y simular el comportamiento del circuito, pudiendo así corregir posibles errores antes de la fabricación (Arquero Gallego, 2022).

Reglas de Diseño

Las reglas de diseño son un conjunto de directrices que aseguran que el PCB cumpla con los requisitos eléctricos y físicos necesarios para su correcto funcionamiento. Estas reglas se basan en las necesidades y especificaciones del prototipo. Dentro de las reglas de diseño, el uso DRC (Design Rule Check) y ERC (Electrical Rule Check) es fundamental. DRC es una potente función automatizada que verifica la integridad lógica y física de un diseño, mientras que ERC se usa en cada placa enrutada para confirmar que cumple con una serie de parámetros recomendados (Silvestre, Salazar, & Marzo, 2019).

Enrutamiento de Pistas

Consiste en diseñar las rutas de cobre que conectan los componentes electrónicos según el esquema, asegurando conexiones eléctricas eficientes y minimizando interferencias. El diseño

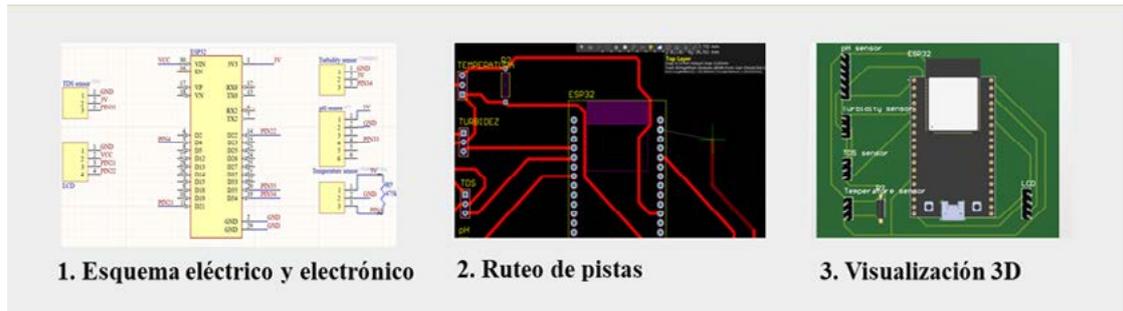
de estas rutas se conoce como pistas. El tamaño de las pistas varía según el tipo de señal: alimentación (VCC, GND), datos, etc.

Modo de Diseño en 3D

Permite examinar la disposición física de los componentes y pistas en la placa, asegurando ajuste y funcionalidad. Facilita la detección de errores, mejora la estética y optimiza la manufactura del producto final.

Figura 2

Pasos en el diseño y creación del PCB



Generación de Archivos de Fabricación

Los archivos de fabricación (Gerber files) son documentos vectoriales que contienen la información necesaria para fabricar una placa de circuito impreso. Estos archivos describen cada capa de un PCB, incluyendo las pistas, orificios y serigrafías. Luego, con el lenguaje G-Code (conjunto de instrucciones sencillas que indican a una máquina las operaciones que debe realizar, tal como movimientos, velocidad, cortes o perforaciones), se lleva a cabo un proceso de mecanizado, mismo que se traduce en secuencias de comandos G-Code (Teja, 2022).

Mecanizado del PCB

Las máquinas de control numérico (CNC) son dispositivos automatizados que utilizan el código G para ejecutar operaciones precisas como fresado y perforación en PCBs según el diseño especificado. En la etapa de Revisión y Verificación, se inspecciona la PCB terminada para asegurar que las conexiones y dimensiones sean correctas, cumpliendo con los estándares de diseño y funcionalidad establecidos anteriormente (Muñoz, 2013). En la etapa de Ensamblaje y Soldadura de Componentes, se debe comprobar que no haya cortocircuitos, utilizando un multímetro para verificar las conexiones.

Figura 3

Proceso de fabricación del PCB



Estadística Descriptiva

Luego de recolectar las variables relacionadas con la calidad del agua por medio de la implementación del sistema embebido, se lleva a cabo un análisis estadístico, enfocado a estudiar los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, permitiendo sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en las relaciones intrínsecas de la calidad de agua (Acosta, Laines, & Piña, 2014). Por otro lado, una estadística descriptiva organiza, presenta y describe este conjunto de datos con el propósito de facilitar su uso, generalmente con el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas. Estas herramientas ayudan a comprender el comportamiento de las variables, detectar patrones, entre otros (Faraldo & Pateiro, 2013).

Representación Gráfica de los Datos

La representación gráfica de datos en la investigación científica es indispensable. Sirve para lograr visualizar patrones y tendencias. Dependiendo de las necesidades específicas, se utilizan diferentes tipos de gráficos. Los histogramas, por ejemplo, son herramientas efectivas para mostrar la distribución y dispersión de datos numéricos por intervalos, ofreciendo ideas sobre la forma de los datos y posibles agrupamientos. Los gráficos Q-Q (quantile-quantile) son ideales para comparar datos observados con una distribución teórica como la normal. Por otro lado, los gráficos de dispersión exploran la relación entre variables, revelando concentraciones o dispersiones de puntos. Finalmente, los mapas de calor utilizan colores para representar la densidad o intensidad de una variable en una superficie bidimensional, proporcionando una visualización clara de patrones espaciales y anomalías (Medina, 2024).

Estadística Inferencial

La estadística inferencial es una rama de la estadística que se enfoca en generalizar conclusiones a partir de una muestra de datos, extrapolándolas a una población más amplia (Acosta, Laines, & Piña, 2014). La estadística inferencial agrupa un conjunto de técnicas que tratan de extraer conclusiones de los datos. A diferencia de la estadística descriptiva, que no infiere si no que describe, la estadística inferencial permite realizar inferencias (Menéndez, 2023). En este estudio, se tiene como objetivo generalizar los resultados obtenidos a partir de las mediciones de calidad del agua realizadas mediante sensores IoT en una cisterna. La inferencia estadística facilita el desarrollo de modelos predictivos que explican las relaciones entre estos parámetros, permitiendo la predicción y el control de la calidad del agua en condiciones futuras.

Tipo de Muestreo

El estudio utilizó un muestreo por conveniencia, dado que los datos fueron recolectados de una cisterna específica en la parroquia San Camilo, donde se disponía de sensores IoT instalados de manera estratégica dentro de la misma. Adicionalmente, se adoptó un enfoque sistemático al programar los sensores para tomar lecturas cada minuto, asegurando una recolección de datos constante y regular a lo largo del periodo de estudio de 30 días.

Correlación

La correlación es un tipo de asociación entre dos variables numéricas; específicamente evalúa la tendencia (creciente o decreciente) en los datos. Dos variables están asociadas cuando una variable proporciona información acerca de la otra. Por el contrario, cuando no existe asociación, el aumento o disminución de una variable no proporciona información sobre el comportamiento de la otra variable (Molina, 2021). Para este estudio, se toma como una referencia primordial para comprender la relación que pueden o no tener las variables.

Modelos de Correlación

Se evaluaron las relaciones entre las variables de calidad del agua utilizando diferentes modelos de correlación. Los modelos de correlación ayudan a determinar la fuerza y la dirección de las asociaciones entre dos variables cuantitativas. Las correlaciones de Pearson, Spearman y Kendall fueron utilizadas para proporcionar una visión completa de estas relaciones, permitiendo así una mejor interpretación de los datos obtenidos y facilitando la identificación de patrones y tendencias significativas en la calidad del agua.

Depuración de Datos

La depuración es el proceso de identificar y corregir errores, inconsistencias y datos irrelevantes o incompletos en un conjunto de datos. En este proyecto, se realizó la depuración de datos para asegurar la precisión y consistencia en cada variable, ya que es algo indispensable cuando se quiere caracterizar o establecer un modelo de correlación fiable.

Metodologías Aplicadas

Se emplearon diversas metodologías de investigación para asegurar la precisión y relevancia de los resultados. La investigación bibliográfica proporcionó una base teórica sólida mediante la revisión de literatura relevante en el campo del monitoreo de calidad del agua. En la investigación aplicada, se instalaron sensores programados para tomar lecturas de calidad del agua cada minuto y enviar los datos a la plataforma ThingSpeak, donde fueron depurados para garantizar su precisión. La investigación cuantitativa se utilizó para organizar y describir los datos mediante estadísticas descriptivas, representaciones gráficas y estimaciones de intervalos de confianza. Además, se evaluaron las correlaciones entre variables utilizando modelos de Pearson, Spearman y Kendall. La validación técnica incluyó la depuración de datos y la evaluación de modelos, asegurando la precisión y fiabilidad de los métodos aplicados. La combinación de estas metodologías permitió una comprensión integral del sistema de monitoreo.

Componentes Usados

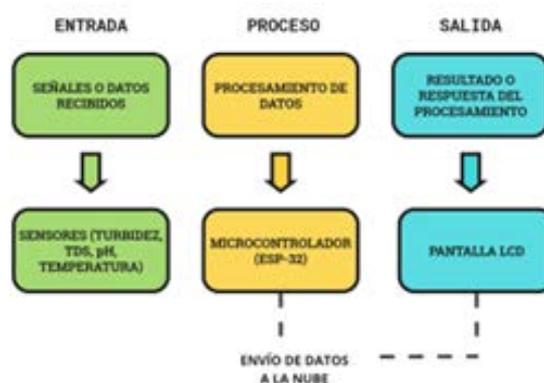
ITEM	NOMBRE	VARIABLE MEDIDA	ESPECIFICACIONES	IMAGEN
1	ESP-32 WROOM32	-----	Voltaje de Alimentación: 3.3V-5V Voltaje de E/S: 3.3V CPU: Tensilica LX6 240 MHz Dual Core Frecuencia de Reloj: Hasta 240Mhz Wifi: 802.11 b	
2	Módulo de sensor de turbidez	Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU)	Rango de Medición: 0 - 4550 NTU (0-5V) Consumo: 30mA Tipo de Señal: Analógica Rango de error: ± 0.5% F*S	
3	PH0-14 Módulo de sensor de detección de pH	Potencial de hidrógeno (pH)	Rango de Medición: 0 - 14 pH (0-5V) Corriente de Trabajo: 5-10mA Tipo de Señal: Analógica/Digital Rango de error: ± 0.5% F*S	
4	Módulos Sensor Análogo de Conductividad (TDS)	Total de Solidos Disueltos (TDS)	Rango de Medición: TDS: 0 - 1000 ppm Corriente de Trabajo 3-6mA Tipo de Señal: Analógica Rango de error: ± 0.5% F*S	

ITEM	NOMBRE	VARIABLE MEDIDA	ESPECIFICACIONES	IMAGEN
5	Módulo Sensor De Temperatura Ds18b20	Temperatura	Rango de Medición: -67.0 °F a +257.0 °F Corriente de Trabajo: 1-5 mA Tipo de Señal: Digital Rango de error: ± 0.5% F*S	
6	Pantalla LCD con Módulo I2C	-----	Voltaje de Alimentación: 5V Interfaz de Comunicación: I2C Angulo de Visión: 6H Retroiluminación: (Azul con blanco carbón)	

Arquitectura del Sistema Embebido

En la etapa de entrada, se reciben señales o datos provenientes de diversos sensores que miden parámetros del agua, como pH, temperatura y conductividad. Estos datos son captados por los sensores y enviados al microcontrolador para su procesamiento. Durante la etapa de procesamiento, el microcontrolador se encarga de interpretar, analizar y procesar los datos recibidos, aplicando algoritmos específicos para mejorar la precisión.

Figura 4
Diagrama de bloques del sistema embebido

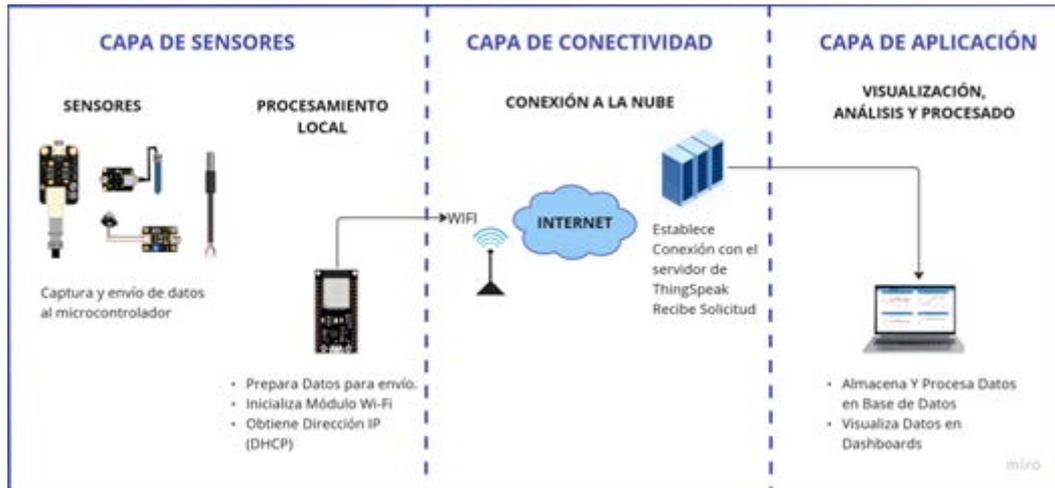


Además, tiene la capacidad de enviar los datos procesados a la nube, permitiendo la monitorización remota del sistema. Finalmente, en la etapa de salida, el resultado del procesamiento de los datos es mostrado en una pantalla LCD con el fin de informar al usuario los valores en tiempo real.

Arquitectura de la Red IoT

La arquitectura IoT es un proceso en el que la información viaja a través de la red, desde los sensores hasta un centro de datos o la nube. Los sensores capturan los datos y los envían al microcontrolador (uC), que los procesa localmente. Luego, el uC utiliza un módulo wifi para conectarse a Internet. Luego, se conecta a la red y resuelve el DNS para establecer una conexión con el servidor de ThingSpeak mediante protocolos de red. ThingSpeak recibe los datos, los almacena en su base de datos y los visualiza en dashboards en tiempo real.

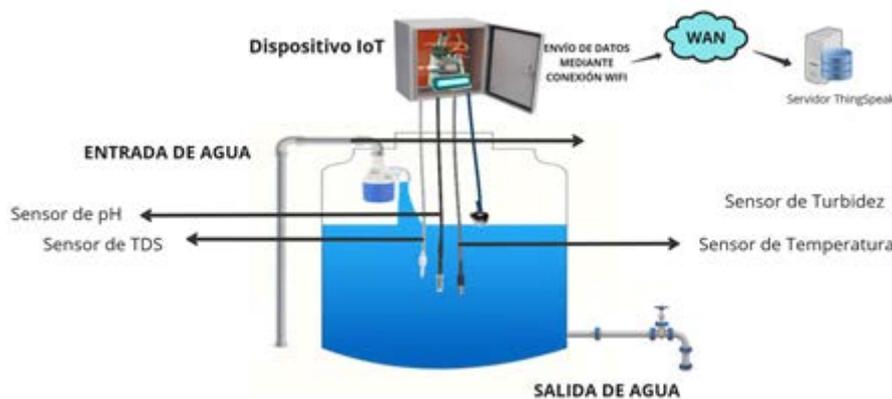
Figura 5
Diagrama de arquitectura de red IoT



Recolección de Datos

Los sensores fueron instalados estratégicamente en la cisterna y fueron programados para tomar y enviar lecturas cada minuto. Los datos recolectados fueron enviados en tiempo real a ThingSpeak. Esta plataforma almacena los datos en una base de datos, permitiendo descargar los archivos en formato CSV.

Figura 6
Esquema de la implementación del sistema



Manejo de Datos y Análisis en la Capa de Aplicación

Almacenamiento y Visualización de Datos con ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma abierta de Internet de las cosas (IoT), que nos permite recoger y almacenar datos de los sensores en la nube y visualizarlos en canales públicos, lo que facilita el monitoreo y análisis de la calidad del agua. ThingSpeak permite la creación de widgets personalizados, como gráficos de líneas y medidores, que son utilizados para visualizar los datos recolectados de manera intuitiva y efectiva (Daquilema Serrano, 2020).

Análisis y Procesamiento de Datos con Python

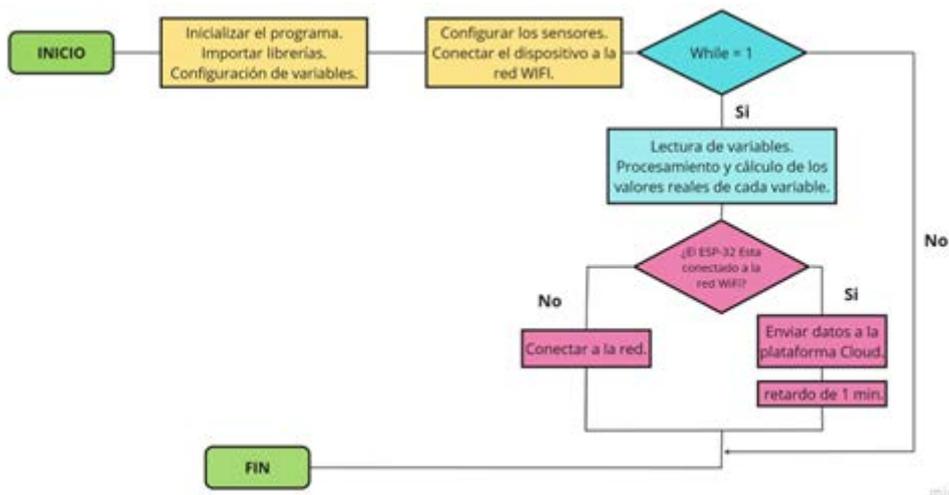
Para el análisis y procesamiento de los datos recolectados, se utilizó Jupyter Notebook como herramienta de desarrollo, la cual facilita la ejecución interactiva de código, visualización de datos y documentación en un solo entorno. El manejo y análisis de las estructuras de datos se realizó principalmente con la librería Pandas, especializada en la manipulación eficiente de

datos tabulares. Pandas se empleó para tareas como la limpieza, filtrado, agrupación y agregación de datos, permitiendo transformar y preparar los datos de manera efectiva para su análisis estadístico.

Programación del Firmware

Para el desarrollo del código del proyecto, se utiliza Visual Studio Code, junto con las librerías de Arduino IDE y ESP32.

Figura 7
Diagrama de Flujo del Funcionamiento General del Sistema Embebido



Resultados

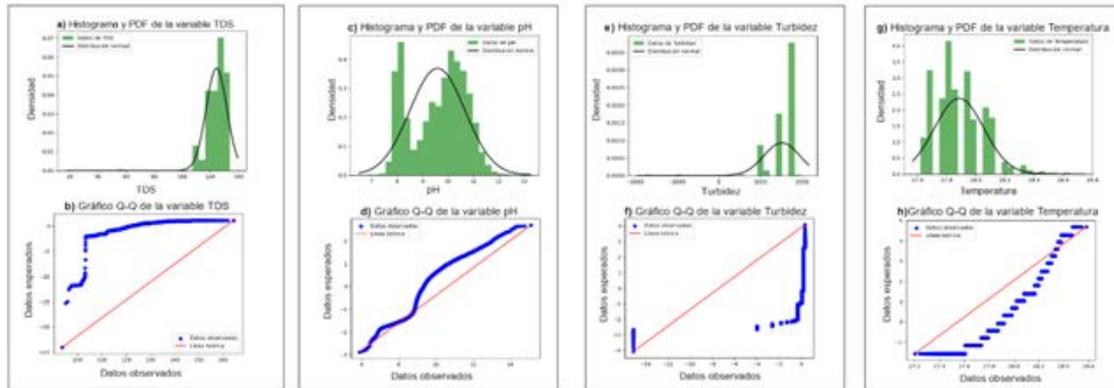
Se tomaron datos de cuatro variables independientes obtenidas por parte del sistema embebido: TDS, turbidez, pH y temperatura, además se capturaron los valores mínimos y máximos registrados por el dispositivo para cada variable. A partir de estos datos, se creó una variable dependiente categórica llamada "clasificación", que agrupa los resultados según criterios de calidad del agua (Tabla 2).

Tabla 2
Variables Dependientes e Independientes

VARIABLE	TIPO DE DATO	VALOR MIN	VALOR MAX
pH	Numérico	3	14
Temperatura	Numérico	4	37
Turbidez	Numérico	0	20.5
TDS	Numérico	0	1000
Clasificación	Categórica	Malo	Excelente

Análisis de Normalidad de Variables

Los datos utilizados en este estudio han sido obtenidos directamente del prototipo desarrollado para el proyecto, lo cual permite un análisis preciso de las variables involucradas. La recolección de datos se realizó durante un periodo de 27 días, con mediciones tomadas a intervalos de 1 minuto, lo que resultó en un total de 155,520 muestras.

Figura 8*Gráficos de análisis de normalidad de las variables****TDS (Total de Sólidos Disueltos)***

El histograma y la curva de densidad en la Figura 8 (a) no se alinean, indicando que los datos no siguen una distribución normal. El gráfico Q-Q en la Figura 8 (b) muestra desviaciones significativas, confirmando la asimetría de los datos.

Ph (Potencial de Hidrógeno)

El histograma muestra que los datos de pH en la Figura 8 (c) no siguen una distribución normal, con barras que no se alinean con la curva de densidad. El gráfico Q-Q de la Figura 8 (d) revela desviaciones significativas, especialmente en los extremos, indicando una asimetría positiva.

Turbidez

El histograma indica que los datos de turbidez en la Figura 8 (e) no siguen una distribución normal, con una alineación pobre en los extremos y valores negativos. El gráfico Q-Q en la Figura 8 (f) muestra desviaciones significativas de la línea de referencia, sugiriendo la presencia de valores extremadamente bajos.

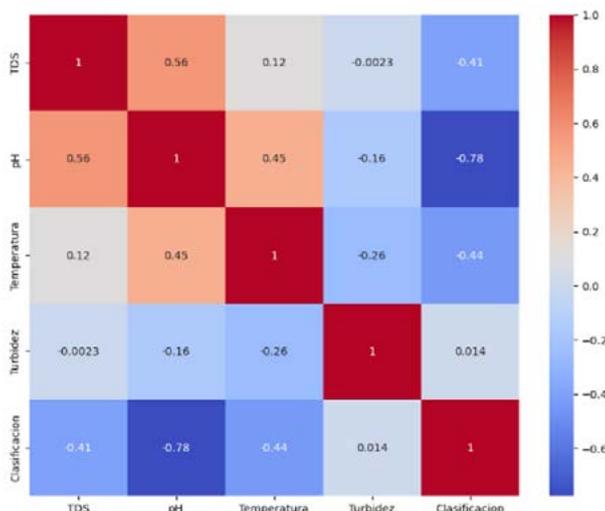
Temperatura

El histograma de la variable temperatura en la Figura 8 (g) sugiere una aproximación a la normalidad con agrupación alrededor de 27.8°C. El gráfico Q-Q Figura 8 (h) muestra que los datos transformados no se ajustan completamente a una distribución normal, con desviaciones en los extremos indicando colas más pesadas o ligeras.

Análisis de la Matriz de Correlación de Pearson

En el análisis de la correlación de Pearson entre las variables de calidad del agua (TDS, pH, Temperatura, Turbidez y Clasificación), se observaron varios patrones importantes. La correlación entre TDS y pH fue moderada y positiva (0.56), indicando que estos parámetros tienden a aumentar juntos. Similarmente, se encontró una correlación moderada y positiva entre pH y Temperatura (0.45). La correlación entre TDS y Temperatura resultó ser débil y positiva (0.12), mientras que la relación entre TDS y Turbidez fue insignificante (-0.0023). La correlación más significativa fue entre pH y Clasificación, la cual fue fuerte y negativa (-0.78), sugiriendo una relación inversa considerable.

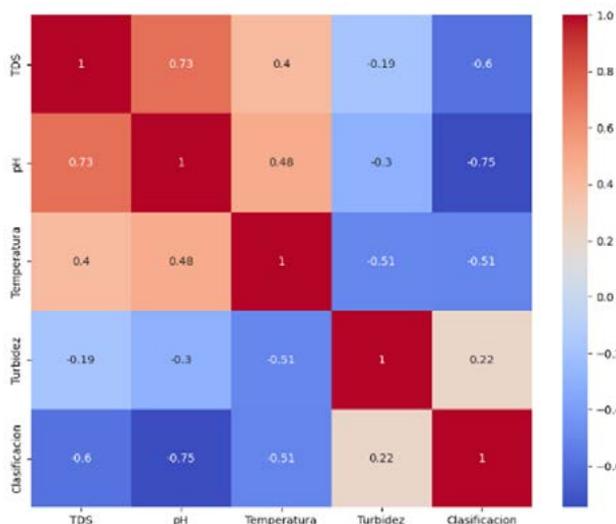
Figura 9
Matriz de Correlación de Pearson



Análisis de la Matriz de Correlación de Spearman

En el análisis de la correlación de Spearman entre las variables de calidad del agua, se observaron varios patrones significativos. La correlación entre TDS y pH fue alta y positiva (0.73), sugiriendo una fuerte asociación directa. La relación entre TDS y Clasificación fue negativa y moderada (-0.60), indicando que a mayores niveles de TDS, la clasificación de calidad del agua disminuye. El pH mostró una correlación negativa y alta con la Clasificación (-0.75), destacando una fuerte relación inversa. Por otro lado, la Temperatura presentó una correlación negativa moderada tanto con la Turbidez (-0.51) como con la Clasificación (-0.51), sugiriendo que temperaturas más altas están asociadas con menor turbidez y menor clasificación de calidad del agua.

Figura 10
Matriz de Correlación de Spearman

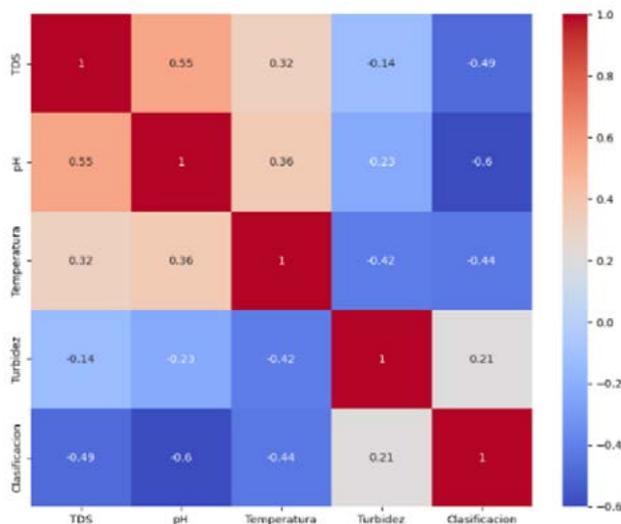


Análisis de la Matriz de Correlación de Kendall

En el análisis de la correlación de Kendall entre las variables de calidad del agua (TDS, pH, Temperatura, Turbidez y Clasificación), se identificaron varios patrones significativos. La correlación entre TDS y pH fue moderada y positiva (0.55), indicando una asociación directa. La

correlación entre TDS y Temperatura fue débil y positiva (0.32), mientras que la relación entre TDS y Turbidez fue débil y negativa (-0.14). Por otro lado, la Turbidez mostró correlaciones débiles y negativas con TDS (-0.14) y pH (-0.23), y una correlación moderada y negativa con Temperatura (-0.42). Finalmente, la Clasificación presentó correlaciones moderadas y negativas con TDS (-0.49), pH (-0.60), y Temperatura (-0.44).

Figura 11
Matriz de Correlación de Kendall



Discusión

El análisis estadístico ha permitido construir una matriz de correlación entre los diferentes parámetros de calidad del agua. Se ha determinado que el coeficiente de correlación de Spearman es el más adecuado para este conjunto de datos, ya que captura de manera más precisa las asociaciones presentes en datos no lineales, mismo que presenta correlaciones más fuertes y una mayor sensibilidad a las relaciones monótonas no lineales en comparación con los métodos de Pearson y Kendall. Además, los resultados obtenidos indican que los parámetros de calidad del agua monitoreados cumplen con los estándares establecidos por la OPS, lo que subraya la conformidad de los datos con las normativas internacionales (OMS, 2018).

Se ha logrado un diseño robusto en la construcción del PCB, empleando herramientas EDA avanzadas. Se asegura una disposición óptima de los componentes y una máxima eficiencia en la transmisión de señales. En comparación con la construcción de un PCB sin EDA ni reglas de diseño, que podría resultar en una disposición desordenada y menos eficiente, el uso de estas herramientas permite un diseño más preciso. Este dominio en el diseño proporciona una flexibilidad superior a las soluciones comerciales disponibles en el mercado, garantizando que cumpla exactamente con los requisitos establecidos.

Aunque los sensores utilizados mostraron precisión muy favorable al ser comparados con equipos comerciales, su desempeño podría verse influido por factores ambientales, como la temperatura o la humedad, lo que podría afectar la exactitud de las correlaciones de calidad del agua. No obstante, se considera que su precisión es adecuada para este estudio. Además, la necesidad de una conexión wifi estable para la transmisión de datos en tiempo real puede generar interrupciones en la recolección de datos en entornos urbanos con conectividad inconsistente, afectando la continuidad y calidad del análisis.

En general, se observa que, a diferencia de otros estudios en el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnologías IoT enfocados en áreas rurales con tecnologías de baja potencia, la presente propuesta está adaptada a entornos urbanos con redes wifi, lo que permite una transmisión más rápida y estable. Además, a diferencia de otros estudios que evalúan un conjunto limitado de parámetros, este proyecto emplea modelos de correlación para analizar de manera amplia las relaciones entre múltiples parámetros. De este modo mejora la precisión en la detección de patrones complejos y optimiza la monitorización en áreas urbanas.

Conclusiones

Se ha evidenciado que la implementación de un sistema IoT basado en microcontroladores es viable y eficiente para el monitoreo continuo de parámetros críticos de calidad del agua en entornos urbanos. Se logró diseñar y ensamblar un sistema autónomo que permite la recolección de datos en tiempo real y la conectividad constante con una determinada plataforma en la nube para el almacenamiento y análisis de datos, lo que asegura una monitorización confiable y accesible desde cualquier lugar con conexión a Internet.

En Quevedo, no se tiene registro de la implementación de sistemas similares, lo que resalta la novedad y el impacto potencial de este proyecto. Además, la experiencia en la construcción del sistema ha permitido desarrollar habilidades prácticas en la implementación y manufactura del PCB, así como habilidades técnicas en el diseño del sistema. La conectividad mediante wifi ha facilitado el uso de IoT para el monitoreo continuo, mientras que la ciencia de datos ha sido una herramienta clave para analizar e interpretar la información de manera eficiente y precisa, potenciando el análisis de estas variables.

Para evaluar las relaciones entre los parámetros de calidad del agua, la matriz de correlación de Spearman fue seleccionada como la herramienta más apropiada, debido a su capacidad para manejar datos que no siguen una distribución normal. Este enfoque ha permitido identificar correlaciones mucho más significativas que otros métodos. Este proyecto representa una contribución significativa para la toma de decisiones informadas en relación con la seguridad y el bienestar de los habitantes que consumen este recurso natural.

Finalmente, estos hallazgos fomentan una continua integración de análisis de datos avanzados, como el aprendizaje automático, el cual podría mejorar la precisión de los modelos predictivos desarrollados para la gestión del agua, en donde se lleve a cabo la identificación y modelado de correlaciones entre los parámetros de calidad del agua analizados en esta estudio junto con otros nuevos factores externos, como cambios estacionales, eventos climáticos extremos, o variaciones en el uso del suelo.

Referencias

- Acosta, S., Laines, B., & Piña, G. (16 de 04 de 2014). *Repositorio Academico UPC*. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/316022/ma148_manual_2014_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arquero Gallego, J. (2022). Obtenido de https://oa.upm.es/71917/3/TFG_Juan_Arquero_Gallego.pdf
- Candia, R., & Caiozzi, G. (17 de 09 de 2005). *Revista médica de Chile*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872005000900017
- Carriazo, Y. (1 de 09 de 2021). Obtenido de <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/15481>

- Daquilema Serrano, Á. (21 de 08 de 2020). *Espol*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56408>
- Faraldo, P., & Pateiro, B. (16 de 06 de 2013). USC. Obtenido de http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_G2021103104_EstadisticaTema1.pdf
- FasterCapital. (5 de 04 de 2024). *FasterCapital*. Obtenido de <https://fastercapital.com/es/contenido/Desviacion-estandar--como-calcularla-e-interpretarla.html>
- Francisco, J. (30 de 04 de 2020). Obtenido de <https://cifpn1.com/electronica/?p=6402>
- GAD Quevedo. (16 de 06 de 2020). *Gobierno autonomo descentralizado municipal de Quevedo*. Obtenido de <https://quevedo.gob.ec/plan-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-2019-2023/>
- Guevara, L., & Suntaxi, H. (18 de 10 de 2020). *ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23414/1/T-ESPE-044191.pdf>
- Hiru. (25 de 6 de 2024). Obtenido de <https://www.hiru.eus/es/matematicas/medidas-de-tendencia-central>
- Jan, F., Min-Allah, N., & Düstegör, M.-A. (14 de 01 de 2023). Obtenido de MPDI: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1729>
- Medina, F. (26 de 04 de 2024). Obtenido de https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/bio/guia-biologia3/Anexo_5.pdf
- Menéndez, P. (21 de 06 de 2023). *Ucrea*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/30240>
- Molina, M. (10 de 06 de 2021). Obtenido de https://evidenciasenpediatria.es/files/41-13993-RUTA/25_Fund_Correlacion_v2.pdf
- Muñoz, L. (2013). *Ecorfan*.
- OMS. (24 de 04 de 2018). Obtenido de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- OPS. (28 de 07 de 2008). Obtenido de <https://www.paho.org/es/documentos/guia-para-vigilancia-control-calidad-agua-situaciones-emergencia-desastre>
- Roque, A. S. (16 de 08 de 2020). *uaem*. Obtenido de <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1611/SERAQL08T.pdf?sequence=1>
- Semarnat. (14 de 02 de 2023). *Semarnat*. Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- Silvestre, S., Salazar, J., & Marzo, J. (01 de 2019). *UPCommons*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/190969>
- Teja, P. (8 de 9 de 2022). Obtenido de <https://www.mr-beam.org/es/blogs/news/que-es-un-codigo-g>

Pobreza Energética en Chorrera Mirador: Implementación y Monitoreo de un Sistema Híbrido Solar-Eólico

Energy Poverty in Chorrera Mirador: Implementation and Monitoring of a Solar-Wind Hybrid System

Hamilton Renato Quispillo Castañeda¹ <https://orcid.org/0009-0003-1684-2683>, Rafael Alexander Córdova Uvidia¹ <https://orcid.org/0000-0002-5326-3782>, Ángel Hetzhay Ordoñez Echeverría¹ <https://orcid.org/0009-0005-5861-5854>

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo GIDAC, Riobamba, Ecuador
hamilton.quispillo@epoch.edu.ec, rafael.cordova@epoch.edu.ec,
angel.ordoniez@epoch.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/23

Aceptado: 2024/10/03

Publicado: 2024/10/15

Resumen

Este trabajo estudia la pobreza energética en la comunidad Chorrera Mirador, de Chimborazo, Ecuador. La pobreza energética, definida como la incapacidad de cubrir necesidades básicas de energía como calefacción, cocción y refrigeración, afecta mayoritariamente a zonas rurales de América Latina. En Ecuador, esta problemática es más pronunciada en áreas rurales, donde más de la mitad de la población la padece. El artículo propone una metodología para medir la pobreza energética utilizando el índice de pobreza energética multidimensional (MEPI), que evalúa múltiples condiciones asociadas a esta problemática en los hogares. Los resultados revelan una pobreza energética moderada en la comunidad, lo que justifica la implementación de un sistema híbrido de energías renovables (SHER) solar y eólica para mitigarla. El SHER se dimensionó con base en la demanda diaria de energía y los recursos solares y eólicos disponibles en la zona. Se incluye un sistema de recolección de datos para monitorear la estabilidad del voltaje y la producción energética del sistema. Los resultados demuestran la funcionalidad del sistema y su capacidad para satisfacer la demanda energética de la comunidad. El estudio concluye que la implementación del SHER, junto con el uso de elementos de iluminación de bajo consumo, contribuye a mitigar la pobreza energética en la comunidad Chorrera Mirador, mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Además, el sistema de recolección de datos permite un análisis a largo plazo, lo que facilita la identificación de posibles mejoras y estrategias para optimizar su funcionamiento.

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

Como citar: Quispillo, H., Córdova, R. & Ordoñez, A. (2024). Pobreza Energética en Chorrera Mirador: Implementación y Monitoreo de un Sistema Híbrido Solar-Eólico. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 113-130. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/articulo/view/1187>

Palabras clave: Pobreza energética, Monitoreo, Arduino, Energía solar, Energía eólica, SHER.

Abstract

This work studies energy poverty in the community of Chorrera Mirador, located in Chimborazo, Ecuador. Energy poverty, defined as the inability to cover basic energy needs such as heating, cooking, and refrigeration, affects rural areas of Latin America. In Ecuador, this problem is exacerbated in rural areas, where more than half of the population suffers from it. The article proposes a methodology to measure energy poverty using the multidimensional energy poverty index (MEPI), which evaluates multiple conditions associated with this problem in households. The results reveal moderate energy poverty in the community, which justifies the implementation of a hybrid solar and wind renewable energy system (SHER) to mitigate it. The SHER was sized based on the daily energy demand and the solar and wind resources available in the area. A data collection system is included to monitor the voltage stability and power production of the system. The results demonstrate the functionality of the system and its ability to satisfy the energy demand of the community. The study concludes that the implementation of the SHER, together with the use of low-consumption lighting elements, contributes to mitigating energy poverty in the Chorrera Mirador community, improving the quality of life of its inhabitants. In addition, the data collection system allows for long-term analysis, which makes it easier to identify possible improvements and strategies to optimize its operation.

Keywords: Energy poverty, Monitoring, Arduino, Solar energy, Wind energy, SHER.

Introducción

En América Latina, la pobreza energética es un fenómeno ampliamente documentado, afectando a 221 millones de personas, especialmente en áreas rurales, donde los ingresos insuficientes no permiten cubrir necesidades básicas de energía como calefacción, cocción y refrigeración. En Ecuador, la pobreza energética es mayor en áreas rurales que en áreas urbanas, en donde encontramos que el 50,2 % de la población que vive en zonas rurales padecen de pobreza energética y el 25,6 % viven en condiciones de precariedad energética, aunque los porcentajes varían entre las regiones de Ecuador en función de las necesidades de energía (Chiriboga & Wallis, 2010, p. 5).

La pobreza energética se agrava más debido a factores económicos en las zonas rurales, donde existe inestabilidad de los ingresos. Esto provoca la pérdida del acceso a la energía por falta de pagos en algunos casos y en otros por costos asociados a la adquisición de equipo para la generación de energía. El desconocimiento sobre energías renovables limita las opciones para superar este problema. Esto justifica la necesidad de explorar alternativas energéticas sostenibles como los sistemas híbridos de energías renovables (SHER) (Quishpe et al., 2019, p. 16).

El acceso a la energía incide positivamente en la reducción de la pobreza energética; sin embargo, las energías renovables tienen ciertas características que benefician tanto al ambiente como a las personas debido a que no se produce contaminación a la hora de generar energía y resuelve la problemática de la pobreza energética al mismo tiempo. En comunidades que no cuentan con acceso fiable a la red eléctrica, un SHER solar-eólico ofrece una solución efectiva y sostenible para mitigar la pobreza energética, como se propone en este artículo. (Ibáñez Martín et al., 2022, p. 4).

Aunque la producción de energía renovable mediante SHER es una solución madura de energías renovables, existen factores meteorológicos y energéticos que deben ser analizados para

el funcionamiento del sistema. Una variable fundamental es el voltaje en las baterías, puesto que este parámetro está directamente relacionado con la cantidad de energía disponible y con la salud del sistema de almacenamiento.

La comunidad Chorrera Mirador se encuentra en la zona aledaña de las faldas del Chimborazo (Ecuador) y subsiste principalmente de la actividad turística para la generación de ingresos a los hogares. En esta zona rural se han implementado proyectos orientados al sector turístico de la zona mediante artesanías con los recursos disponibles y paquetes turísticos, pero hay pocos proyectos enfocados en mejorar la calidad de vida mediante soluciones de energía (Moposita Achachi, 2022, p. 56).

Por consiguiente, es pertinente realizar un estudio de la pobreza energética de la zona para evaluar si el impacto que tiene es agudo o moderado y también evaluar la necesidad de la implementación de un SHER, para aprovechar los recursos renovables de la zona de estudio. Al mismo tiempo, es necesario implementar un dispositivo que permita el monitoreo y almacenamiento constante de datos para el sistema.

En vista de lo expuesto, en este documento se estudia la pobreza energética en la comunidad rural Chorrera Mirador mediante la metodología del índice de pobreza energética multidimensional (MEPI). Luego, se incluye la implementación de un sistema híbrido de energías renovables (SHER) solar y eólica, para mitigar la pobreza energética en la zona de estudio. Finalmente, se estudia la instalación de un sistema para recolectar datos sobre la estabilidad de voltaje y observación empírica de la producción energética.

Este trabajo se divide en dos partes; la primera describe la evaluación de la pobreza energética en la zona de estudio, justificando la implementación de un sistema híbrido de energías renovables eólico y solar, y la segunda parte describe la evaluación de los recursos energéticos y la implementación del SHER junto con un sistema de monitoreo de datos.

Materiales y Métodos

Pobreza energética y cómo medirla

En las próximas décadas, el sector energético de Ecuador se enfrentará a grandes transformaciones que tienen que ver con la escasez de energías y la pobreza energética. Esta última ha pasado más desapercibida en la investigación académica tanto en comités internacionales como a nivel nacional, a pesar de que afecta la calidad de vida de millones de personas en los países en vías de desarrollo (González Eguino, 2014).

La relación entre energía y pobreza se agrava más en comunidades rurales de los países en vías de desarrollo debido a la dificultad de la obtención de energía. El reconocimiento del papel que desempeñan las energías renovables limpias para mejorar la calidad de vida ha tomado importancia a lo largo de los últimos años, ya que ayudan a reducir el consumo de energías no renovables que contaminan el ambiente y mitigan en cierta medida la pobreza energética de los hogares (García Ochoa, 2014).

Los indicadores disponibles para el estudio de la pobreza energética se describen a continuación; estas descripciones según Siksnyte-Butkiene et al. (2022, p. 3) y Santillán et al. (2020, p. 3) se refieren a cómo aplicar el indicador para calcular la pobreza energética.

- La regla del diez por ciento (TPR): El indicador tiene como finalidad comparar el gasto de energía en un mes con el porcentaje del ingreso mensual de cada hogar. Si el gasto en energía es mayor al 10% del ingreso del hogar, entonces existe pobreza energética en ese hogar durante ese mes.
- Pobreza energética oculta (HEP): Se compara el consumo energético anual de un hogar con el consumo anual promedio en el país de estudio. Si el consumo anual es menor que el consumo medio energético a nivel nacional, entonces existe pobreza energética.
- Indicador del doble de la mediana nacional (2M): Este indicador mide los ingresos del hogar y los compara con los gastos relacionados con todas las formas de energía. Si el gasto del hogar es mayor al doble de la mediana nacional, entonces existe pobreza energética.
- Mínimo ingreso estándar (MIS): Se basa en una comparación entre los ingresos de un hogar con los gastos que se realizan. Si dichos gastos del hogar sobrepasan los ingresos del hogar, se dice que un hogar sufre de pobreza energética (Calvo et al., 2021, p. 78).
- Bajos ingresos - alto costo (LIHC): Analiza un hogar pobre energéticamente en una situación cuando el gasto es más que la mediana del gasto de combustible de los hogares del país (Hills, 2012, p. 10).
- Indicador de pobreza después del costo de combustible (AFCP): Está relacionado con el indicador MIS y describe que un hogar es pobre energéticamente cuando es incapaz de pagar los servicios básicos esenciales referentes a fuentes de energía para cocción de alimentos, calefacción u otra actividad en el hogar (Hills, 2012, p. 16).
- Estadísticas de la Unión Europea sobre ingresos y condiciones de vida (EU-SILC): Es un indicador que utiliza los siguientes parámetros para analizar la pobreza energética de una manera subjetiva, los cuales se describen como la incapacidad para mantener el hogar adecuadamente cálido (o fresco) y las condiciones del hogar; como, por ejemplo, si la casa tiene goteras en el techo, paredes, pisos, cimientos húmedos, marcos de ventanas podridos. Atrasos en facturas de servicios públicos.

Para medir la pobreza energética en la comunidad rural Chorrera Mirador perteneciente a la provincia de Chimborazo se utilizaron herramientas llamadas indicadores de pobreza energética multidimensionales, los cuales evalúan varios aspectos del hogar. Los indicadores se seleccionaron en base a varios parámetros, que permitieron evaluar qué indicadores usar de acuerdo con ventajas y desventajas en la aplicación de cada indicador. En la tabla 1, a continuación, se muestra la validación para la selección de los indicadores que se usaron en este trabajo.

Tabla 1
Parámetros de selección para los indicadores de pobreza energética

INDICADORES		10%	HEP	LIHC	MIS	2M	AFCP	EU-SILC
Ventajas	Se puede adaptar a normas nacionales.	X	X	X	X	X	X	
	Se consideran otras necesidades humanas.			X	X		X	
	Se evalúa (parcialmente) la eficiencia energética de los hogares o las tecnologías utilizadas.			X				X

INDICADORES		10%	HEP	LIHC	MIS	2M	AFCP	EU-SILC
Ventajas	Se evalúa el confort térmico en la vivienda.					X		X
	Se evalúan las características de la vivienda.					X		X
	Fácil de calcular.	X	X			X		
	Fácil de comunicar.	X	X					
	Objetivo	X	X	X	X	X	X	
Desventajas	Particularmente sensible a los precios de la energía.	X	X					
	Umbral injustificado.	X						
	Dificultades para fijar objetivamente la renta mínima.				X		X	
	No es suficiente para una medición completa de EP.	X	X	X	X	X	X	X
	El indicador rara vez se actualiza.							X
	Subjetivo							X

Con las características analizadas, los cuatro mejores indicadores puntuados se aplicarán para el estudio de la pobreza energética. La condición de vivienda está incluida en el indicador de las Estadísticas de la Unión Europea, ya que es fácil calificar la vivienda mediante el uso de visualización y calificando subjetivamente si existe pobreza energética por este parámetro.

De todas estas herramientas para medir la pobreza energética, se evaluaron las mejores puntuadas y se seleccionaron los indicadores TPR, HEP y 2M. Debido a su naturaleza heterogénea, se utilizó la metodología MEPI (índice de pobreza energética multidimensional), además de también considerar la *Condición de la vivienda* que pertenece al indicador de las Estadísticas de la Unión Europea, para tener unos valores de evaluación más ajustados y considerar que la pobreza energética también está influenciada por la condición de la vivienda para mantener el confort.

Metodología MEPI

La metodología MEPI evalúa la pobreza energética analizando múltiples condiciones asociadas a la pobreza energética que experimenta un hogar. Los indicadores que usaremos para el análisis del MEPI se basaron en la disponibilidad de los datos, así como la relevancia que tendrán los indicadores en la cuantificación de la pobreza energética. El MEPI se calcula tal como se muestra en la ecuación a continuación:

$$M_{EPI} = E_{PIR} (I_{EP})$$

Donde:

M_{EPI} , índice de pobreza energética multidimensional.

E_{PIR} , tasa de incidencia de la pobreza energética.

I_{EP} , intensidad de la pobreza energética entre pobres energéticamente.

Los componentes de la ecuación para calcular el MEPI:

$$E_{PIR} = q / n$$

Donde:

q, número de hogares identificados como pobres energéticamente.

n, número total de hogares.

$$I_{EP} = \frac{\sum_q q_i (c_i)}{\sum_q q_i (k)}$$

Donde:

q_i, hogar identificado como pobre energéticamente, según el número de condiciones asociadas a la pobreza energética.

c_i, es la suma de puntajes asociados a la pobreza energética calculados para el hogar identificado en pobreza energética.

k, representa el número de indicadores.

De acuerdo con los autores Nussbaumer, Bazilian y Modi (2012, p. 11) considera valores que definirán cuán pobre energéticamente es un hogar. Si un hogar presenta un MEPI que sobrepase un ci de 0,3 se considerará energéticamente pobre. La pobreza energética también se la puede dividir en dos intervalos, cuando el M_{EPI} >0,9 de describe como pobreza energética aguda y cuando el M_{EPI} <0,6 de describe como pobreza energética moderada (Nussbaumer et al., 2012, p. 11).

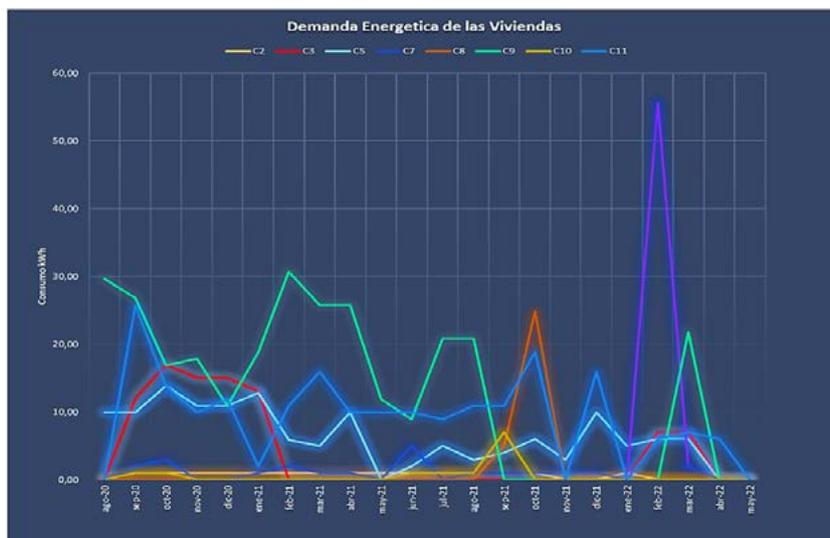
El cómo obtener los resultados de los indicadores se describen a continuación:

Consumo energético de los hogares

En la comunidad rural Chorrea Mirador existen un total de 11 hogares que registran consumo eléctrico mediante datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. De todos los datos proporcionados, se realizó un filtro que mantiene los datos de consumo estables como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Consumos más estables de los hogares de la comunidad Chorrea, Mirador



Se observan registros desde agosto del año 2020 hasta mayo del 2022. Para calcular la potencia pico necesaria se usarán los datos de consumo más estables durante el año 2021, como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2
Consumo de energía y promedio de las casas más estables de la comunidad Chorrera, Mirador en el año del 2021

Consumo Eléctrico en kWh												
	ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21	oct-21	nov-21	dic-21
Casa 5	12,83	5,87	5,00	9,89	0,00	1,96	5,00	2,93	3,91	5,98	2,93	9,89
Casa 9	18,80	30,65	25,76	25,76	11,85	8,91	20,76	20,76	0,00	0,00	0,00	0,00
Casa 11	1,96	10,87	15,87	9,89	9,89	9,89	8,91	10,87	10,87	18,80	0,00	15,87
Promedio	11,20	15,80	15,54	15,18	7,25	6,92	11,56	11,52	4,93	8,26	0,98	8,59

De acuerdo con la Tabla 2, el consumo promedio mayor es de 16 kWh y el consumo promedio menor es de 1 kWh, correspondientes a los meses de septiembre del febrero y noviembre del 2021, respectivamente.

Evaluación del recurso solar disponible en la zona

Dentro de las condiciones geográficas necesarias para la implementación de sistemas de producción de energía, a través de recursos renovables, la latitud, la altitud y los accidentes geográficos de la zona son importantes. La Figura 2 muestra una imagen de la zona vista desde el espacio que indica la comunidad rural Chorrera Mirador.

Figura 2
Ubicación geográfica de la comunidad rural Chorrera, Mirador



Cuando se evalúa el recurso solar de una zona de estudio, por lo general es el promedio diario de irradiación que viene en unidades de kilowatts hora sobre metro cuadrado (kWh/m²), aunque también es conocido como las horas solares picos y se refieren a la cantidad de radiación solar que recibe determinada localidad si el sol estuviese en su punto más alto por un número determinado de tiempo. En este caso, la evaluación para la implementación se realizará en horas (Aguiar Muñoz, 2022).

Para la terminación del potencial solar de la comunidad rural Chorrera Mirador, se utilizó la herramienta de software disponible en línea desarrollada por SOLARGIS. A continuación, en

la Figura 3, se presentan las condiciones solares de la zona de estudio junto con la irradiación global horizontal:

Figura 3
Irradiación global horizontal de la zona de implementación



La Tabla 3 muestra datos de la radiación solar horizontal (GHI) correspondiente a los meses del año 2019 en la comunidad rural Chorrera Mirador. Estos datos pueden contener una desviación de los valores originales debido a la precisión a partir de la localización realizada con las coordenadas GPS de la comunidad (Vaca Revelo & Ordoñez, 2019, pp. 18-29).

Tabla 3
GHI de la comunidad rural Chorrera, Mirador

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
GHI (kWh/m ² día)	5,1	5,15	4,85	5,1	5	4,9	4,5	5	5,4	4,9	5	5,2

Evaluación del recurso eólico

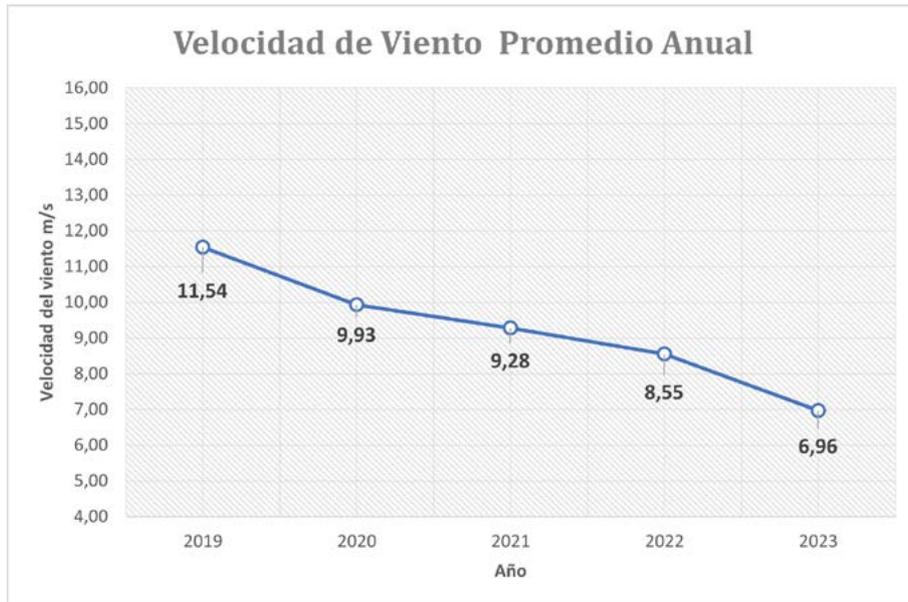
Los parámetros básicos para determinar el potencial eólico de una zona son: La velocidad del viento, la dirección del viento, la temperatura y presión del aire. Como un estándar internacional, la altura en la que se mide la velocidad del viento es a una altura de 10 m sobre el suelo y, aunque en la actualidad existan generadores de electricidad que utilizan viento que sobrepasan esa altura, para la implementación de este proyecto se tomará en cuenta el estándar internacional para la medición del viento (Aguar Muñoz, 2022, p. 54).

Por lo general, las turbinas eólicas a alturas menores a 10 m utilizan los datos de velocidad del viento a una altura de 10 m para poder ser dimensionadas correctamente. En la Figura 4 se muestra la velocidad del viento en la zona de estudio, cuyos datos fueron proporcionados por un centro meteorológico cercano a la zona de estudio.

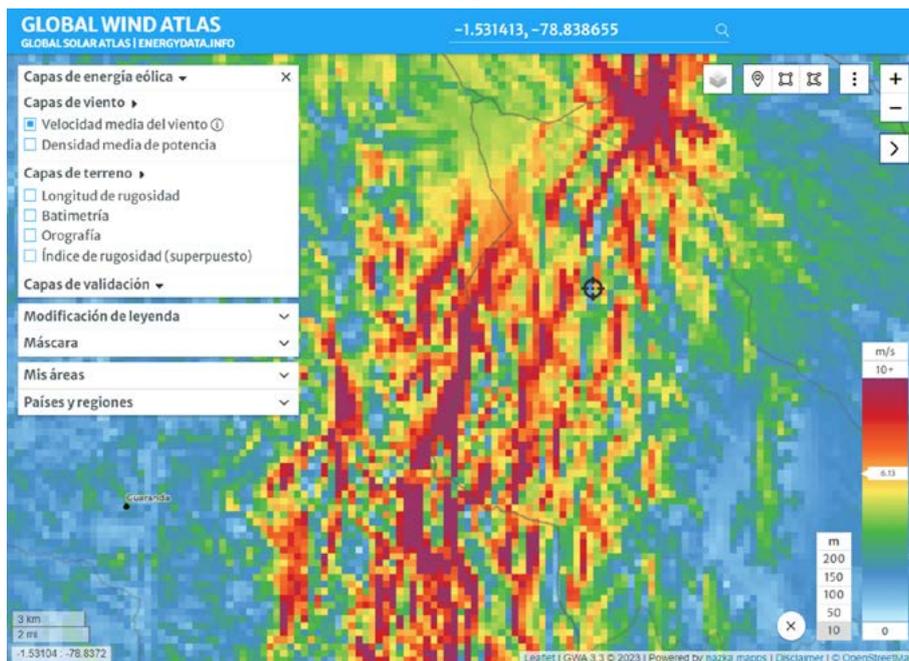
Según podemos observar en la Figura 4, la velocidad del viento en la zona a una altura de 10 m ha ido decayendo con el paso de los años. La velocidad del viento en 2023 es de 6,96 m/s. Adicionalmente, se realizó una validación utilizando el Wind Global Atlas (Global Wind Atlas, 2021). En la Figura 5 se observa la velocidad del viento en la zona de la comunidad rural Chorrera, Mirador.

Figura 4

Velocidad Promedio en el periodo 2019-2023 del Viento en la Zona Chorrera Mirador

**Figura 5**

Velocidad del viento en la zona de implementación, a una altura de 10m



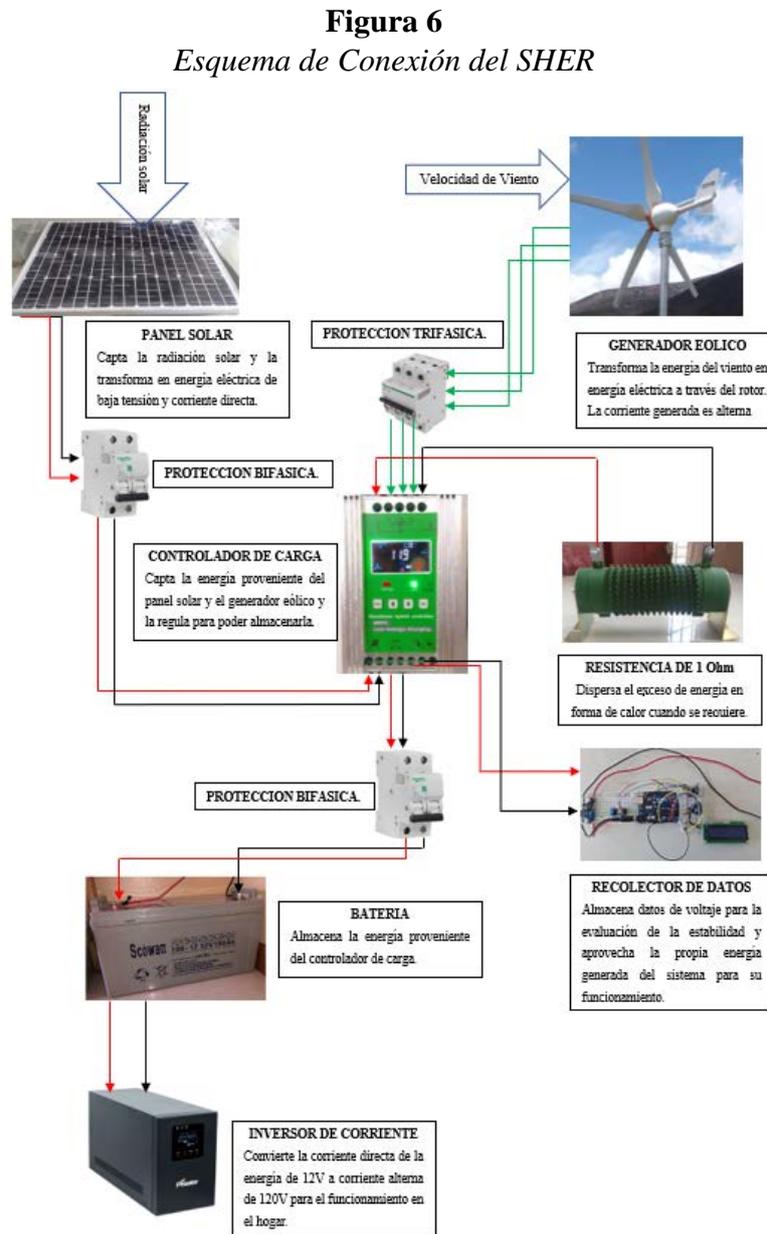
Basados en los datos presentados por el Centro Meteorológico y por el Atlas eólico en línea, podemos decir que la velocidad del viento oscila entre los 6 y los 7 m/s en la comunidad rural Chorrera, Mirador.

Dimensionamiento del SHER

Los sistemas de energías híbridas se dimensionan con base en la demanda diaria de energía que requiere el sistema, comparada con la energía que se puede extraer de los recursos solares y eólicos de la zona. Para ello se requieren los datos meteorológicos de la zona, ya que con base en estos se puede terminar cuánta energía se puede extraer de la zona en la que se va a implementar el sistema.

Se asume que la demanda de energía diaria será proporcionada de su totalidad por cada parte del sistema, y con esta base se realizan los cálculos necesarios para dimensionar las partes del sistema eólico-solar de energía. Aunque realizar los cálculos de esta manera produce un sobredimensionamiento, en parte es entendible debido a que los datos meteorológicos no son estables cuando se recolectan y se trabaja con un promedio.

De acuerdo con manuales de instalación, se propone un esquema para la conexión del SHER, la cual se describe en la Figura 6, a continuación:



Basándonos en los trabajos realizados por Villao Miranda (2021), Swart, Ghofrani y Jafari (2017), partimos de la premisa de que el cálculo y la selección de paneles solares parten de la demanda que se quiere cubrir para un intervalo de tiempo.

La selección de la turbina eólica depende del área de barrido; dicha área es necesaria para encontrar el diámetro requerido de la turbina. La energía total anual requerida se calcula en base a la energía que requiere el sistema en un día de consumo.

El controlador de carga es el puente que conecta el panel solar y la turbina eólica, transformando la energía que proviene de los componentes antes mencionados en corriente directa, la cual es almacenada en una batería para posteriormente transformarse en corriente alterna mediante un inversor. Para la selección de este elemento del sistema SHER se toma en consideración la corriente nominal de carga, la cual depende de la potencia nominal del panel y de la turbina eólica y se calcula mediante la siguiente ecuación (Córdova-Uvidia, 2021, p. 52).

Recolección de Datos

Para el SHER se propone un sistema para analizar el voltaje que los elementos de la turbina eólica y el panel solar proporcionan a la carga de la batería. Es importante analizar este factor debido a que hay que conocer si los sistemas independientes de generación de energía pueden proveer el suficiente voltaje para mantener el funcionamiento por un largo periodo de tiempo.

Para esta implementación se incorporó un solo circuito electrónico a la salida del controlador de carga, el cual revisará el voltaje de carga que administra este a la batería. Para ello se utilizan elementos electrónicos conectados a un controlador Arduino, encargado de ejecutar el código para recolectar los datos de manera óptima. La interfaz de Arduino cuenta con librerías que permiten la programación de múltiples elementos necesarios para registrar los datos de voltaje con su correspondiente dato de hora de registro.

Con ello se analiza cada elemento que compone este sistema de recolección de datos y el tratamiento para visualizar los datos en el computador o PC y generar la gráfica del comportamiento de voltaje.

Las librerías Arduino constan de comandos de entrada para reconocer todos los componentes que estén conectados a la placa Arduino. Los elementos que componen al sistema electrónico se describen a continuación en la Tabla 4:

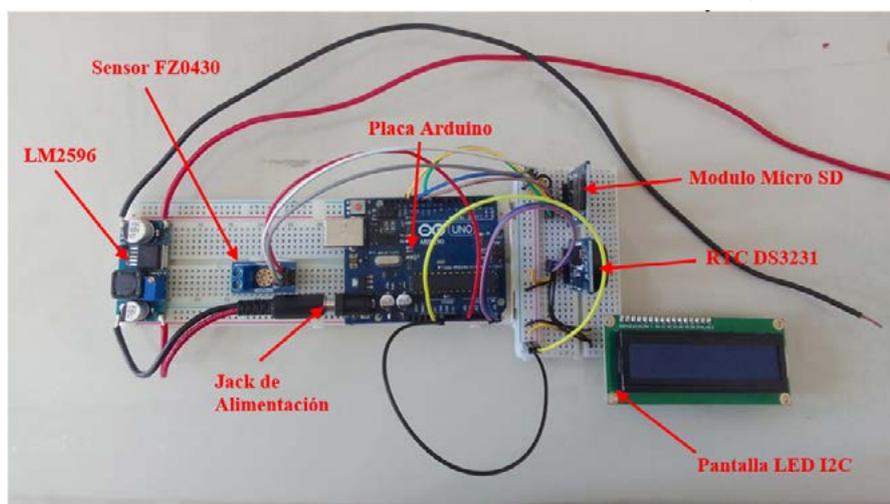
Tabla 4
Componentes del circuito electrónico con su funcionalidad

Circuito electrónico recolector de datos			
Cantidad	Código/Nombre	Librería Arduino Necesaria	Descripción
1	Placa Arduino UNO R3	Software Arduino IDE	Este es el componente central del circuito y es el encargado de ejecutar el código de programación y administrar la energía necesaria para el funcionamiento de los demás componentes del sistema de recolección de datos: Se necesita tener instalado el software Arduino IDE en el PC para poder validar y cargar el código en la placa.
1	Sensor de voltaje FZ0430	N/A	Este es el componente encargado de recolectar los datos de voltaje que proporciona el controlador de carga para cargar la batería. Tiene un rango de operación de entre 0 a 25V.
1	Reloj analógico RTC DS3231	DS3231	Este componente se encarga de mantener actualizada la fecha y la hora del circuito, y se usa para registrar el voltaje en determinado día y hora. Además, incluso si el circuito se quedase sin suministro de energía, la fecha y hora se mantienen actualizadas.

Circuito electrónico recolector de datos			
Cantidad	Código/Nombre	Librería Arduino Necesaria	Descripción
1	Modulo Micro SD	SD	Permite leer y escribir en tarjetas SD. Una vez que una tarjeta de memoria SD está conectada a la interfaz SPI de la placa Arduino o Genuino, puede crear archivos y leer/escribir en ellos. También puede moverse por los directorios de la tarjeta SD.
1	Pantalla Led I2C	LiquidCrystal_I2C	Este es un aditamento que permitirá vigilar que la tarjeta SD esté insertada de manera correcta para la escritura de datos; además, permite ver la hora y el dato de voltaje que se escribe en la tarjeta SD.
1	Regulador de Voltaje 3 A LM2596 con Jack de Alimentación	N/A	Este componente es el encargado de regular el voltaje del controlador de carga al circuito recolector de datos, bajando el voltaje para evitar quemar. Tiene un rango de voltaje de entrada de 4.5 V a 40 V DC y a la salida de 1.23 V a 37 V DC. La regulación se realiza mediante un potenciómetro.

Finalmente, con todas las conexiones del circuito Arduino, para la recolección de datos, tenemos el esquema de la Figura 7, que describe el montaje experimental de registro de voltaje. El sistema registra datos de manera constante, mientras se genera energía y así se analiza la estabilidad de voltaje durante la producción.

Figura 7
Circuito electrónico recolector de datos de voltaje



Los datos se almacenarán en un archivo de formato .txt, que se puede exportar a Excel para generar gráficas y realizar cualquier cálculo necesario. Estos datos se transformarán a gráficas para determinar los puntos pico donde el voltaje es muy alto o será muy bajo. De acuerdo con el análisis empírico se estimará que cuando existan picos altos de energía la irradiación solar será elevada o en casos contrarios se estimará que la velocidad del viento es muy elevada.

Experimento de Funcionamiento

Para demostrar la funcionalidad del sistema bajo condiciones de carga, se realizó un banco de pruebas que conectarán elementos que consumen potencia conectados de manera continua en paralelo hasta 3 cargas de 30W. Esto debido a que la potencia pico requerida al día es

de 84W, pero como se dimensionó el sistema con una sobredimensión de elementos que exceden los parámetros mínimos necesarios, permite redondear la carga hasta 90 W sin problema. Los elementos del banco de pruebas se muestran en la Tabla 5, a continuación.

Tabla 5
Elementos del Banco de Pruebas

Elemento	Característica	Cantidad
Focos LED	30 W	3 u
Conector	2 entradas	2 u
Boquilla para Foco	Atornillable	3 u
Cable	AC 120 V	6 m
Tabla Tríplex	50x65x1cm	1 u
Enchufe	Bifásico	1 u

Con estos elementos se construyó el banco de pruebas, que finalmente adquirió la configuración mostrada en la Figura 8:

Figura 8
Banco de Pruebas



La conexión de la Figura 8 muestra que las cargas están conectadas en paralelo debido a que cuando se conectan se suman las potencias, pudiendo así estresar el sistema lo necesario para simular el funcionamiento en un hogar. El tomacorriente sirvió para demostrar que se pueden cargar móviles con seguridad sin que exista fallos.

Resultados y Discusión

Metodología MEPI

Los resultados para la metodología MEPI se basaron en los indicadores TPR, 2M, HEP y condición de vivienda. Estos se obtuvieron mediante encuestas y diálogos con los moradores de la comunidad rural Chorrera. En la Tabla 6, a continuación, se indica la valoración de cada casa con el indicador aplicado. Se considera que, para la valoración de los indicadores, 1 representa pobreza energética y 0 representa que no existe dicha falencia.

Tabla 6
Valoración MEPI de la Comunidad Rural Chorrera Mirador

	Número de hogares	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Equivalencia
K=4	Indicadores												
1	10% (TRP)	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0,25
2	HEP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25
3	2M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25
4	Condición de la vivienda	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,25
	Condición de Pobreza Energética	0,50	0,50	0,25	0,75	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
	Casa Pobre Energéticamente	SI											

Una vez establecida la condición de pobreza energética de cada hogar, se observó que todas sufren pobreza energética y se demuestra que un solo indicador no es suficiente para demostrar la pobreza energética en un hogar.

A continuación, se calculó el valor total de pobreza energética de la comunidad mediante los valores especificados en la tabla 7. Dicho valor indica el valor de pobreza energética final MEPI de la comunidad en general.

Tabla 7
Valor final del MEPI en la comunidad rural Chorrera Mirador

Número Total de Hogares.	11		
Hogares con Pobreza Energética.	11		
Número Total de Indicadores.	4		
Tasa de Incidencia EPIR (q/n).	1		
Numerador.	C	q	C*q
	0,25	1	0,25
	0,5	8	4
	0,75	2	1,5
	1	0	0
Total, Numerador.	5,75		
Total, Denominador.	44		
Intensidad IEP	0,130681818		
MEPI.	0,130681818		

Para determinar el nivel de la pobreza energética mediante el MEPI, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

$MEPI > 0,9$ es pobreza Energética Aguda

$MEPI < 0,6$ es pobreza Energética Moderada

Si el valor de pobreza energética MEPI es menor a 0,6, se tiene una pobreza energética moderada, por lo que la implementación de un sistema híbrido de energías ayudaría a mitigar esta pobreza energética, en una medida que no afecte a la economía del lugar y se aproveche los recursos solares y eólicos de la zona.

Además, la implementación del SHER en hogares de la comunidad reduciría los costos que pagan los lugareños por luz eléctrica. Entonces se justifica la implementación de SHER mediante el análisis de la pobreza energética en la zona estudiada.

Figura 9
Implementación del SHER



La implementación en la zona de estudio, como se muestra en la Figura 9, se realizó con éxito. Se confirmó que los recursos para la generación energética son suficientes en la ubicación de la instalación. Todo el proceso se realizó con la supervisión de docentes expertos, que brindaron indicaciones sobre las conexiones y cómo adaptar los soportes adecuadamente.

Estabilidad de voltaje

Los datos recolectados, mediante la ayuda del circuito recolector de datos, permitieron revisar la estabilidad de voltaje del sistema, que por lo general es un tema poco abordado en la implementación de sistemas de alta potencia y en sistemas de energías renovables. Un análisis de estabilidad ayuda a detectar las horas críticas en las que el sistema puede llegar a ser inestable, pudiendo ayudar a mitigar estas inestabilidades mediante el uso de otras estrategias de ingeniería, o con el uso de conexiones a otros sistemas de energía alternativos (Cubillos Goyeneche, 2021).

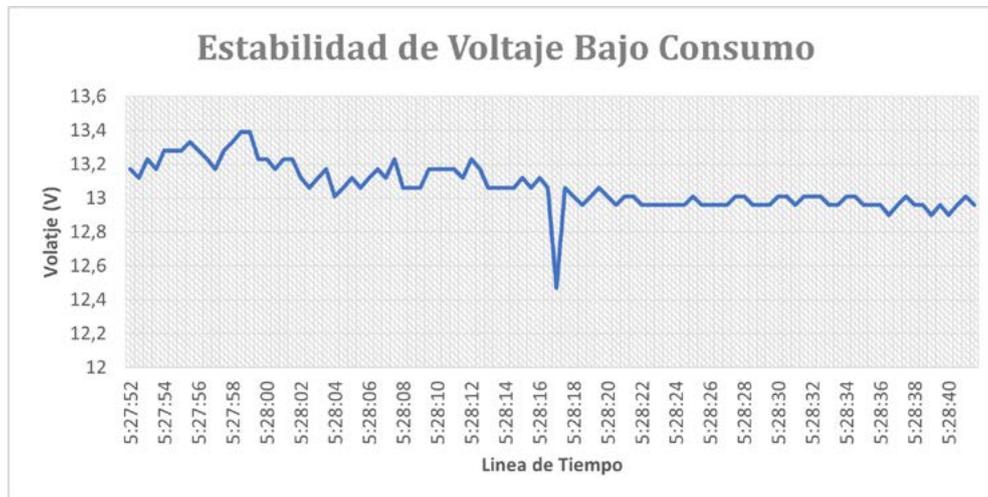
Se plantearon varios escenarios en los que la obtención de datos de voltaje ayuda a plantear estrategias a futuro para ayudar a reducir el impacto negativo de la inestabilidad del voltaje, que se traduce en tiempos en los cuales el sistema de generación de energía ya no mantiene un voltaje de carga constante y por lo tanto puede perder la potencia pico necesaria para seguir alimentando a los hogares que esté conectado. Además, también el análisis de estabilidad de voltaje ayuda a conocer los límites de operación del sistema tanto máximos como mínimos (Morales Cuásquer & Morillo Carrera, 2023).

Se observó que existe mejor estabilidad en el voltaje debido a que ambos sistemas de generación de energía se encuentran conectados y produciendo energía de manera más estable y aunque existen caídas en el voltaje, debido al consumo, el sistema rápidamente se repone de las caídas de voltaje; indica que la ubicación geográfica es adecuada para la generación de energía y además que el sistema produce suficiente energía para para abastecer la potencia pico requerida sin consumir demasiada energía de la batería. Al seguir esta premisa, se puede dar el caso en que el banco de pruebas podría haber consumido más energía que la que el sistema

podría producir, lo que conllevaría a volver a analizar la ubicación geográfica y recalcular las condiciones requeridas para la implementación del SHER. En la Figura 10 se muestra la estabilidad de voltaje del sistema cuando ambos sistemas están conectados.

Figura 10

Estabilidad de voltaje cuando existe consumo y se genera energía mediante panel solar y turbina eólica



Análisis empírico de los datos de voltaje

Este análisis empírico sólo puede ser llevado a cabo cuando se tienen los datos de generación de únicamente un elemento conectado a la vez, ya que cuando se conectan elementos externos como cargas de consumo, o si ambos sistemas están conectados a la vez, sería imposible determinar si existe o no una irradiación solar alta o velocidad de viento alta debido a que las gráficas en las que ambos sistemas están conectados se estabilizan entre sí debido a la generación alterna entre los dos elementos.

Los sistemas de energía híbridos destacan por su capacidad de compensar mutuamente los periodos de baja generación. Esto significa que, independientemente de cuál recurso esté produciendo energía en un momento dado, el sistema se adapta para satisfacer la demanda. El análisis de los datos del generador de voltaje es clave para este proceso. Si el voltaje disminuye, otro recurso energético se activa para compensar y mantener el suministro.

Una buena estabilidad de voltaje abarca la rápida recuperación del sistema al voltaje de carga o mantener una buena estabilidad sin tantas oscilaciones repentinas. En este proyecto se observó que los voltajes cambian radicalmente cuando solo trabaja un solo elemento conectado al sistema. Por otra parte, la estabilidad se mantiene de manera más uniforme cuando ambos sistemas trabajan conectados, indicando que las caídas de voltajes se compensan entre los sistemas y suministran un adecuado voltaje de carga.

El análisis empírico de los picos de voltaje, en las gráficas de los distintos escenarios en los que se tomaron los datos, permitió observar que un alto pico de energía es generado debido a una alta irradiación solar o una velocidad alta de viento y un bajo pico es generado por una baja radiación solar y velocidades bajas de viento. Este análisis es meramente observatorio, debido a que no se encuentran sensores que evalúen los datos meteorológicos con gran precisión.

Conclusiones

El estudio de la pobreza energética mediante indicadores y la metodología MEPI, permitió evaluar la pobreza energética en la comunidad Chorrera Mirador, perteneciente a la provincia de Chimborazo, donde como resultado se halló una pobreza energética moderada, que puede ser mitigada mediante el uso de sistemas de energías renovables.

La instalación de un sistema híbrido de energía renovable SHER de naturaleza solar-eólica se realizó con éxito, mostrando resultados adecuados a la situación de mitigación de la pobreza energética. El sistema cumplió con la potencia pico requerida, además de que el uso de elementos de iluminación de bajo consumo de potencia permitirá que la energía se distribuya a más hogares.

La implementación del circuito recolector de datos para monitorear la estabilidad del voltaje demostró ser una herramienta efectiva para el análisis a largo plazo. Este sistema permite el registro de datos, incluso en ausencia de supervisión constante, gracias a su reloj interno RTC. Sin embargo, una limitación es que mientras el circuito está desenergizado no se registran datos, lo que podría llevar a la pérdida de información durante periodos prolongados de inactividad del sistema.

El análisis de la estabilidad del voltaje es fundamental, no solo en el contexto de los SHER, sino también en plantas generadoras más grandes, como las hidroeléctricas. Las fluctuaciones en el voltaje pueden indicar periodos de inestabilidad que causan cortes de energía o dañan los sistemas conectados a la red. Aunque este estudio proporciona una base para entender la dinámica de voltaje en sistemas pequeños, futuras investigaciones podrían ampliar este análisis a otros contextos energéticos y evaluar cómo las variaciones en el voltaje afectan la durabilidad y eficiencia de los sistemas de generación.

Para trabajos futuros, se recomienda explorar mejoras en el diseño de los SHER, como la incorporación de mecanismos de orientación automática para optimizar la captación de energía solar y eólica. También sería beneficioso implementar sensores ambientales adicionales que permitan una mejor evaluación de los recursos disponibles y la identificación de soluciones para maximizar el potencial de generación eléctrica. Además, se podrían considerar estudios comparativos con otras comunidades rurales, para validar y adaptar la metodología aplicada en Chorrera Mirador a diferentes contextos.

Reconocimientos

Los autores reconocen y agradecen el apoyo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para la realización del presente trabajo técnico. Particularmente, extienden un agradecimiento al Decanato de Investigaciones por la gestión del Proyecto IDIPI-274.

Referencias

- Aguiar Muñoz, P. A. (2022). *Aprovechamiento de la energía residual en un sistema combinado de energías renovables para la producción de hidrógeno verde*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17208>
- Calvo, R., Álamos, N., Billi, M., Urquiza, A., & Contreras Lisperguer, R. (2021). *Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47216>
- Chiriboga, M., & Wallis, B. (2010). *DIAGNOSTICO DE LA POBREZA RURAL EN ECUADOR Y RESPUESTAS DE POLÍTICA PÚBLICA*. https://rimisp.org/wp-content/files_mf/files_mf/1366317392Diagnosti...pdf

- Córdova-Uvidia, R. A. (2021). *Diseño de un sistema de fabricación aditiva con fuentes de alimentación de energía renovable* [masterThesis]. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/12270>
- Cubillos Goyeneche, I. (2021). *Estimación del margen de estabilidad de voltaje en sistemas de potencia de baja inercia mediante PMUS*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180273>
- García Ochoa, R. (2014). *Pobreza energética en América Latina*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36661>
- González Eguino, M. (2014). *La pobreza energética y sus implicaciones*. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/14275/BC3WP201408.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hills, J. (2012). *Getting the measure of fuel poverty: Final report of the Fuel Poverty Review* (Monograph 72). Centre for Analysis of Social Exclusion. <http://sticerd.lse.ac.uk/case/>
- Ibañez Martín, M. M., Zabaloy, M. F., Reyes Pontet, M. D., Chaz Sardi, M. C., & González, F. A. I. (2022). ¿Cómo aliviar la pobreza energética a partir de energías renovables? Diseño de un ensayo aleatorio en barrios vulnerables. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 12(1). <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=arti&d=Jpr14794>
- Moposita Achachi, V. G. (2022). *Diseño de un producto turístico para las comunidades La Chorrera, Mirador y Pulínguí San Pablo de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/19155>
- Morales Cuásquer, C. D., & Morillo Carrera, K. A. (2023, agosto 16). *Impacto en la estabilidad de voltaje en el Sistema Eléctrico de Potencia ante contingencia N-2 con el ingreso de centrales fotovoltaicas*. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/36962/1/T-ESPEL-EMI-0462.pdf>
- Nussbaumer, P., Bazilian, M., & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: Focusing on what matters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 231-243. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>
- Quishpe, P., Taltavull de La Paz, P., & Juárez Tárraga, F. (2019). Energy Poverty in Ecuador. *Sustainability*, 11, 6320. <https://doi.org/10.3390/su11226320>
- Santillán, O. S., Cedano, K. G., & Martínez, M. (2020). Analysis of Energy Poverty in 7 Latin American Countries Using Multidimensional Energy Poverty Index. *Energies*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/en13071608>
- Siksnyte-Butkiene, I., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2022). Addressing sustainability issues in transition to carbon-neutral sustainable society with multi-criteria analysis. *Energy*, 254, 124218. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124218>
- Vaca Revelo, D., & Ordóñez, F. (2019). *Mapa Solar del Ecuador 2019*.

Implementación de un Dispositivo Inteligente para la Asistencia de Personas con Discapacidad Visual en Entornos Universitarios

Implementation of an Intelligent Device for the Assistance of People with Visual Impairment in University Environments

Néstor Rafael Salinas Buestán¹ <https://orcid.org/0000-0003-3814-9639>, Emily Tamara Miranda Briones¹ <https://orcid.org/0009-0002-5084-3076>, Ángel Iván Torres Quijije¹ <https://orcid.org/0000-0002-7037-7191>, Diego Fernando Intriago Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0003-4829-0089>, Diego Patricio Peña Banegas¹ <https://orcid.org/0000-0003-2108-4306>

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador
nsalinasb@uteq.edu.ec, emirandab@uteq.edu.ec,
atorres@uteq.edu.ec, dintriagor3@uteq.edu.ec,
dpena@uteq.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/30

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

Este proyecto surge como respuesta a la creciente necesidad global de soluciones tecnológicas inclusivas destinadas a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual. La motivación se fundamenta en abordar las barreras específicas que enfrentan estos individuos, con un enfoque particular en entornos universitarios. La metodología adoptada se centra en la convergencia de tecnologías de servicios web y comunicación en red, buscando promover la autonomía y seguridad de las personas con discapacidad visual. Un aspecto distintivo de este proyecto es la implementación de tecnología de bajo consumo de energía y largo alcance, marcando un enfoque pionero en este ámbito, mismo que no solo aborda la necesidad inmediata de soluciones inclusivas, sino que también contribuye al avance tecnológico al introducir soluciones eficientes y de alcance prolongado. A través de las pruebas realizadas, se alcanzan tiempos de respuesta muy cortos en términos de identificación de movimientos peligrosos como caídas y detección de objetos cercanos, mientras que el reconocimiento de caracteres requiere aún una mayor depuración. La innovación clave reside en la eficaz convergencia de tecnologías, estableciendo un nuevo estándar para soluciones inclusivas y sostenibles. Es decir, este proyecto no solo responde a una necesidad imperante, sino que también marca un hito significativo en

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

Como citar: Salinas, N., Miranda, E., Torres, A., Intriago, D., & Peña, D. (2024). Implementación de un Dispositivo Inteligente para la Asistencia de Personas con Discapacidad Visual en Entornos Universitarios. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 131-145. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1196>

la mejora de la inclusión para las personas con discapacidad visual, destacando su relevancia a nivel local y contribuyendo al avance global en este campo crucial.

Palabras clave: Discapacidad visual, Redes LPWAN, Servicios web, Sistema Embebido, Tecnologías inclusivas.

Abstract

This project arises in response to the growing global need for inclusive technological solutions aimed at improving the quality of life of people with visual impairments. The motivation is based on addressing the specific barriers these individuals face, with a particular focus on university environments. The methodology adopted focuses on the convergence of web services and networked communication technologies, seeking to promote the autonomy and safety of visually impaired people. A distinctive aspect of this project is the implementation of low power consumption and long-range technology, marking a pioneering approach in this field, which not only addresses the immediate need for inclusive solutions; but contributes to technological advancement by introducing efficient and long-range solutions. Through testing, very short response times are achieved in terms of identifying dangerous movements such as falls and detecting nearby objects, while character recognition still requires further refinement. The key innovation lies in the effective convergence of technologies, setting a new standard for inclusive and sustainable solutions. In other words, this project not only responds to a pressing need, but also marks a significant milestone in improving inclusion for the visually impaired, highlighting its relevance at the local level and contributing to global progress in this crucial field.

Keywords: Visual Impairment, LPWANs, Web Services, Embedded System, Inclusive Technologies.

Introducción

En un contexto global, este proyecto surge como respuesta a la creciente demanda de soluciones tecnológicas inclusivas destinadas a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que más de 1000 millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; es decir, alrededor del 15 % de la población mundial, de las cuales unos 314 millones tienen deficiencias visuales por condiciones oculares o errores de refracción sin corregir. De esa cifra, 45 millones son ciegos. Estas realidades resaltan la urgencia de abordar las necesidades específicas de estos grupos de la población a través de soluciones innovadoras (Ghebreyesus, 2019).

A nivel mundial, existe un reconocimiento creciente de la importancia de la tecnología para fomentar la autonomía y la seguridad de las personas con discapacidad visual. Según el informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), más del 90% de las personas con discapacidades visuales viven en países de ingresos bajos y medianos, lo que destaca la necesidad de soluciones accesibles y asequibles (Bogdan-Martin, 2020). En el contexto particular de Ecuador, según la información del Registro Nacional de Discapacidad, se calcula que aproximadamente 480,776 personas presentan alguna forma de discapacidad. De este grupo, 55,478 individuos encuentran dificultades en su rutina diaria a causa de problemas visuales. Con base en lo expuesto, es imperante buscar soluciones que brinden un aporte considerable al entorno ecuatoriano, donde la inclusión y la accesibilidad son elementos de suma importancia y necesidad, en busca de cerrar la brecha en el acceso a servicios y oportunidades a personas con estas limitaciones (Discapacidades, 2022).

Para delimitar el alcance de este proyecto, la implementación del dispositivo se centra exclusivamente en la orientación en campus universitarios, demostrando una adaptación cuidadosa a las necesidades específicas de las personas con discapacidad visual dentro del entorno académico. Este enfoque regional responde a la urgente realidad local, considerando que en las provincias de los Ríos, 154 de estas personas enfrentan una discapacidad visual que va del 85% al 100% de afectación. Esta estrategia se alinea con la búsqueda en Ecuador de integrar tecnologías innovadoras para mejorar la experiencia educativa y la movilidad de aquellos con discapacidad visual en el ámbito universitario (Discapacidades, 2022).

La tecnología juega un papel crucial en este proyecto no solo en la comunicación eficiente entre el dispositivo y la nube, sino también en un marco global de avances tecnológicos destinados a cerrar brechas de accesibilidad y promover la inclusión. Un aspecto fundamental del proyecto es abordar problemas específicos identificados por personas con discapacidad visual en entornos nuevos o comunes, como la detección de caídas, la identificación de objetos próximos y la lectura de letreros. Estas áreas han sido identificadas a partir de la revisión de un estudio que destaca estos problemas como los más críticos para la ubicación y navegación en campus universitarios (Estella, Santos, & Arellano, 2011).

Trabajo relacionado

El proyecto denominado Prototipo de bastón inteligente para personas con limitación visual, se enfoca específicamente en abordar las limitaciones de movilidad de personas con discapacidad visual al diseñar un bastón que incorpora funciones avanzadas. Su énfasis se centra en la detección de obstáculos y la implementación de un sistema GPS para generar alertas y permitir el monitoreo en tiempo real a través de una aplicación web (Marcillo Parrales & Collantes Rodríguez, 2020). La investigación asociada a este proyecto se alinea con este trabajo, donde se busca destacar la mejora continua en la movilidad y seguridad de las personas con discapacidad visual.

El proyecto denominado “Visión Artificial por Alertas de Voz y Movimiento para Personas con Discapacidad Visual en la Biblioteca de no Videntes de la Universidad Técnica de Ambato”, emplea tecnologías de visión artificial que emiten alertas de voz y movimiento para guiar a las personas invidentes de manera segura, mejorando así su capacidad de navegar por la universidad sin depender de un guía (Brito Moncayo & Yanchatuña Aguayo, 2016). Esta investigación se relaciona con este trabajo, ya que su proyecto busca ampliar este enfoque mediante la incorporación de tecnologías de visión artificial para guiar a las personas. La propuesta incluye sensores adicionales para ofrecer información contextual detallada sobre el entorno, mejorando aún más la experiencia de navegación para las personas con discapacidad visual.

El trabajo denominado “Gafas Inteligentes como Herramienta de Asistencia para Lectura y Reconocimiento del Entorno para Personas con Discapacidad Visual”, propone un prototipo de gafas con características avanzadas, como un lector audible de textos mediante la integración de la API de Google Cloud Visión y el reconocimiento de objetos mediante la implementación y configuración de la red neuronal Mobile Net V3, impulsado por algoritmos de inteligencia artificial (Basantes Varela & Chalaco Chamba, 2019). Esta investigación se vincula directamente con este trabajo, donde se busca estratégicamente mejorar la comunicación de emergencia de manera significativa, asegurando una respuesta rápida ante situaciones críticas. En este contexto, se destacará la importancia crucial de la tecnología en aplicaciones específicas de seguridad y asistencia en tiempo real.

En el proyecto técnico denominado “Gafas Especiales con Capacidades Avanzadas de Detección de Obstáculos y un Sistema de Ubicación para Casos de Emergencia”, se complementa con el desarrollo de una aplicación móvil que ofrece el reconocimiento de billetes de cualquier denominación, dirigido especialmente para brindar asistencia a personas con discapacidad visual (Guillen Peñarreta & Vizhñay Aguilar, 2016). Esta investigación se relaciona estrechamente con este proyecto, y la mejora significativa radica en la integración de tecnologías en las gafas inteligentes. El objetivo principal de esta integración es optimizar la conectividad del dispositivo, permitiendo una transmisión de datos más eficiente hacia la nube.

Materiales y Métodos

Se planteó desarrollar, un dispositivo de asistencia que permite a las personas con discapacidad visual moverse de manera autónoma y segura dentro de un campus universitario. El dispositivo combina tecnologías de detección de objetos y lectura de letreros para proporcionar una experiencia de orientación fluida y confiable.

Está diseñado para detectar obstáculos y reconocer la señalética de letreros dentro del campus universitario de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Utiliza sensores avanzados como LIDAR y cámaras de alta resolución, junto con algoritmos de procesamiento de imágenes, para identificar y localizar objetos en el entorno del usuario. Además, incorpora un sistema de reconocimiento de texto (OCR, Optical Character Recognition) para leer letreros y proporcionar la información necesaria al usuario a través de una interfaz de audio.

Se determinaron todos los procesos sistemáticos necesarios para la implementación del dispositivo y su comunicación con la nube. Esto incluyó el análisis de requisitos, la elaboración de casos de uso, el diseño del diagrama de clases y el modelo de datos. Se desarrollaron prototipos funcionales y se realizaron pruebas en entornos controlados para garantizar la precisión y la fiabilidad del sistema antes de su despliegue en el campus.

Metodologías aplicadas

Se aplicaron los siguientes métodos para construir y validar el dispositivo inteligente.

Figura 1
Métodos de Investigación



Observación de Variables del Entorno

La metodología incluyó la observación en escenarios clave dentro del campus universitario para evaluar la efectividad del dispositivo en diferentes entornos:

Ingreso a la Universidad: Se realizará la prueba del dispositivo en el área de ingreso al campus, un entorno de alto tráfico peatonal. El objetivo será evaluar la capacidad del sistema

para reconocer objetos, personas o animales a una distancia mínima de un metro antes de cualquier posible colisión. Esto permitirá analizar si el dispositivo es capaz de alertar al usuario con suficiente antelación, facilitando una reacción segura.

Biblioteca Universitaria: En este entorno cerrado, el dispositivo será evaluado en su capacidad para navegar entre mesas y sillas distribuidas de manera irregular. Además, se probará su habilidad para reconocer letreros informativos ubicados en áreas con iluminación adecuada y a distancias cercanas. Este escenario se utilizará para comprobar la eficiencia del dispositivo en entornos interiores complejos, donde los obstáculos y las señales visuales juegan un papel crucial en la asistencia al usuario.

Pasillos Universitarios: El dispositivo será probado en pasillos que contienen carteles a diferentes alturas y tamaños bajo condiciones de iluminación variable. Se evaluará su capacidad para leer y reconocer estos carteles, así como para detectar caídas. Las caídas serán definidas por cambios en el rango de inclinación y/o impacto, detectados por el acelerómetro y giroscopio del dispositivo. Se establece un umbral específico para evitar falsos positivos, distinguiendo entre inclinaciones normales y caídas reales.

Las pruebas se llevarán a cabo bajo un análisis detallado de cómo el dispositivo maneja diversas variables en entornos complejos. Se visualizará los escenarios y la implementación de las alertas de caída. Es relevante señalar que, dado que el dispositivo se encuentra en fase de desarrollo, la metodología se centrará en las tres variables principales: detección de caídas, detección de objetos próximos y lectura de letreros. El dispositivo seguirá evolucionando para mejorar su funcionalidad y precisión en futuras versiones.

Análisis Comparativo de Modelos

Se llevó a cabo un análisis comparativo de diversos modelos y enfoques existentes, fundamentado en estudios previos relacionados con la predicción y mejora del rendimiento de dispositivos similares. Este análisis se focalizó en identificar las ventajas y desventajas de cada modelo en relación con las variables observadas, proporcionando así una justificación para el diseño del nuevo dispositivo propuesto.

Tabla 1
Análisis de los Modelos

Variable	Modelo 1 (Bastón Inteligente)	Modelo 2 (Visión Artificial en Biblioteca)	Modelo 3 (Gafas Inteligentes)	Modelo Propuesto
Distancia Detectada	Media (detección de obstáculos y GPS).	Alta (detección de obstáculos y alertas de voz).	Alta (reconocimiento de objetos y entorno).	Alta (detección de obstáculos y letreros).
Precisión de OCR	No aplica.	Media (alertas de voz).	Alta (lector audible de textos).	Muy alta (OCR avanzado para letreros).
Consumo Energético	Alto (GPS y sensores).	Medio (sensores de visión artificial).	Bajo (red neuronal y algoritmos IA).	Bajo (LIDAR, cámaras, OCR).
Facilidad de Uso	Media (requiere aplicación web).	Alta (alertas de voz y movimiento).	Muy alta (integración con IA y API de Google).	Muy alta (integración con múltiples tecnologías).
Ventajas	Detección de obstáculos y sistema GPS para monitoreo en tiempo real.	Uso de alertas de voz y movimiento para guiar a personas con discapacidad visual.	Reconocimiento de objetos mediante IA y lector audible de textos.	Detección de obstáculos y letreros, integración de múltiples tecnologías.

Variable	Modelo 1 (Bastón Inteligente)	Modelo 2 (Visión Artificial en Biblioteca)	Modelo 3 (Gafas Inteligentes)	Modelo Propuesto
Desventajas	Alto consumo energético y dependencia de una aplicación web.	Limitación en la precisión del OCR y la adaptabilidad en entornos complejos.	Complejidad en la implementación y posibles desafíos en el consumo energético.	Requiere integración de múltiples tecnologías, lo que puede complicar el desarrollo.

Implementación

En función de los requisitos del sistema y las condiciones del entorno, se definieron tres etapas para la implementación del dispositivo:

Análisis de Tecnologías de Comunicación: Se evaluaron diversas tecnologías inalámbricas de bajo consumo, teniendo en cuenta la eficiencia energética y la calidad de transmisión requerida para el dispositivo.

Diseño Electrónico del Sistema Embebido: Se seleccionaron componentes electrónicos óptimos en términos de costo-beneficio, y se diseñó la arquitectura de red necesaria para conectar el dispositivo a la nube, utilizando tecnologías de radio acceso de bajo consumo y largo alcance.

Pruebas y Validación: Se realizaron pruebas técnicas de reconocimiento de imágenes y comunicación de datos, así como pruebas de usabilidad con voluntarios, para validar la efectividad del dispositivo en condiciones reales.

Análisis de las tecnologías para la comunicación efectiva de largo alcance y bajo consumo energético.

Este análisis es fundamental para la toma de decisiones respecto a la implementación de soluciones tecnológicas que no solo permitan una comunicación eficaz de largo alcance, sino que también optimicen el consumo energético, asegurando así la viabilidad y sostenibilidad del dispositivo desarrollado.

Tabla 2
Análisis de las tecnologías de comunicación

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LoRaWAN	Amplia cobertura geográfica.	Infraestructura y cobertura variable.
	Bajo costo de implementación.	
	Diseñada para aplicaciones de bajo consumo de energía	Dependencia de la colaboración comunitaria.
Sigfox	Bajo costo de implementación.	Limitado a mensajes pequeños (12 bytes).
	Baja tasa de transferencia de datos.	No es bidireccional.
	Diseñada para aplicaciones de baja frecuencia.	
NB-IoT (Narrowband Internet of Things)	Utiliza infraestructuras existentes de redes móviles.	Menor velocidad de transmisión.
	Mayor capacidad de conexión simultánea.	Implementación más costosa.
LTE	Velocidades de transmisión más altas que NB-IoT.	Menor cobertura en comparación con NB-IoT.
	Mayor capacidad de carga que NB-IoT.	Implementación más costosa.
	Utiliza infraestructuras existentes de redes móviles.	

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Weightless	Rango de alcance significativo.	Menor cantidad de implementaciones y dispositivos compatibles.
	Eficiente en términos de consumo de energía.	
	Bajo costo de implementación.	Menor velocidad de transmisión.
Symphony Link	Seguridad mejorada a través de cifrado de extremo a extremo.	Menor penetración en comparación con tecnologías celulares.
	Capacidad de gestionar grandes cantidades de dispositivos.	Costo inicial más alto para implementación.
	Baja latencia para aplicaciones críticas en tiempo.	Menor disponibilidad de infraestructura en comparación con LTE.

En la Tabla 2 se contextualizan las diversas tecnologías y la elección de LoRaWAN para dispositivos de asistencia; esta se basó en su eficiencia energética vital para operación continua, comunicación de largo alcance para cobertura extensa, en este caso para entornos universitarios, y bajo costo de implementación, crucial en presupuestos limitados. Estas características aseguran una experiencia ininterrumpida para usuarios con discapacidad visual, permitiendo el acceso a la asistencia en diversas ubicaciones del entorno.

Adicionalmente, LoRaWAN ofrece flexibilidad en la implementación debido a su arquitectura de red adaptable, permitiendo escalabilidad a medida que aumentan las necesidades de los usuarios y el tamaño del campus. Su capacidad para integrarse con sistemas existentes y su compatibilidad con una variedad de sensores y dispositivos facilitan una integración fluida y eficiente. Este enfoque no solo mejora la calidad de vida de la población con discapacidad visual, sino que también proporciona una infraestructura robusta para futuras expansiones tecnológicas.

Si bien tecnologías como Wi-Fi (Wireless Fidelity) en todas sus versiones, proporciona un envío y recepción de grandes volúmenes de datos a tasas de transferencia elevadas, tiene una limitante en su rango de cobertura, por esta razón en la Tabla 2 no se han considerado tecnologías que tengan como base el estándar IEEE 802.11. Debido a la naturaleza de comunicación en entornos IoT, los paquetes que viajan en este tipo de redes, demandan poco ancho de banda; es decir, los paquetes alcanzan un tamaño por lo general de algunos bytes, por lo que solo se exponen tecnologías que cumplan con este criterio, resultando LoRaWAN como la opción preferida para garantizar una asistencia continua y fiable dentro del radio de cobertura (campus principal universitario: 500 metros aproximadamente), alineada con las demandas y expectativas del usuario.

Diseño de la arquitectura de red y del sistema embebido destinado a la detección de objetos y la geolocalización.

En esta sección, se presenta el resultado del diseño de la arquitectura de red y del sistema embebido destinado a la detección de objetos y la geolocalización en el dispositivo inteligente.

Potencia de Procesamiento

Se presenta (Tabla 3) una evaluación detallada de la potencia de procesamiento de uno de los componentes clave considerados en el diseño de la arquitectura:

Tabla 3
Comparativa de Procesadores

	RASPBERRY PI 4	ODROID XU4	NVIDIA JETSON NANO	INTEL NUC815BEH
PROCESADOR	ARM Cortex-A72 (Quad-core)	ARM Cortex-A55 (Octa-core)	ARM Cortex-A57 (Quad-core)	Intel Core i5 (Quad-core)
FRECUENCIA DE RELOJ	1.5 GHz	2.0 GHz	1.43 GHz	1.6 GHz
GPU INTEGRADA	VideoCore VI	Mali-T628 MP6	Maxwell GPU	Intel Iris Plus Graphics 655
RENDIMIENTO DE GPU	500 MHz	600 MHz	921.6 GFLOPS	1.1 TFLOPS
RAM	2 GB, 4 GB o 8 GB LPDDR4	2GB o 4GB LPDDR3	4GB LPDDR4	8GB DDR4
ARCHIVOS INTERNOS	Ranura para tarjeta microSD	eMMC, Ranura para tarjeta microSD	Ranura para tarjeta microSD	Ranura M.2, SATA
CONSUMO DE ENERGÍA	2.7 W (Idle), 7.6 W (Carga máxima)	5W (Idle), 10W (Carga máxima)	5W (Idle), 10W (Carga máxima)	28 W (Idle), 65 W (Carga máxima)

La elección de Raspberry Pi 4 como componente principal se basa en una cuidadosa consideración de varios factores cruciales. La combinación de su procesador ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos, GPU VideoCore VI, y opciones flexibles de memoria RAM permite un equilibrio ideal entre rendimiento y eficiencia para las aplicaciones específicas de detección de objetos y geolocalización. Además, su bajo consumo de energía y la posibilidad de expansión mediante tarjetas microSD lo hacen especialmente adecuado para el dispositivo inteligente propuesto, garantizando un rendimiento sólido y eficiencia energética.

Comparativa de los Módulos de Comunicación Inalámbrica y Sensores

En esta sección se realiza una evaluación detallada de los componentes clave utilizados en el diseño de la arquitectura, centrándose en la comunicación inalámbrica y los sensores. Luego de la Tabla 4, se proporciona una breve justificación para la elección de cada sensor utilizado en la arquitectura.

Tabla 4
Comparativa de Componentes sensoriales

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
CÁMARA	Raspberry Pi 3, 5MP, 1080p	Sony IMX477, 12.3MP, 4K	Arducam 13MP (OV13850)
MÓDULO GPS	NEO-6M-0-0011	Ublox NEO-M8N (GPS, GLONASS, Galileo)	Adafruit Ultimate GPS Breakout
MÓDULO LORA	Ra-02, ESP32 Lora IOT	Dragino LG01-P	RN2483
SENSOR ULTRASÓNICO	HC-SR04 (4m rango, 0.3cm resolución)	Maxbotix MB1240 (7m rango, alta precisión)	JSN-SR04T (20m rango, IP65)
SENSOR DE INCLINACIÓN	MPU-6050	MPU-9250 (9-DOF, incl. magnetómetro)	Adafruit 10-DOF (9-DOF + Barómetro)
GATEWAY LORA	ESP32 Lora IOT	Kerlink iFemtoCell (Indoor Gateway)	Multitech Conduit (Outdoor Gateway)

Los criterios de evaluación permiten una comparación sistemática de las diferentes opciones disponibles, facilitando la identificación de los componentes que mejor se adaptan a las necesidades específicas del proyecto.

Tabla 5
Crterios de la comparativa de los componentes.

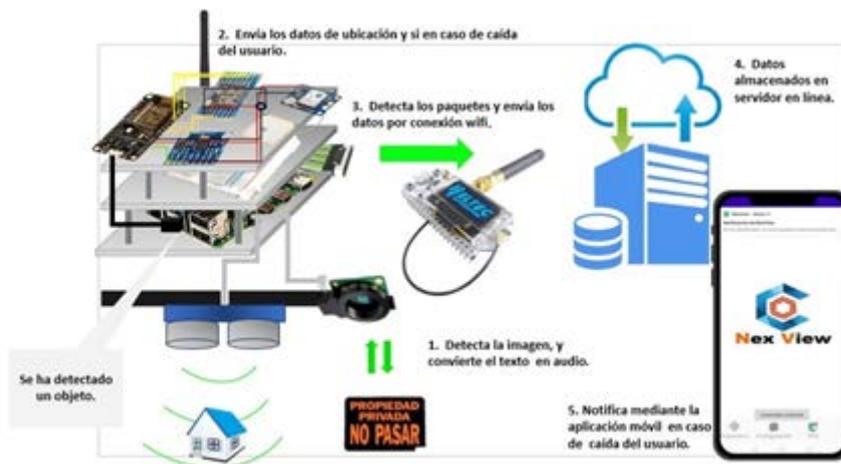
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
RESOLUCIÓN DE LA CÁMARA	5MP, 1080p.	12.3MP, 4K.	13MP.
PRECISIÓN DEL MÓDULO GPS	Básica.	Alta, soporte de múltiples satélites.	Alta precisión y rápida adquisición.
RANGO DE COMUNICACIÓN LORA	Básico, adecuado para pequeñas distancias.	Amplio alcance y capacidad para obstáculos.	Rango dedicado para comunicación fiable.
ALCANCE DEL SENSOR ULTRASÓNICO	4m, 0.3cm resolución.	7m, alta precisión.	20m, IP65 resistencia.
SENSIBILIDAD DEL SENSOR DE INCLINACIÓN	Acelerómetro y Giroscopio.	9 - D O F , i n c l u y e magnetómetro.	10-DOF, incluye barómetro.
COBERTURA DEL GATEWAY LORA	Extensa cobertura.	Diseñado para interiores.	Robusto para exteriores.

Las tablas previas indican los componentes elegidos bajo un análisis cuidadoso de las necesidades específicas del sistema, priorizando la eficiencia, la precisión y la facilidad de integración para ofrecer una experiencia mejorada a los usuarios con discapacidad visual.

Arquitectura del sistema embebido

Este diseño radica en establecer una infraestructura eficaz que permita la comunicación fluida entre los componentes internos del dispositivo inteligente.

Figura 2
Arquitectura del sistema embebido



La Figura 2 demuestra la unidad de procesamiento, centralizada en la Raspberry Pi 4, la cual desempeña un papel fundamental al ejecutar tareas esenciales como el procesamiento de imágenes, la ejecución de algoritmos de detección y la gestión de la comunicación entre los distintos componentes. Cuenta con sensores integrados, como el ultrasónico y de inclinación, que complementan la información de la cámara para la identificación de objetos y la orientación del dispositivo. La implementación del algoritmo de detección de objetos mediante OpenCV mejora significativamente la capacidad del sistema para proporcionar información contextual precisa en tiempo real.

La conexión con LoRaWAN asegura una comunicación efectiva y de largo alcance entre el dispositivo inteligente y otros elementos del sistema, como el Gateway LoRaWAN y el servidor web, mientras que la conexión con el servidor web y la base de datos facilita el almacenamiento y recuperación eficiente de información relevante. La integración de WebSockets permite la interacción en tiempo real con la aplicación instalada en el dispositivo, posibilitando la transmisión instantánea de información procesada y actualizaciones al usuario, mismo que cumple con el rol de los cuidados en caso de accidente de la persona no vidente.

Debido a la elección de los componentes definitivos, para efectos de portabilidad y ergonomía, su diseño mecánico se ajusta a la forma de un casco para el soporte de los componentes indicados en la Figura 3 y unas gafas en donde se ubica la cámara para la lectura de imágenes y su posterior proceso en la computadora local. A esto se incorpora una batería tipo LiPo de 11.1v 2200mAh, misma que entrega una autonomía de funcionamiento de 5 horas aproximadamente. Si bien el diseño estético representa aún retos en su optimización, esta arquitectura garantiza una integración efectiva y un procesamiento robusto de datos, desde la detección inicial de objetos en su computadora local, hasta la entrega de información sonora al usuario para su localización dentro del entorno de pruebas.

Arquitectura de la Red

Figura 3
Arquitectura de Red



Se puede observar la implementación de una sólida conexión inalámbrica a través de la tecnología LoRaWAN en el dispositivo inteligente, asegurando una comunicación eficaz de largo alcance y un consumo energético eficiente. Esta estratégica selección permite la interconexión entre los componentes del sistema, facilitando la transmisión de datos cruciales para el funcionamiento del dispositivo propuesto. Dentro de esta arquitectura, los nodos de detección de objetos distribuidos estratégicamente posibilitan la identificación y clasificación en tiempo real, mejorando significativamente la experiencia del usuario al ofrecer información precisa y oportuna sobre su entorno circundante.

Un elemento central en esta infraestructura es el Gateway LoRaWAN, que actúa como punto de comunicación centralizado, garantizando una conectividad confiable entre el dispositivo inteligente y el servidor de procesamiento. El servidor de red y de aplicación, junto con la aplicación instalada en el dispositivo, completan esta arquitectura, procesando datos desde la detección inicial de objetos hasta la entrega de información útil al usuario, mejorando así significativamente su experiencia y asistencia proporcionada por el dispositivo inteligente.

Ensamblaje del Dispositivo y Análisis de Costos

El ensamblaje final del dispositivo de asistencia ilustra la integración de los componentes previamente seleccionados. En las secciones anteriores, se abordó la elección de los componentes de hardware y software, destacando su compatibilidad y eficiencia para cumplir con los requisitos del proyecto. Se detalló la selección de la Raspberry Pi 4, los sensores específicos, el módulo LoRaWAN y otros elementos, así como la arquitectura de red establecida. En esta sección, se hace evidente cómo estos componentes han sido ensamblados en el dispositivo final, mostrando su configuración y disposición en el diseño de las gafas.

Figura 4

Ensamblaje Final en su primera versión y pruebas en pasillos



Análisis de Costos

Se presenta un análisis de costos, detallando los precios de los componentes y cómo se ha logrado mantener el costo total del dispositivo dentro de un presupuesto accesible. Los precios indicados corresponden a valores aproximados en el mercado local.

Tabla 6

Análisis de Costos

Componente	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Raspberry Pi 4	Unidad central de procesamiento.	\$55.00	1	\$55.00
Sensor Ultrasonico	Sensor para medición de distancia.	\$10.00	2	\$20.00
Módulo GPS	Módulo para geolocalización.	\$15.00	1	\$15.00
Módulo LoRa	Módulo para comunicación de largo alcance.	\$12.00	1	\$12.00
Cámara	Cámara para captura de imágenes.	\$20.00	1	\$20.00
Batería LiPo	Batería recargable.	\$25.00	1	\$25.00
Otros Componentes	Incluye cables, conectores, y otros accesorios.	\$8.00	-	\$8.00
Total				\$135.00

El costo total del prototipo es de aproximadamente \$135.00, reflejando los precios actuales de los componentes en el mercado local. No obstante, se prevé que el precio al público podría disminuir significativamente en caso de producción en masa. La fabricación a gran escala facilitaría economías de escala y una reducción en el costo de los componentes. Adicionalmente, el patrocinio de organizaciones como ONGs y otros apoyos financieros podrían contribuir a una mayor reducción del costo final, mejorando así la accesibilidad del dispositivo para los usuarios.

Resultados

Análisis del Rendimiento: Confianza, Robustez y Consistencia

A continuación se presenta un detallado examen de los escenarios de prueba, destacando los resultados significativos y las áreas de mejora identificadas.

Descripción de los Escenarios de Pruebas iniciales

Estos escenarios se han seleccionado para abordar funciones críticas del dispositivo y garantizar su efectividad en situaciones de la vida real. Los escenarios A, B y C se centran en la evaluación de la función de emergencia, la detección de proximidad de objetos y la capacidad de reconocimiento de letreros, respectivamente.

Tabla 7
Pruebas Iniciales

	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
IMAGEN DE PRUEBA			
DESCRIPCIÓN	Evaluación de la función de emergencia para detectar caídas, activar una alarma y proporcionar ubicación.	Evaluación de la detección de proximidad de objetos y retroalimentación en tiempo real.	Evaluación de la detección de letreros y retroalimentación para personas con discapacidad visual.
TIEMPO DE RESPUESTA	2 segundos	1 segundo	3 minutos
ADAPTABILIDAD	Alta	Alta	Media
CONSUMO DE RECURSOS	Bajo	Bajo	Medio

En el análisis comparativo, se destacan notables fortalezas en el tiempo de respuesta y la adaptabilidad en los escenarios A y B, aspectos cruciales para situaciones de emergencia y la detección de objetos cercanos. No obstante, se observa una carencia de detalles específicos sobre el tiempo de respuesta en el escenario C, lo que limita la capacidad de evaluar la eficacia de la función, especialmente en el contexto de personas con discapacidad visual. El escenario C, relacionado con la detección y lectura de letreros, presenta una condición en la orientación e iluminación de los escenarios. Esto sugiere la necesidad de mejoras en la capacidad de detección en entornos muy o poco iluminados.

Resultados Finales del Dispositivo

Luego de las pruebas a las que se sometió el primer prototipo de asistencia, se han obtenido resultados significativos que reflejan su rendimiento en escenarios clave. A continuación, se presenta un resumen de los resultados en la Tabla 8.

Tabla 8
Resultados Finales

	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
IMAGEN DE PRUEBA			
DESCRIPCIÓN	Desempeño de la función de emergencia para detectar caídas, activar alarma y proporcionar ubicación.	Detección de proximidad de objetos y retroalimentación en tiempo real hasta 1.5 metros; análisis adicional de entorno con cámara como identificar objetos como computadoras, personas, gatos, perros, teléfonos celulares, botellas y televisores.	Reconocer letreros para personas con discapacidad visual, mejorando independencia y navegación.
TIEMPO DE RESPUESTA	1 segundo	1 segundo	2 minutos
ADAPTABILIDAD	Alta	Alta	Media
CONSUMO DE RECURSOS	Bajo	Medio	Medio

El análisis de los resultados finales muestra avances significativos en la eficacia y el rendimiento del dispositivo, particularmente en la detección de obstáculos y la interpretación de letreros para personas con discapacidad visual. Estos resultados han sido comparados tanto con los valores iniciales obtenidos durante las pruebas como con normativas relevantes para dispositivos de asistencia. A pesar de estos avances, se identifican áreas que requieren mejora, como el diseño físico del dispositivo. Aunque el prototipo actual toma la forma de lentes o gafas, se reconoce que aún necesita refinamientos adicionales para optimizar la ergonomía y portabilidad, elementos esenciales en dispositivos vestibles o "wearables". (ISO, 2022).

Es importante señalar que las evaluaciones realizadas centraron en la funcionalidad del dispositivo en diversos escenarios identificados en la universidad asumiendo que el usuario carece de visión mientras usa el dispositivo. Este enfoque permitió identificar los desafíos tecnológicos actuales, como la adaptación del dispositivo a distintas condiciones de iluminación, lo que afecta el reconocimiento preciso y consistente de letreros.

En cuanto a la tecnología empleada, la comparación con referentes existentes que utilizan Bluetooth y Wi-Fi refuerza la elección de LoRaWAN como tecnología principal del dispositivo. LoRaWAN ofrece ventajas significativas en términos de cobertura y eficiencia energética, superando las limitaciones observadas en otros sistemas, lo que lo posiciona como una solución robusta para la asistencia a personas con discapacidad visual.

Discusión

En la comparativa entre este prototipo y los referentes existentes que emplean tecnologías como Bluetooth y Wi-Fi, resalta la elección estratégica de LoRaWAN como tecnología principal en el dispositivo de asistencia para personas con discapacidad visual. Mientras los referentes

citados muestran limitaciones, como las observadas en la red BAN (Body Area Network) utilizada por (Brito Moncayo & Yanchatuña Aguayo, 2016) la conexión Wi-Fi en el prototipo de (Basantes Varela & Chalaco Chamba, 2019), en el enfoque en LoRaWAN destaca por su capacidad para superar estas restricciones y mejorar la eficiencia del sistema.

La combinación de sensores funcionales y asequibles al público más la conexión eficiente a través de LoRaWAN refuerzan la accesibilidad y efectividad del dispositivo, marcando una evolución significativa en comparación con los referentes. Este enfoque completo define al dispositivo como una solución más completa y adaptada a las diversas necesidades de las personas con discapacidad visual. A diferencia de los proyectos revisados en los trabajos relacionados, que se centran en aplicaciones específicas, como alertas de obstáculos o lectura de texto, este dispositivo de asistencia busca ser integral para entornos exteriores e interiores.

A lo largo del desarrollo se aborda cómo la combinación de tecnologías, como LoRaWAN y WebSockets, no solo mejora la conectividad y la eficiencia energética, sino que también se enfoca en el potencial de mejorar la experiencia del usuario. Al contrastar los resultados obtenidos con normativas y estudios previos, se confirma que, aunque la solución propuesta muestra avances importantes, existen áreas críticas que requieren atención, como la mejora del diseño físico y la validación con un grupo heterogeneo de usuarios.

Conclusiones

La correcta elección de los componentes del sistema embebido respalda la propuesta de la estructura del sistema embebido a nivel lógico y eléctrico. Se ha comprobado su adecuada integración a través de su algoritmo de detección de obstáculos y reconocimiento de señalética dentro de los entornos de pruebas. Esta información ha sido traducida en tiempo real a señales auditivas para ser proporcionada al usuario por medio de audífonos. Se puede ver que la elección de la Raspberry Pi 4 como unidad central del sistema embebido, respaldada por sensores estratégicos y tecnologías como OpenCV, establece una infraestructura robusta para la detección de objetos y geolocalización.

En cuanto a la arquitectura de red, este enfoque integral asegura una interconexión efectiva entre nodos de detección, el Gateway LoRaWAN y servidores, sentando las bases para un sistema cohesionado y funcional. La cuidadosa evaluación de tecnologías para la comunicación IoT ha respaldado la elección estratégica de LoRaWAN. Esta selección se fundamenta en su eficiencia energética, extensa cobertura geográfica y su accesible implementación, elementos esenciales para un despliegue efectivo en el entorno universitario.

A pesar de los logros alcanzados, se identifican áreas de mejora clave, como la optimización del reconocimiento de letreros bajo condiciones de iluminación intensa y la necesidad de perfeccionar el diseño físico del dispositivo. La visión integral y efectiva de la integración de tecnologías de libre acceso destaca el compromiso de mejorar la calidad de vida de los usuarios, estableciendo este trabajo como un hito importante en la búsqueda de soluciones inclusivas y tecnológicamente avanzadas.

Referencias

- Basantes Varela, D. A., & Chalaco Chamba, E. A. (2019). *Desarrollo de un prototipo de gafas para lectura de texto con visión artificial que asista a personas con discapacidad visual*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17841>

- Bogdan-Martin, D. (2020). *Global ICT Regulatory Outlook 2020 Pointing the way forward to collaborative regulation*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.REG_OUT01-2020-PDF-E.pdf
- Brito Moncayo, G. D., & Yanchatuña Aguayo, L. A. (2016). *Visión artificial por alertas de voz y movimiento para personas con discapacidad visual en la Biblioteca de no videntes de la Universidad Técnica de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/20348>
- Discapacidades, C. N. (2022). *Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Obtenido de Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Estella, M. P., Santos, C. B., & Arellano, M. J. (2011). Discapacidad Visual y Autonomía Personal Enfoque práctico de la rehabilitación. *Discapacidad visual y autonomía personal*. Organización Nacional de Ciegos Españoles, Madrid. Obtenido de http://sid.usal.es/idos/F8/FDO26230/discap_visual.pdf
- Ghebreyesus, D. T. (2019). *Informe mundial de la salud*. Obtenido de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/328717/9789241516570-eng.pdf?sequence=18>
- Guillen Peñarreta, J. P., & Vizñay Aguilar, C. F. (2016). *Gafas especiales para detección de obstáculos con sistema de ubicación en caso de emergencia y ayuda de reconocimiento de billetes para personas con discapacidad visual*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12295>
- ISO, 9999. (2022). *Assistive products for persons with disability — Classification and terminology*. Institución de Normas Británicas. Obtenido de https://webstore.ansi.org/preview-pages/BSI/preview_30395089.pdf
- Marcillo Parrales, K., & Collantes Rodríguez, B. D. (2020). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN BASTÓN INTELIGENTE CON SENSORES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL Y FÍSICA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN Y REDES*. Universidad Estatal del sur de Manabí. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2249>

SISTEMAS EMPRESARIALES Y SOLUCIONES TECNOLÓGICAS



Plataforma web y móvil para la difusión de ofertas de PYMES mediante geolocalización

Web and mobile platform for the dissemination of SMEs offers through geolocation

Juan Francisco Cevallos-Valdivieso¹ <https://orcid.org/0009-0002-1716-3669>, Fernando Saldaña-Cueva¹ <https://orcid.org/0009-0002-7609-6566>, Andrés Palacios-Orellana¹ <https://orcid.org/0009-0006-6147-202X>, Alexandra González-Eras¹ <https://orcid.org/0000-0002-5305-7882>

¹Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador
jfcevallos8@utpl.edu.ec, fasaldana@utpl.edu.ec,
aepalacios7@utpl.edu.ec, acgonzalez@utpl.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/15

Aceptado: 2024/10/03

Publicado: 2024/10/15

Resumen

El proyecto se centra en el desarrollo de un negocio digital Freemium para PYMES mediante una plataforma web y móvil que permite a las empresas y negocios registrar y mostrar sus productos y promociones de manera efectiva y accesible y acceder a posibles compradores en tiempo real. A través de esta aplicación, las empresas pueden crear perfiles detallados que incluyen imágenes y descripciones de sus productos, así como detalles de contacto y promociones en curso; esto no solo facilita la visibilidad de sus ofertas para un grupo de usuarios más amplio, sino que permite a los negocios afiliados tener un mejor control de sus ofertas. Por otro lado, los usuarios de la aplicación disfrutan de la conveniencia de explorar una amplia gama de productos y ofertas en un solo lugar; pueden buscar, comparar y acceder a información detallada sobre los productos y servicios ofrecidos por diversas empresas. Además, la aplicación proporciona a los usuarios actualizaciones en tiempo real sobre promociones y descuentos geolocalizados, mejorando su experiencia de compra. De esta manera, la plataforma optimiza la conexión entre empresas y usuarios, brindando a las primeras una plataforma para promocionar sus productos y a los segundos una herramienta para descubrir y acceder a una variedad de ofertas y servicios, todo ello a través de una plataforma móvil y web amigable y práctica.

Palabras clave: Digital en PYMES, Aplicación móvil, Gestión geolocalizada de ofertas, Aplicación web, Freemium.

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

Como citar: Cevallos-Valdivieso, J., Saldaña-Cueva, F., Palacios-Orellana, A. & González-Eras, A. (2024). Plataforma web y móvil para la difusión de ofertas de PYMES mediante geolocalización. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 147-162. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/articulo/view/1217>

Abstract

The project focuses on developing a Freemium digital business in SMEs through a web and mobile platform that allows businesses to effectively and accessibly register and showcase their products and promotions, reaching potential buyers in real-time. Through this application, companies can create detailed profiles that include images and descriptions of their products, as well as contact details and ongoing promotions. This not only facilitates the visibility of their offers to a broader user base but also enables affiliated businesses to have better control over their offers. On the other hand, app users enjoy the convenience of exploring a wide range of products and offers in one place; they can search, compare, and access detailed information about the products and services offered by various companies. Additionally, the app provides users with real-time updates and geolocation on promotions and discounts, enhancing their shopping experience. In this way, the platform optimizes the connection between businesses and users, providing the former with a platform to promote their products and the latter with a tool to discover and access a variety of offers and services, all through a user-friendly and practical mobile and web platform.

Keywords: Digital Business in SMEs, Mobile Application, Geolocated Offer Management, Web Application, Freemium.

Introducción

En un contexto de creciente interconexión digital, la sinergia entre tecnología y negocios es fundamental, especialmente para las pequeñas y medianas empresas que necesitan una mayor visibilidad y gestión de sus ofertas. Este proyecto se centra en el desarrollo de una aplicación móvil diseñada para transformar la promoción empresarial y el acceso a productos por parte de los consumidores. El objetivo principal de la aplicación es proporcionar a las empresas una plataforma eficiente y atractiva para mostrar sus productos y promociones, y a los usuarios, una interfaz intuitiva para explorar y adquirir una variedad de productos, dando la opción de acceso geolocalizado y en tiempo real a las ofertas.

La idea central del proyecto es aprovechar los avances tecnológicos y herramientas en la nube, como Cloud Firestore, Digital Ocean y MeiliSearch, para potenciar el crecimiento empresarial de manera innovadora y con bajo costo. La integración de estas tecnologías y la creatividad se erigen como pilares fundamentales, ofreciendo una experiencia mejorada tanto para las empresas como para los consumidores.

Este artículo detallará cómo la aplicación utiliza tecnologías avanzadas para facilitar el crecimiento empresarial, mejorando el acceso a productos y servicios de manera eficiente. El proyecto representa una nueva era de colaboración entre tecnología y comercio, abriendo nuevas oportunidades en la promoción y adquisición de productos.

El objetivo principal es implementar un prototipo de aplicación móvil para la difusión de ofertas de pymes mediante geolocalización. Para lograr esto, se seguirán varios pasos específicos: primero, se conceptualizará el contexto de tecnologías móviles y geolocalización a través de una revisión de literatura actualizada; luego, se comprenderá la problemática de la gestión de ofertas mediante el estudio de casos para establecer una solución eficaz; se diseñará una solución de software definiendo la arquitectura y patrones de diseño necesarios; se desarrollará un prototipo utilizando un enfoque ágil para generar un catálogo de ofertas basado en la ubicación del usuario; y finalmente, se evaluará el prototipo mediante estrategias de calidad de software y validación con usuarios para determinar su efectividad en la difusión de ofertas.

Materiales y Métodos

Esta investigación se centró en implementar una aplicación para la gestión de ofertas utilizando tecnologías móviles. Los objetivos específicos incluyen conceptualizar el contexto de estas tecnologías y las técnicas de geolocalización mediante una revisión de la literatura actual para evaluar su aplicabilidad en la gestión de ofertas, comprender la problemática existente a través de estudios de casos para establecer una solución que mejore la difusión de ofertas a posibles compradores, diseñar una solución de software definiendo la arquitectura y los patrones de diseño necesarios, y evaluar el prototipo utilizando estrategias de calidad de software y validación con usuarios para determinar su efectividad en resolver el problema identificado.

Herramientas aplicadas al desarrollo del Proyecto

Expo Framework

Al utilizar Expo, en el desarrollo de aplicaciones móviles con React Native, se puede hacer uso del enrutamiento basado en el sistema de archivos. Esto significa que los directorios que sean hijos del directorio APP se convertirán automáticamente en rutas dentro de la aplicación. Cada ruta toma el nombre del directorio y renderiza el archivo `index.tsx` que encuentre dentro del mismo. Por lo tanto, en este directorio, solo se deben agregar páginas completas y no componentes aislados (EXPO, 2024).

Api Rest

Una API REST, también denominada API RESTful, es una interfaz de programación de aplicaciones utilizada para la transferencia de mensajes y datos en arquitecturas cliente-servidor y de microservicios. Basada en el protocolo HTTP, permite realizar operaciones sobre los datos en diversos formatos, como XML y JSON. Las operaciones más comunes en REST incluyen POST (crear), GET (leer y consultar), PUT (editar) y DELETE (eliminar). REST es ampliamente adoptado en el desarrollo de servicios de Internet debido a su eficiencia y su estructura lógica (OVHCloud, 2024).

Nest Js

NestJS es un framework de desarrollo backend para Node.js, diseñado para crear aplicaciones escalables y mantenibles. Basado en TypeScript y fuertemente influenciado por Angular, NestJS utiliza principios de programación orientada a objetos, funcional y reactiva. Su arquitectura modular permite organizar el código de manera estructurada y reutilizable, facilitando el desarrollo de aplicaciones complejas. Además, NestJS incorpora características avanzadas como inyección de dependencias, middleware y soporte para GraphQL, WebSockets y Microservicios, lo que lo convierte en una opción robusta y versátil para construir aplicaciones del lado del servidor (Nest, 2024).

Git

Git es un importante sistema de control distribuido para desarrolladores. Le permite realizar un seguimiento del origen de los cambios, colaborar de forma eficaz y volver a versiones anteriores cuando sea necesario. Las características clave incluyen control de versiones distribuido, seguimiento detallado de cambios, la capacidad de crear y fusionar ramas y la capacidad de revertir el código a estados anteriores. Estas capacidades mejoran la colaboración, aumentan la eficiencia, mejoran la calidad del código y simplifican la implementación de proyectos de software (Git, 2024).

Github

GitHub es una plataforma en línea donde los desarrolladores de software pueden almacenar, administrar y colaborar en proyectos de código. Actúa como un almacenamiento

en la nube donde se almacenan los archivos fuente, el historial de edición y otros archivos del proyecto. Utiliza un sistema de control de versiones para rastrear cambios y facilitar la colaboración entre múltiples desarrolladores. Los usuarios pueden crear carpetas públicas o privadas y administrar el acceso a ellas. GitHub también permite crear "solicitudes de extracción" para revisar el código y confirmar cambios. También es una comunidad que puede descubrir, compartir y contribuir a proyectos de código abierto, fomentar la colaboración y aumentar la transparencia del código (Github, 2024).

Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) es un software gratuito y de código abierto desarrollado por Microsoft y ampliamente utilizado por los desarrolladores para escribir, descargar y colaborar en código. Compatible con Windows, macOS y Linux, VS Code ofrece funciones como resaltado de sintaxis, finalización automática de código y depuración paso a paso, lo que facilita la identificación y corrección de errores. Además, Git se integra con sistemas de control de versiones, lo que permite un mejor seguimiento de los cambios. La extensibilidad es asombrosa. Hay miles de complementos disponibles para personalizar y agregar nuevas funciones. Simple y rápido, VS Code es perfecto incluso para computadoras con recursos limitados. Su popularidad también se debe a una gran comunidad de usuarios y desarrolladores que brindan muchas herramientas y soporte (VSC, 2024).

Elastic Search

Elasticsearch, es una tecnología de código abierto. Se basa en la biblioteca de software Apache Lucene, lo que garantiza una base sólida. Su enfoque orientado a documentos le permite buscar información de manera eficiente, donde los datos sin esquema, en forma de documentos JSON arbitrariamente complejos, se pueden entregar a Elasticsearch para su indexación. La arquitectura distribuida de Elasticsearch subdivide un índice en varios fragmentos, que luego se pueden replicar en varios servidores (nodos) dentro de un clúster. Debido a esto, Elasticsearch puede hacer frente a altas cargas de consultas, distribuyendo uniformemente la carga de procesamiento y compensando las interrupciones del servidor (AERIS, 2022).

Herramientas Cloud aplicadas en el desarrollo del proyecto

Cloud Firestone

Frebase es una plataforma de base de datos en tiempo real que simplifica el desarrollo de aplicaciones Android. Está disponible para Android, iOS y la web, y ofrece una interfaz de administración llamada Firebase Console. En este estudio, se utiliza Cloud Firestore de Firebase, una base de datos flexible y escalable para el desarrollo móvil, FireBase Authentication que permite el ingreso a la aplicación con la cuenta de Google, Cloud Storage que permite almacenar archivos en la nube de Google (Rahmanti, Permata, Amiroh, & Daely, 2022).

Digital Ocean

DigitalOcean Cloud es una plataforma de nube líder en la industria que ofrece soluciones de infraestructura escalable para desarrolladores, startups y empresas. Con su enfoque en la simplicidad y la eficiencia, DigitalOcean permite implementar fácilmente servidores virtuales (Droplets), almacenamiento, bases de datos y más, todo ello con una interfaz de usuario intuitiva y precios competitivos (Ransara, Dayananda, & Seewali, 2021).

MeiliSearch

MeiliSearch es un motor de búsqueda de código abierto altamente eficiente y personalizable que ha ganado popularidad en la comunidad de desarrollo. Destaca por su velocidad y capacidad para realizar búsquedas en tiempo real en grandes conjuntos de datos, lo que lo hace ideal para integrarse en el desarrollo del proyecto (Kanerla, 2022).

Estrategias y Modelos para la Gestión de Ofertas en el Entorno Digital

En la era digital, la gestión de ofertas se ha convertido en un componente crucial para el éxito empresarial. Este documento explora las estrategias y modelos esenciales que facilitan la gestión eficiente de ofertas en entornos digitales. Se analiza la gestión de ofertas, diferenciando entre la oferta comercial y técnica, y se examinan diversos modelos de negocio digitales, incluyendo el modelo Freemium y el Software como Servicio (SaaS). Además, se presenta el Business Model Canvas como una herramienta fundamental para desarrollar y validar ideas de negocio, destacando su importancia en la estructuración y priorización de clientes y recursos. Este conjunto de estrategias y herramientas proporciona una base sólida para la implementación y optimización de modelos de negocio en el dinámico mercado digital actual.

Gestión de Ofertas

Una gestión de ofertas es el conjunto de tareas, procesos, consultas y pedidos potenciales, las cuales se pueden dividir en 2, la gestión de la oferta comercial y la gestión de oferta técnica. El proceso básico para la gestión de ofertas puede basarse en un procedimiento que incluye tres pasos (Herrera, Cantero, & Leyva, 2024).

Modelo de Negocio Digitales

Los Modelos de Negocio son estrategias fundamentales para el éxito empresarial, y existen diversos tipos que las empresas pueden adoptar para alcanzar sus objetivos. Estos tipos abarcan desde modelos de suscripción y franquicias hasta modelos de plataforma y fabricación en masa. Cada uno de ellos tiene sus propias características y ventajas, permitiendo a las empresas adaptar su enfoque a su industria y mercado específico (Campos, Cedeño, Palma, & Campos, 2021).

El modelo de negocio Freemium se caracteriza porque cuenta con una gran base de usuarios que disfrutan del servicio gratuito que se ofrece es importante aclarar que esta oferta “free” tiene menos funciones y alcance por lo que se vuelve inferior en calidad o cantidad cabe aclarar que la mayor parte de usuarios que disfrutan del servicio gratuito nunca se convierten en cliente de pago y lo habitual es que un pequeño porcentaje aproximadamente el 5% de los usuarios se suscriba a la versión Premium, en este caso lo que se hace es limitar las diferentes funciones que ofrece el servicio y a su vez incluir publicidad, por otro lado los usuarios que cuenta con el plan o el paquete premium son los que disfrutan todas las características del producto o servicio y serán los que subvencionen la oferta gratuita de la que disfrutan los usuarios gratuitos (Giraldo, 2019).

Software como Servicio (SaaS)

El software como servicio (SaaS) se ha convertido en el paradigma dominante en la distribución de software. Este modelo proporciona una aplicación alojada y administrada por un proveedor de servicios externo a la que los usuarios pueden acceder a través de Internet mediante una suscripción (Saas, Vetter, Maraux, Bonnefoy, & Perruche, 2022).

Los beneficios clave incluyen un mejor control sobre el sistema operativo, mayor compatibilidad de usuario, menores costos y una personalización multiusuario más sencilla. SaaS se ha convertido en la forma líder de contabilidad y ofrece servicios empresariales accesibles a través de una variedad de servicios en la nube (públicos, privados o híbridos). El software SaaS se caracteriza por la compatibilidad, la reutilización, la accesibilidad y la colaboración, lo que permite a los usuarios realizar sus tareas de manera eficiente a través de gráficos web (Tarsillo & Bueno, 2023).

Bussines Model Canvas

El objetivo principal de este instrumento es construir, probar y perfeccionar la idea de un nuevo negocio utilizando el modelo Canvas. Este modelo permite validar al menos una hipótesis dentro de cada elemento del negocio. Cada componente del modelo Canvas es relevante, ya que ayuda a desarrollar y validar hipótesis que el equipo de trabajo evaluará. Además, estos elementos son vitales para el modelo empresarial, considerándolo eficaz, exacto y completo (Ladd, 2018).

El Business Model Canvas sugiere que una identidad empresarial debe enfocarse en clasificar y establecer prioridades para sus tipos de clientes. Es fundamental distinguir entre los clientes más importantes, que generan el ingreso principal de la empresa, y los clientes comunes, que aportan ingresos residuales. Aplicando este principio, el presente trabajo considerará dos grupos de clientes: Free y Premium (Dudin, Lyasnikov, Evich, & Leonteva, 2015).

El Business Model Canvas, representado en la Figura 1, es una herramienta ampliamente utilizada para visualizar y analizar modelos de negocio. Consiste en una tabla de nueve bloques que representan los aspectos clave de una empresa: segmentos de clientes, propuesta de valor, canales de distribución, relaciones con los clientes, fuentes de ingresos, recursos clave, actividades clave, socios clave y estructura de costos. Cada uno de estos bloques se desglosa a continuación, detallando los parámetros específicos relacionados con ese aspecto particular del negocio, permitiendo una comprensión más profunda y detallada de la estrategia empresarial.

Resultados y Discusión

El problema que enfrentan muchas PYMES y microempresas es la falta de información en línea sobre sus productos y servicios, lo que dificulta la captación de clientes potenciales y la inteligencia del negocio. La publicidad física, como pancartas y carteles, representa una inversión significativa pero no siempre efectiva. Además, los clientes pierden tiempo al tener que visitar personalmente los negocios para hacer pedidos y conocer productos y ofertas. La falta de información sobre horarios de atención, ubicación y promociones, así como la ausencia de un catálogo digital y de datos estadísticos necesarios para la toma de decisiones, afecta tanto a negocios como a clientes.

Una solución exitosa implica el desarrollo de una aplicación móvil que permita el acceso a un catálogo de negocios y productos segmentado por categorías, generando rutas desde la ubicación del usuario hasta el negocio seleccionado y permitiendo realizar pedidos. La app puede notificar a los clientes sobre productos de interés, incluir un mapa con información actualizada de los negocios y gestionar ofertas y catálogos de productos a través de una plataforma web. Un dashboard interactivo proporcionará información estadística sobre la interacción de los clientes con los productos, formando un ecosistema digital que conecte vendedores y compradores potenciales en un solo lugar.

Aplicación de Bussines Model Canvas

Propuesta de valor: La plataforma facilita a las PYMES la venta de sus productos mediante la creación y gestión de un catálogo en línea. Permite actualizar información esencial de la tienda, como ubicación y horarios de atención, mejorando la visibilidad y accesibilidad en el mercado digital. Además, ofrece la capacidad de generar ofertas especiales y proporciona acceso a datos detallados sobre ventas e interacciones, optimizando así las operaciones y maximizando los ingresos. Las funciones avanzadas de personalización permiten a los usuarios encontrar negocios cercanos y suscribirse para recibir notificaciones, mejorando la experiencia del cliente y fomentando la lealtad.

- Segmentos de mercado: El público objetivo incluye a los dueños de los negocios en la plataforma y los usuarios finales que compran los productos registrados. Los usuarios finales buscan una plataforma fácil de usar para comprar ropa en línea en Ecuador, con una amplia variedad de opciones, descuentos, detalles de la tienda y pagos en línea seguros.
- Canales y relaciones con clientes: La plataforma ofrece distintos canales digitales de atención al cliente tanto para usuarios finales como para empresas. La relación con los usuarios se basa en la confianza y la satisfacción, facilitando la navegación y compra de productos.
- Fuentes de ingresos: Los ingresos se generan mediante comisiones por venta, publicidad y suscripciones mensuales para los negocios, proporcionando acceso a todas las funcionalidades de la plataforma y asegurando ingresos recurrentes.
- Recursos clave: Los recursos clave incluyen financieros (capital inicial y fondos para campañas y mantenimiento) y humanos (equipos de desarrollo, marketing, ventas y soporte al cliente). También son cruciales los datos recopilados sobre ventas e interacciones de usuarios para mejorar la plataforma.
- Actividades clave: Incluyen el desarrollo y mantenimiento de la plataforma, adquisición y gestión de tiendas, adquisición y gestión de usuarios, procesamiento de pedidos y pagos, análisis de datos y servicio al cliente.
- Asociaciones clave: Las asociaciones con tiendas de ropa, proveedores de servicios de pago, empresas de publicidad y marketing, y empresas de análisis de datos son esenciales para el éxito del proyecto.

Arquitectura del Negocio

La arquitectura de software para la aplicación " Plataforma web y móvil para la difusión de ofertas de PYMES mediante geolocalización " se define como una arquitectura cliente-servidor. Esta elección arquitectónica es fundamental para cumplir con los atributos de calidad definidos en el capítulo tres. La arquitectura cliente-servidor proporciona una clara separación de responsabilidades entre el cliente, que maneja la interfaz de usuario y la interacción con el usuario final, y el servidor, que gestiona la lógica de negocio, el almacenamiento de datos y el procesamiento de solicitudes.

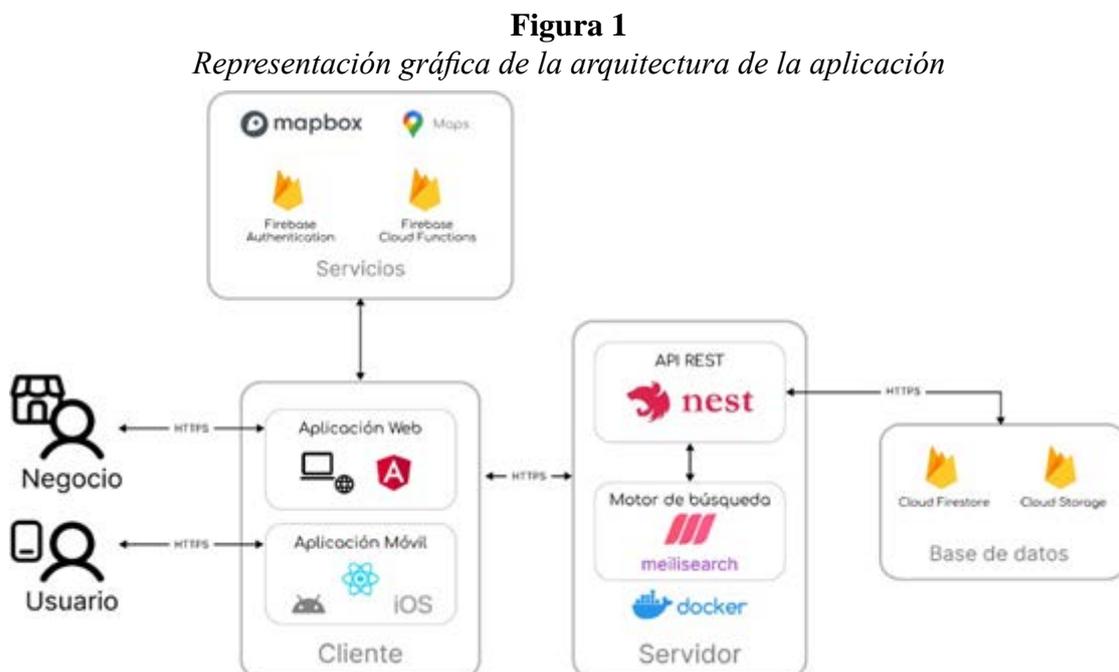
Este enfoque facilita una organización robusta y coherente del código; también mejora la mantenibilidad del sistema. Al modularizar la aplicación en componentes distintos, resulta más sencillo realizar actualizaciones, corregir errores y añadir nuevas funcionalidades sin afectar otras partes del sistema. Además, la arquitectura cliente-servidor permite escalar el sistema de manera eficiente, ya que el servidor puede ser optimizado y reforzado independientemente de las aplicaciones cliente, lo cual es crucial para manejar un aumento en el número de usuarios y en el volumen de datos.

Los elementos de esta arquitectura son:

- Cliente:
La aplicación móvil está desarrollada en React Native, cuya responsabilidad es interactuar con el usuario final a través de una interfaz bien diseñada y fácil de usar. Su objetivo principal es proporcionar la mejor experiencia de usuario posible. Para ello, se conecta con el servidor mediante el protocolo HTTP para gestionar las solicitudes del usuario. La aplicación web está desarrollada en Angular, lo cual permite una integración con el backend de la plataforma, y así gestionar la información de las ofertas.

- Servidor:**
 La aplicación del lado del servidor está construida con NestJS. Su objetivo principal es centralizar la lógica de negocio, minimizando así la lógica del lado del cliente. Esto permite que la lógica del servidor sea reutilizable por diferentes clientes si es necesario. Además, el servidor es el único encargado de comunicarse con la base de datos para realizar operaciones de lectura y escritura.
- Base de Datos:**
 La base de datos utilizada es Firebase Firestore, una base de datos no relacional que ofrece un SDK para interactuar y gestionar datos de manera eficiente. Firebase Cloud Storage se utiliza para almacenar archivos estáticos. El servidor es el único componente que se comunica directamente con la base de datos, lo que asegura que la lógica y los datos sensibles permanezcan protegidos en el servidor.
- Motor de Búsqueda:**
 El sistema incluye un motor de búsqueda elástica, MeiliSearch. Este motor es muy potente y permite a los usuarios realizar consultas de productos y obtener los mejores resultados basados en el contenido de dichos productos. Para optimizar el rendimiento de las búsquedas, se realiza una replicación de datos, almacenando información relevante del producto, como título, color, etiquetas y descripción, en el motor de búsqueda. Esto permite que la información sea indexada y los usuarios puedan obtener resultados óptimos basados en sus consultas.

El motor de búsqueda indexa toda la información y devuelve resultados de manera eficiente. En conjunto, estos elementos trabajan de manera integrada para proporcionar una aplicación robusta, eficiente y fácil de mantener, asegurando así una experiencia de usuario de alta calidad y un manejo centralizado y seguro de la lógica de negocio y los datos.



Nota. En la figura se observa la forma en la que se comunican los diferentes elementos de la arquitectura.

Tabla 1
Detalle de las herramientas de desarrollo

Fase	Herramienta	Detalle
Planificación	Trello	Utilizado para organizar las tareas y asignarlas a cada miembro del equipo.
Codificación	Git	Sistema de registro, versionamiento e integración de código.
	Github	Repositorio de código de la aplicación móvil y servicios web.
	Python	Lenguaje de programación para el algoritmo de recomendación KNN.
	Typescript	Lenguaje de programación utilizado para el desarrollo de la aplicación móvil y backend.
	HTML	Lenguaje de etiquetas para estructurar la UI en la aplicación móvil
	CSS	Lenguaje para manejar el estilo de la aplicación.
	Tailwind	Framework de CSS para el diseño web.
	Nest JS	Framework utilizado para el desarrollo del backend de la aplicación.
	React Native	Framework para el desarrollo multiplataforma de la aplicación móvil.
	Angular	Framework de desarrollo de la aplicación web.
	Expo	Framework para React Native que ofrece funcionalidades como enrutamiento basado en archivos, bibliotecas universales de alta calidad y permite modificar el código nativo sin administrar archivos nativos.
Firestore	Plataforma que facilita el desarrollo de aplicaciones que ofrece soluciones de bases de datos NoSQL, autenticación de usuarios y almacenamiento de archivos estáticos.	
Meilisearch	Motor de búsqueda elástica.	
Despliegue	Digital Ocean	Plataforma que ofrece Infraestructura como Servicio, es decir podemos desplegar nuestro backend a un servidor de pruebas o producción.

Variables de Entorno

Para la conexión y configuración del proyecto, se utilizan varias variables esenciales. La variable `GOOGLE_CREDS_FILE` indica la ubicación del archivo de configuración, que permite la conexión con la base de datos de Firebase. `MEILISEARCH_HOST` define la dirección del servidor de Elastic Search, mientras que `MASTER_KEY` es la contraseña utilizada para conectarse con el host de Meilisearch. Adicionalmente, `STORAGE_BUCKET` especifica el contenedor donde se almacenan los archivos estáticos en Firebase, y `FIREBASE_PROJECT_ID` es el identificador único del proyecto de Firebase.

Para la documentación y acceso al backend de la aplicación, se emplean las variables `SWAGGER_USER` y `SWAGGER_PASSWORD`. Estas proporcionan las credenciales necesarias para acceder a la documentación de la aplicación, garantizando que solo usuarios autorizados puedan consultar y modificar las especificaciones del backend. Estas configuraciones aseguran una gestión eficiente y segura de los recursos y servicios utilizados en el desarrollo del proyecto.

Tipos de Pruebas de Software

En el desarrollo de software, es crucial asegurar que las aplicaciones funcionen correctamente y cumplan con los requisitos especificados. Para lograr esto, se utilizan diferentes tipos de pruebas de software, cada una con un enfoque particular. Dos de los enfoques más comunes son las pruebas de caja negra y las pruebas de caja blanca. Las pruebas de caja negra se centran en evaluar la funcionalidad del software sin considerar su estructura interna, mientras que las pruebas de caja blanca se enfocan en examinar las funciones internas y el flujo del código. Ambos tipos de pruebas son esenciales para identificar y solucionar problemas, asegurando la calidad y fiabilidad del software.

Pruebas de caja negra

Las pruebas de caja negra, también conocidas como pruebas funcionales, son un tipo de pruebas de software en las que se analiza la funcionalidad de un sistema o programa informático sin tener conocimiento de su funcionamiento interno¹. En este tipo de pruebas, los probadores se limitan a proporcionar entradas y evaluar las salidas, interactuando con el software de la misma manera que lo haría un usuario final¹. El objetivo es verificar que el software funcione correctamente en condiciones de uso normales, sin tener en cuenta la estructura interna del código¹. Este enfoque permite identificar problemas que pueden no ser evidentes durante las pruebas de caja blanca, que se centran en el código interno (Rosado, Rodríguez, Luque, & Luna, 2017).

Pruebas de caja blanca

Las pruebas de caja blanca son un tipo de prueba de software que se enfoca en las funciones internas de un módulo. Su importancia radica en que los métodos de caja blanca permiten derivar casos de prueba que aseguran que todas las rutas independientes dentro del módulo se ejecuten al menos una vez. Además, se verifica tanto el resultado verdadero como el falso de todas las decisiones lógicas presentes en el código. También posibilitan la ejecución de todos los ciclos dentro de sus límites operacionales y ejercitan las estructuras de datos internas para asegurar su validez (Álvarez & Lago, 2019).

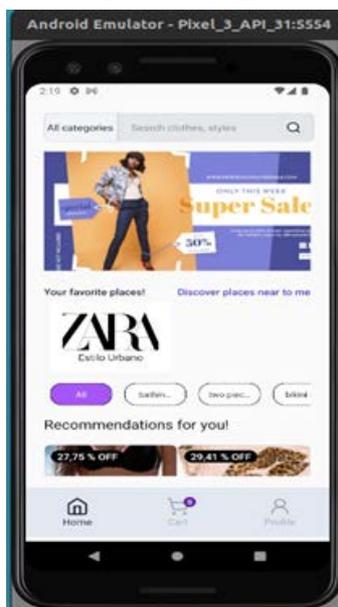
Pruebas unitarias

Definir las pruebas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del sistema una vez implementado. Estas pruebas se definieron como pruebas unitarias, es decir, pruebas con el menor nivel posible de dependencia entre sí. Esto permitió un desarrollo o una integración de software por componentes, donde cada equipo tenga la posibilidad de trabajar y realizar pruebas de manera independiente, reservando para la fase final las pruebas de integración (García, 2019).

Contenido de la aplicación.

Aplicación móvil

Figura 2
Página Principal

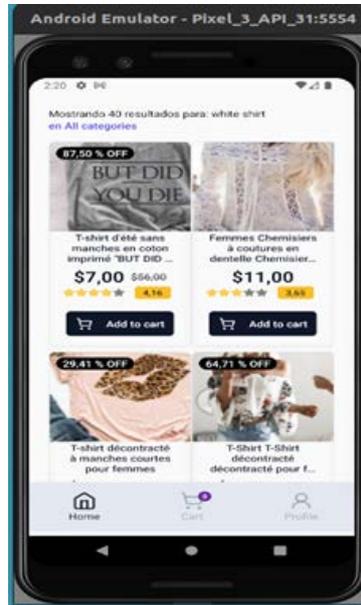


Nota. Es la primera página que ve el usuario al iniciar sesión.

El objetivo de la pantalla principal de la aplicación móvil es mostrar al usuario información que capte su atención. Se muestran los negocios que ha marcado como favoritos

de los cuales va a recibir notificaciones cuando tengan ofertas o creen nuevos productos, también se muestran recomendaciones de productos y una barra de búsqueda que le permite encontrar cualquier producto acorde a sus necesidades.

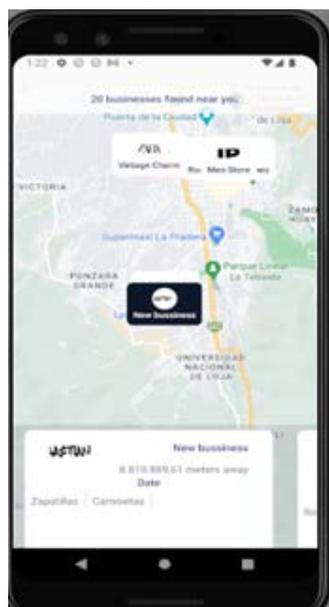
Figura 3
Pantalla de búsqueda



Negocios cerca del usuario

Para obtener los negocios cercanos al usuario hacemos uso de Google Maps para mostrar el mapa. Adicionalmente, se solicitan los permisos de geolocalización al usuario; una vez el usuario ha otorgado los permisos necesarios, el cliente realiza una petición al servicio web que le permite encontrar los negocios que están cerca a la ubicación actual. La funcionalidad de la obtención de los negocios está detallada en el desarrollo del backend.

Figura 4
Vista de negocios usuarios



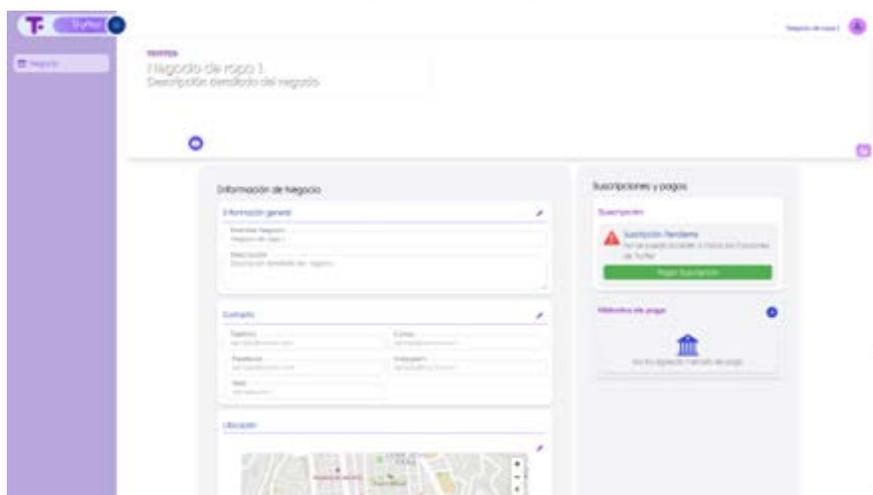
Nota. Vista de negocios cercanos al usuario, muestra un listado de tiendas y la distancia a la que se encuentran.

Aplicación web

El objetivo de la aplicación web es gestionar la información de los negocios y las ofertas, para ello cada negocio debe registrarse para crear una cuenta y realizar el pago del servicio. Al registrar un nuevo negocio, no se podrá acceder a todas las funcionalidades como: información del negocio, suscripciones y pagos por el servicio de la plataforma y métodos de pago, donde se puede agregar la información necesaria para que el administrador pueda realizar las transferencias al negocio.

Figura 5

Pantalla de negocio en la aplicación web

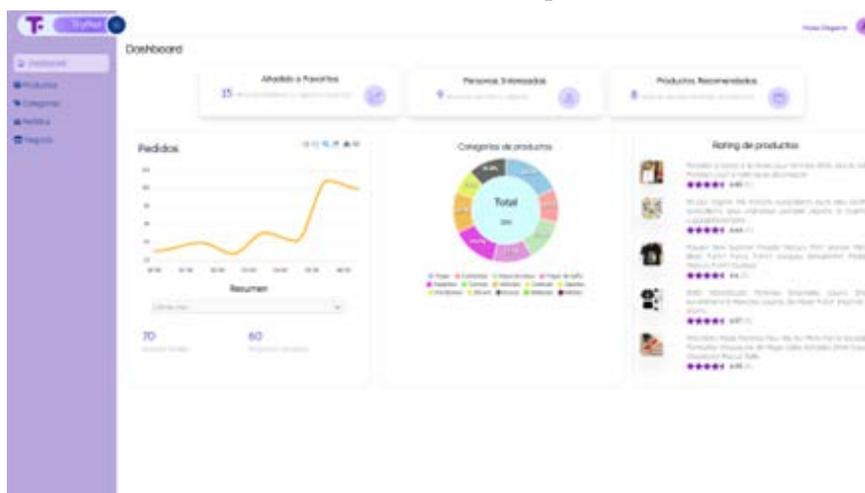


Nota. Esta vista presenta los datos vacíos y una suscripción pendiente.

Uno de los módulos principales de la vista del negocio es el panel de control, que presenta información estadística sobre la cantidad de pedidos realizados, la calificación de los productos y gráficos de pastel que muestran los porcentajes de productos divididos por categoría.

Figura 6

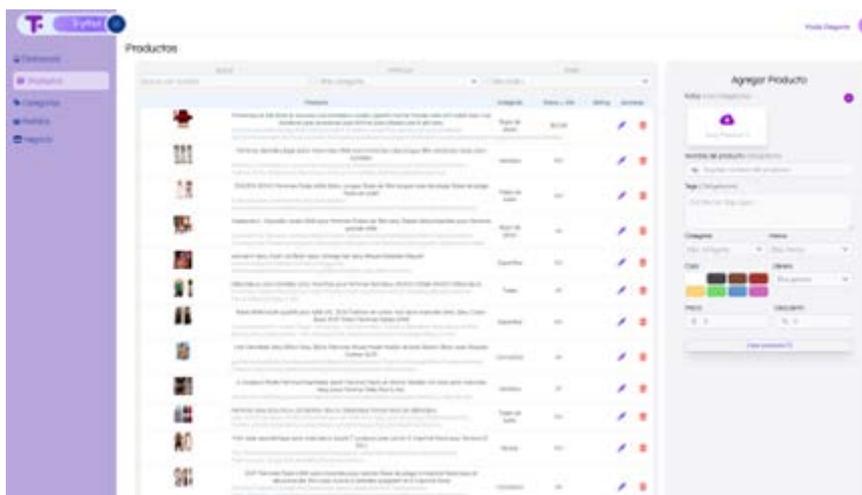
Pantalla de dashboard en la aplicación web



Nota. En esta vista se incluyen los gráficos con datos obtenidos de la interacción de los usuarios en la aplicación móvil.

La pantalla de productos permite al negocio gestionar la información de los productos ingresados en la plataforma, incluyendo filtros para navegación y búsqueda, agregación, edición y eliminación productos.

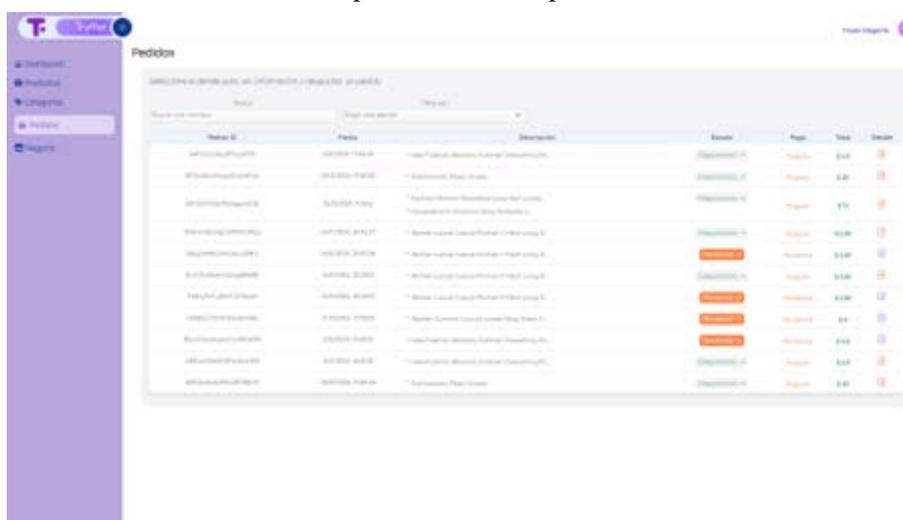
Figura 7
Pantalla de productos en la aplicación web



Nota. En esta vista se gestionan todos los productos del negocio.

También, la aplicación web incluye la gestión de pedidos, donde se presentan todos los pedidos registrados desde la aplicación móvil. Esta funcionalidad permite filtrar pedidos y despachar aquellos que aún no han sido procesados. Además, se puede visualizar los detalles específicos de cada pedido.

Figura 8
Pantalla de pedidos en la aplicación web



Nota. En esta vista se gestionan todos los pedidos del negocio.

Contenido del administrador web

Para gestionar todos los negocios de manera organizada, se ha implementado un acceso de administrador. Este acceso permite al administrador gestionar todas las órdenes, realizar pagos a los negocios y supervisar la gestión de suscripciones de los mismos. Esta funcionalidad asegura una administración eficiente y ordenada de las operaciones comerciales dentro de la plataforma.

Figura 9*Pantalla de pagos en el administrador de la aplicación web*

ID	Nombre	Fecha	Estado	Monto
...
...
...
...
...
...
...
...
...
...

Nota. En esta vista se gestionan todos los pagos a los negocios.

Figura 10*Pantalla de negocios en el administrador de la aplicación web*

ID	Nombre	Suscripción	Estado	Fecha
...
...
...
...
...
...
...
...
...
...

Nota. En esta vista se gestionan todas las suscripciones de los negocios.
Contenido de la aplicación.

De esta forma la plataforma web y móvil permiten la gestión de ofertas de las Pymes, de una manera ágil y en tiempo real, proporcionando una experiencia de usuario acorde a las necesidades de los negocios, que requieren crear y gestionar sus ofertas, y de los usuarios que acceden a las ofertas geolocalizadas.

Conclusiones

La revisión exploratoria de literatura permite identificar las tendencias y aplicaciones actuales de las tecnologías móviles y la geolocalización en la gestión de ofertas. Se concluye que estas tecnologías son altamente aplicables y beneficiosas para las PYMES, ya que facilitan la difusión de ofertas de manera eficiente y dirigida, incrementando la probabilidad de atraer clientes potenciales en función de su ubicación geográfica. Por otro lado, a través del estudio de casos, se evidencia que las PYMES enfrentan desafíos significativos en la difusión de sus ofertas, principalmente debido a la falta de herramientas digitales efectivas y accesibles para llegar a su

público objetivo. Este análisis permitió definir los requisitos y características esenciales para una solución que mejore sustancialmente el proceso de gestión y difusión de ofertas.

De la misma manera, la definición de la arquitectura y los patrones de diseño adecuados permitió desarrollar una solución de software robusta y escalable. El diseño consideró la integración de funcionalidades clave como la geolocalización en tiempo real y un sistema de notificaciones personalizadas, asegurando así que el prototipo cumpla con los requerimientos detectados durante la fase de análisis. Las estrategias de calidad de software, incluyendo pruebas de caja negra y caja blanca, así como la evaluación de informes previos al análisis en Google Play, demostraron que el prototipo es efectivo para resolver la problemática de difusión de ofertas. Las pruebas confirmaron una notable mejora en la visibilidad y accesibilidad de las ofertas de PYMES, confirmando así la viabilidad y potencial impacto positivo de la aplicación desarrollada.

Trabajos Futuros

Se recomienda continuar con la optimización del prototipo basado en la retroalimentación de los usuarios y los avances tecnológicos, asegurando que la aplicación se mantenga relevante y eficiente. Considerar la incorporación de nuevas funcionalidades, como la integración de análisis predictivo para anticipar las necesidades de los usuarios y la implementación de un sistema de recompensas por fidelidad.

Desarrollar estrategias de marketing enfocadas en la adopción de la aplicación por parte de las PYMES y los usuarios finales. Esto podría incluir campañas de sensibilización, capacitación y soporte continuo para maximizar el uso y aprovechamiento de la herramienta.

Establecer colaboraciones con cámaras de comercio y asociaciones de PYMES para fomentar el uso de la aplicación y facilitar la incorporación de más ofertas y promociones, beneficiando así a una mayor cantidad de usuarios.

Implementar un sistema de evaluación periódica de la aplicación para monitorear su desempeño y realizar ajustes necesarios, garantizando la satisfacción del usuario y la efectividad en la difusión de ofertas.

Referencias

- AERIS. (1 de febrero de 2022). *Aeris*. Obtenido de Aeris Consulting: <https://www.aeris-consulting.com/>
- Álvarez, N., & Lago, N. (2019). *Pruebas de mutación, control sobre variaciones en el código fuente*. Obtenido de Revista ID Tecnológico: <https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2228>
- Camargo, G. (21). *Modelo de negocio freemium*. Obtenido de RocketContent: <https://rockcontent.com/es/blog/freemium/>
- Campos, S., Cedeño, C., Palma, Y., & Campos, V. (2021). *Los negocios digitales y su importancia en la era actual*. Obtenido de Ciencias económicas y empresariales.
- Dudin, M., Lyasnikov, N., Evich, V., & Leonteva, L. (2015). *Business model canvas as a basis for the competitive advantage of enterprise structures in the industrial agriculture*. Obtenido de Biosciences Biotechnology Research Asia.
- EXPO. (09 de junio de 2024). *Expo and EAS are and ecosystem of tools tha help you*. Obtenido de <https://expo.dev/>

- García, A. (2019). *Software Libre*. Obtenido de Dspace: <https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/460/1/uoc-proyecto-web.pdf>
- Giraldo, D. (2019). *Plan de negocios bajo el modelo Canvas para la creación de una aplicación que permita reservar espacios deportivos de terceros*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.
- Git. (20 de mayo de 2024). *Git*. Obtenido de Distributed even if your workslow inst: <https://git-scm.com/>
- Github. (16 de Mayo de 2024). *Let's build from here*. Obtenido de Github: <https://github.com/>
- Herrera, Y., Cantero, H., & Leyva, E. (2024). *Gestión del servicio al cliente para lograr ventajas competitivas en empresas comercializadoras*. Obtenido de Ciencias Holguín: <http://www.ciencias.holguin.cu/revista/article/view/285>
- Kaneria, F. (2022). *Swift Search An open-source search engine*. Obtenido de ACM Digital Library.
- Ladd, T. (2018). *Does the business model canvas drive venture success? Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*. Obtenido de Emerald Insight.
- Nest. (09 de junio de 2024). *Nest a Progressive Node.js*. Obtenido de <https://nestjs.com/>
- OVHCloud. (09 de junio de 2024). *¿Qué es una API REST?* Obtenido de <https://www.ovhcloud.com/es-es/learn/what-is-rest-api/>
- Pico, F. (2017). *Potencial Estratégico de la Geolocalización de Clientes*. Obtenido de Revista San Gregorio.
- Rahmanti, F., Permata, O., Amiroh, K., & Daely, P. (2022). *An Improvement Using Global Positioning System (GPS) and Cloud Firestore for Integration of Information System in Surabaya Public Transportation*. Obtenido de Edutec.
- Ransara, P., Dayananda, A., & Seewali, P. (2021). *The Library Automation through the Cloud Computing server: Based on Digital Ocean Cloud server*. Obtenido de University of Kelaniya.
- Rosado, L., Rodríguez, F., Luque, R., & Luna, F. (2017). *Experiencias con una herramienta de pruebas de caja negra para el aprendizaje de asignaturas de programación en evaluación continua*. Obtenido de Universidad de Málaga: https://aenui.org/actas/pdf/JENUI_2017_021.pdf
- Saas, P., Vetter, M., Maraux, M., Bonnefoy, F., & Perruche, S. (2022). *Resolution therapy: Harnessing efferocytic macrophages to trigger the resolution of inflammation*. Obtenido de frontiers: <https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2022.1021413/full>
- Tarsillo, W., & Bueno, P. (2023). *El Software como Servicio (SaaS) y su incidencia en la Festión de Servicios de Tecnologías de la Información*. Obtenido de Universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/110819/Pilar_BWT-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- VSC. (17 de mayo de 2024). *Visual Studio Code*. Obtenido de Code editing, Redefined.: <https://code.visualstudio.com/>

Minería Visual de Datos para la Toma de Decisiones Estratégicas en Importaciones

Visual Data Mining for Strategic Import Decision-Making

Andrés Teodoro Calle Clavijo¹ <https://orcid.org/0009-0009-0104-5458>, Luis Tonon-Ordóñez¹ <https://orcid.org/0000-0003-2360-9911>, Marcos Orellana¹ <https://orcid.org/0000-0002-3671-9362>

¹Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI), Cuenca, Ecuador
acallemsn@es.uazuay.edu.ec, ltonon@uazuay.edu.ec,
marore@uazuay.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/12

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

En el comercio internacional, la elección de un proveedor de productos ideal puede ser un desafío. Bajo este antecedente, resulta obligatorio identificar cuáles proveedores y sus países en la importación de cierto bien resultan más adecuados. Por lo tanto, en este trabajo se propone un modelo que permita realizar análisis y visualizaciones de datos de costos de las importaciones al Ecuador dentro del periodo 2008-2018. Para lograrlo, se analizó la información existente sobre las importaciones a través de una revisión de la literatura relacionada. Luego, se aplicó el algoritmo K-means para agrupar los países por cada partida arancelaria, tomando en cuenta el valor FOB y los costos de importación. Finalmente, se diseña una interfaz de visualización para facilitar la toma de decisiones con base en la información obtenida. En consecuencia, el modelo propuesto es útil para la toma de decisiones en las importaciones, debido a que permite realizar análisis de los datos de todos los países en conjunto con los bienes importados, demostrando ser aplicable a una amplia gama de empresas.

Palabras clave: Clusterización, Comercio Internacional, Inteligencia de Negocios, Minería de Datos, Visualización de Datos.

Abstract

In international trade, choosing the ideal supplier can be a challenge. Against this background,

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

Como citar: Calle, A., Tonon-Ordóñez, L. & Orellana M. (2024). Minería Visual de Datos para la Toma de Decisiones Estratégicas en Importaciones. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 163-176. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1209>

it is mandatory to identify the countries from which the import of a certain good is most appropriate. Therefore, this paper proposes a model that allows for the analysis and visualization of cost data for imports into Ecuador from 2008-2018. To achieve this, the existing information on imports was analyzed by reviewing the related literature. Then, the K-means algorithm was applied to group countries by tariff heading, considering the FOB value and import costs. Finally, a visualization interface facilitates decision-making based on the obtained information. Consequently, the proposed model is useful for decision-making in imports because it allows data analysis from all countries in conjunction with imported goods, proving to be applicable to a wide range of companies.

Keywords: Business Intelligence, Clustering, Data Mining, Data Visualization, International Trade.

Introducción

El comercio internacional se posiciona como uno de los pilares fundamentales para el desarrollo económico de los países. Al facilitar el intercambio de bienes, servicios y tecnología entre naciones, se dinamiza la economía y se contribuye significativamente al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) (Rahim et al., 2023). Esta actividad clave genera diversos beneficios como i) aumento del empleo: Los países exportadores experimentan un crecimiento en las oportunidades laborales, impulsando el bienestar social; ii) mayor variedad para los consumidores: Los países importadores se ven beneficiados por una amplia gama de productos y servicios a su disposición, lo cual satisface mejor sus necesidades y preferencias; iii) información para la toma de decisiones: El comercio internacional permite a los consumidores acceder a información sobre diferentes opciones, facilitando la elección de los bienes que mejor se ajustan a sus necesidades y presupuesto (Tâu & Sharfeldin, 2021). Por lo que, el comercio internacional se erige como un motor fundamental para el progreso económico y social de las naciones, impulsando el crecimiento, la generación de empleo y el bienestar de los ciudadanos.

Si bien el comercio internacional es un motor fundamental para el crecimiento económico, la toma de decisiones en este ámbito se ve afectada por altos niveles de incertidumbre (Ponlaem et al., 2021). Este factor eleva el riesgo asociado a las importaciones y exportaciones (Bonaime et al., 2018), dificultando el intercambio fluido de bienes. En este contexto, el análisis de datos de importaciones se convierte en una herramienta crucial para reducir la incertidumbre y facilitar el comercio internacional. Las cifras del Banco Central del Ecuador (BCE) lo confirman: En 2018, las importaciones del país alcanzaron los 22,385 millones de dólares, representando el 20.81% del PIB, y compuestas principalmente por materias primas y bienes de capital (Banco Central del Ecuador, 2023).

El análisis y la comprensión de los costos de importación de las diferentes subpartidas es fundamental para reducir el riesgo en las decisiones de importación y exportación, optimizar los procesos logísticos y de cadena de suministro, identificar nuevas oportunidades comerciales, negociar mejores precios con proveedores internacionales y tomar decisiones estratégicas informadas para la gestión del comercio exterior.

El análisis de datos ha demostrado ser una herramienta invaluable para optimizar la gestión de cadenas de suministro y aumentar la ventaja competitiva en el comercio internacional. Al reducir la incertidumbre en factores como la demanda y las condiciones del mercado, es posible tomar decisiones más informadas y estratégicas (Dubey et al., 2021). Las técnicas de minería de datos son capaces de realizar análisis robustos del comportamiento comercial de los

países, facilitando la toma de decisiones acertadas en materia de importaciones y exportaciones. Sin embargo, la complejidad de la interpretación y comunicación de los resultados obtenidos mediante estas técnicas puede dificultar su comprensión a los usuarios (Chambers, 2018).

Así pues, la visualización de datos es importante, ya que a través de resúmenes visuales y paneles de control o dashboards permite comunicar información de manera clara, concisa y comprensible (J. Kim et al., 2016). Su aplicación en el ámbito del comercio internacional ha demostrado ser particularmente útil para visualizar el comportamiento del comercio entre diferentes regiones, considerando variables como el volumen de compraventa, el costo y su evolución a lo largo del tiempo (S. Kim et al., 2020). La principal ventaja de la visualización de datos radica en su capacidad para ofrecer al usuario una comprensión intuitiva de la información presentada. En el caso de Ecuador, la aplicación de estas técnicas a gran escala permitiría representar gráficamente los costos de importación, facilitando su análisis y la toma de decisiones estratégicas en materia de comercio exterior.

Conforme con los antecedentes expuestos, en esta investigación se propone un modelo de análisis y visualización de datos de importaciones del Ecuador en el período 2008-2018 en base a técnicas de minería de datos. Con la finalidad de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones comerciales internacionales al conocer cuáles son los países con los que se puede lograr una mejor relación comercial en base a los costos de importación.

De este modo, este artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2 se presentan los trabajos relacionados; la Sección 3 expone la metodología empleada; en la Sección 4 se detallan los resultados obtenidos; la Sección 5 manifiesta las discusiones y finalmente en la última Sección se exhiben las conclusiones y los trabajos futuros.

Trabajos Relacionados

En el ámbito del comercio internacional, el análisis de datos ha emergido como una herramienta fundamental para comprender las dinámicas complejas que lo caracterizan. Diversos estudios han demostrado varias técnicas para identificar patrones, clasificar países y tomar decisiones estratégicas. Siendo así, en un estudio realizado por Simić et al. (2016), examinaron las importaciones de telas de algodón a los Estados Unidos durante el período 1990-2010. Para ello, propusieron un enfoque original que clasificaba a los 200 países proveedores en distintos grupos según su desempeño económico.

Los investigadores obtuvieron datos de valor monetario y peso de las importaciones del repositorio de comercio exterior de Estados Unidos. Posteriormente, aplicaron el algoritmo K-means, una técnica de agrupamiento para identificar grupos de países con características similares. Los resultados revelaron una correlación significativa entre el crecimiento económico de un país y su volumen de exportaciones de algodón a los Estados Unidos. Los países con economías de rápido crecimiento tienden a ser los principales proveedores de algodón al mercado estadounidense.

Un estudio adicional analiza las importaciones de arroz a Indonesia desde diversos países durante el período 2000-2015, incluyendo Vietnam, Tailandia, China, India, Pakistán, Estados Unidos, Taiwán, Singapur y Myanmar. Con el objetivo de identificar los principales proveedores de arroz, se agruparon los países de importación en tres clústeres: alto nivel de importación, introducción media y bajo nivel de importación. Para ello, emplearon el algoritmo K-means y el software RapidMiner, considerando las variables de peso de la mercadería en toneladas, su

valor de costo, seguro y flete o Cost, Insurance, Freight (CIF). Los resultados revelaron que Vietnam y Tailandia, pertenecientes al clúster de alto nivel de importación, eran los principales proveedores de arroz para Indonesia, seguidos por China, India y Pakistán en el clúster de introducción media. Los países restantes se ubicaron en el clúster de bajo nivel de importación (Windarto, 2017).

Dankevych et al. (2018) identificaron socios potenciales para el comercio internacional de productos agrícolas a largo plazo con Ucrania. Se analizaron datos del período 2014-2016 utilizando el algoritmo K-means para agrupar países en tres categorías: "Orientados a la exportación", "Orientados a la importación" y "Socios potenciales". Austria, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Grecia, Irlanda, Letonia, Lituania, Luxemburgo y España fueron identificados como socios potenciales basados en su potencial comercial y perspectivas a largo plazo.

Batarseh et al. (2019) exploraron la viabilidad de utilizar técnicas de minería de datos para agrupar países según su nivel de comercio de productos agrícolas. Se analizaron datos del sistema de agricultura de Estados Unidos entre 1989 y 2018. El algoritmo K-means aplicado con Python agrupa los países en tres clústeres, principales importadores y exportadores entre Estados Unidos y China, países con comercio significativo entre Japón, Alemania, Canadá, Reino Unido, India y Francia, y el resto de los países. Este tipo de análisis puede ser útil para informar la formulación de políticas comerciales.

En otro estudio, se evalúa la eficacia del algoritmo K-means para clasificar países desarrollados y en vías de desarrollo. Se utilizaron datos de 167 países obtenidos del repositorio Kaggle, sin especificar el período de tiempo analizado. Los investigadores analizaron factores relacionados con las importaciones, exportaciones y otras variables. El algoritmo K-means logró clasificar correctamente 32 países como desarrollados y 135 como en vías de desarrollo (Wulandari & Yogantara, 2022).

Los datos del comercio internacional ofrecen información valiosa para comprender las dinámicas económicas globales, identificar oportunidades comerciales y tomar decisiones estratégicas. La visualización de datos juega un papel crucial en la transformación de estos datos complejos en información accesible y útil para diversos actores, como gobiernos, empresas y organismos internacionales.

En el estudio de SIKOS T & Meirmanova (2020), examinaron las interconexiones en el comercio mundial de trigo utilizando representaciones geográficas y grafos. Se identifica una red de escala libre, donde algunos países tienen un papel central en el comercio, mientras que otros participan de manera marginal. Esta información puede ser útil para comprender la vulnerabilidad del mercado ante eventos disruptivos y para diseñar políticas comerciales efectivas.

Otro estudio evalúa el comercio internacional de Corea del Sur durante el período 2007-2017, creando visualizaciones que muestran las importaciones y exportaciones por país y tipo de bien (Dar et al., 2020). Se identificó a China, Estados Unidos, Vietnam, Hong Kong y Japón como los principales socios comerciales de Corea del Sur. Esta información puede ser utilizada por empresas y autoridades gubernamentales para identificar oportunidades de mercado y optimizar las estrategias comerciales.

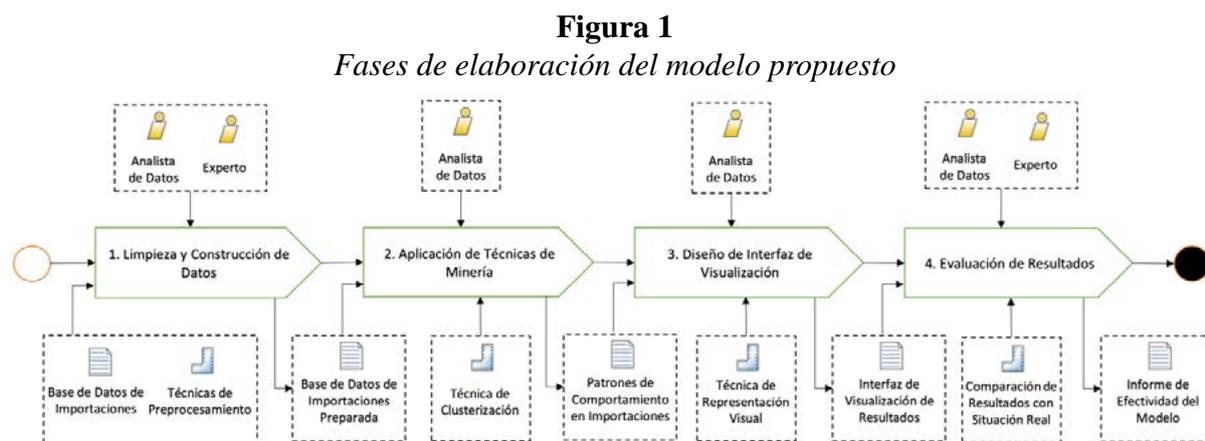
Pacini et al. (2021) investigaron sobre el comercio internacional de residuos de plástico en 2018 utilizando visualizaciones en forma de grafos. En este estudio, el país de Alemania fue determinado como el mayor comerciante, seguido de Estados Unidos, Bélgica, Italia y otros países. Esta información puede ser útil para comprender los flujos de residuos y para implementar políticas de gestión ambiental efectivas.

Una investigación explora las exportaciones de frutas de Brasil entre 1986 y 2017, utilizando visualizaciones en forma de grafos para mostrar los destinos y el nivel de ingresos de los países importadores, Bernal et al. (2021). En este estudio se señala a Europa como el principal mercado, destacando la importancia de la visualización de datos para comprender las tendencias del comercio internacional de productos agrícolas.

En esta investigación se propone una interfaz interactiva para visualizar los precios de franco a bordo o Free on Board (FOB) y costos de importación del Ecuador. La interfaz incluye gráficos de barras, grafos y filtros para facilitar la toma de decisiones comerciales internacionales.

Materiales y Métodos

Para la elaboración del modelo se contemplan las siguientes fases: i) limpieza y construcción de los datos, ii) aplicación de técnicas de minería, iii) diseño de interfaz de visualización y iv) evaluación de resultados. La Figura 1 presenta las fases de la metodología utilizando el Meta-Modelo 2.0 de Ingeniería de Procesos de Software y Sistemas (SPEM 2.0).



Limpieza y construcción de datos

Para esta fase se utilizó como entrada la base de datos de importaciones del Ecuador obtenida del sitio web del Banco Central del Ecuador (Banco Central del Ecuador, 2023). El análisis fue ejecutado para el periodo 2008-2018. Este conjunto de datos fue seleccionado debido a la disponibilidad de una base de datos consolidados de todos los países de origen y partidas arancelarias importadas entre esos años (Medina López et al., 2023). En esta instancia, el objetivo fue transformar la base disponible en un conjunto de datos adecuado y aplicar las técnicas de minería de datos necesarias. Para ello, se evaluó la necesidad y utilidad de cada variable y se utilizó el lenguaje de programación Python.

El conjunto de datos consta de 1,471,125 registros, una cantidad grande para ser manejada en un solo archivo. Por este motivo, fue dividida en 2 hojas del documento, las mismas que fueron cargadas al procesador de forma individual y luego fueron unificadas. Luego de la carga, se evidenció que la base de datos constaba de 42 variables Categóricas, Nominales, Numéricas, Categóricas Ordinales y Dicotómicas.

El análisis fue ejecutado en base a los datos de los precios del franco a bordo o Free On Board (FOB) y costos de importación. Para esto, fueron consideradas las variables “Valor FOB de la importación” y “Costo de importación”. Sin embargo, los valores de estas variables se presentaban en base al total de importaciones anuales de cada partida arancelaria, por lo que estaban en función de la cantidad de toneladas importadas. A fin de evitar sesgos en la interpretación, se analizaron los valores por tonelada. Para esto, se generaron las variables “FOB por tonelada” y “Costo de importación por tonelada”. Esto se logró dividiendo respectivamente los valores de las variables “Valor FOB de la Importación” y “Costo de importación” entre los datos de la variable “Toneladas importadas” para cada año, país de importación y partida arancelaria.

Por otra parte, para el proceso de clusterización, es preferible trabajar con aquellas variables que brinden información útil durante el análisis. Por este motivo, una metodología conocida para prescindir de variables que no aportan valor es eliminar aquellas que brindan la misma información o tienen un alto nivel de correlación (Hsu et al., 2010). Así, no todas las variables disponibles fueron necesarias. El objetivo de este estudio es conocer los países importadores más adecuados para cada partida, por lo que se seleccionaron las variables como el nombre del país de importación, el año de la importación, código de la partida “NANDINA” actual y el costo de importación por tonelada y FOB por tonelada. Los criterios fueron seleccionados en base a cuáles variables pueden brindar información sobre si es conveniente o no importar un bien seleccionado de un país específico desde el punto de vista económico.

Luego, se evidenció la existencia de valores en blanco en ciertas variables. Estos valores pueden repercutir en complicaciones al aplicar los algoritmos. Sin embargo, dichos valores pueden ser reemplazados o eliminados (Sehgal & Bhargava, 2018). En los análisis comerciales, la ausencia de registros implica que no existió intercambio alguno, por lo tanto, a los datos en blanco se los reemplazó con ceros.

Para ejecutar el análisis, primero se obtuvieron los valores promedio de las variables “FOB por tonelada” y “Costo de importación por tonelada” en función de las variables “Año de la importación”, “Nombre del país de importación en inglés” y “Código de partida NANDINA actual”. De esta manera, se consiguió un total de 124,150 registros correspondientes a 224 países y 7,131 partidas arancelarias.

Aplicación de Técnicas de Minería

Una vez culminado el preprocesamiento del conjunto de datos, fue aplicada la técnica de clusterización. Como se mencionó anteriormente, el algoritmo K-means ha sido ampliamente utilizado para clusterización en varios estudios relacionados a agrupación de países para análisis comerciales (Dankevych et al., 2018; Simić et al., 2016; Windarto, 2017). Sin embargo, este método requiere que previamente se defina el número de clústeres para trabajar.

Aplicación de clusterización

Aunque la aplicación del algoritmo K-means es el método más utilizado para clusterizar (Sinaga & Yang, 2020), la cantidad de clústeres (k) en los que se desea agrupar los datos es requerida como entrada; lo cual puede resultar complejo de determinar. Por otra parte, dicho número puede ser predefinido en base a las necesidades del negocio (Kodinariya et al., 2013). Así, trabajos previos que han agrupado países en base a variables económicas han dividido los datos en 3 niveles –alto, medio y bajo– (Dankevych et al., 2018).

En esta investigación se persigue un objetivo análogo y se ha considerado definir tres grupos de países por cada partida arancelaria ($k = 3$). Por otra parte, existen partidas arancelarias que fueron importadas desde una cantidad de países menor o igual a la cantidad de grupos predefinida. En estos casos, se utilizó un número de clústeres igual a la cantidad de naciones desde las que se importó el bien, resultando en un país dentro de cada clúster.

Una vez definido el número de clústeres, se utilizó el algoritmo K-means con los datos de importaciones utilizando la librería scikit-learn de Python. El script desarrollado realiza una iteración por cada partida arancelaria. En cada repetición se agrupa a los países desde donde se importó la partida en base a las variables “FOB por tonelada” y “Costo de importación por tonelada” de acuerdo con el número de clústeres definido para dicha clasificación arancelaria. En esta instancia, los clústeres obtenidos fueron representados por los números 0, 1 y 2 y no siempre están conformados por los mismos grupos de países. Luego, se añadió un campo al dataset o conjunto de datos para especificar el número de clústeres obtenidos del proceso, de modo que pueda ser incluido en la fase de visualización.

Diseño de Interfaz de Visualización

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos y la toma de decisiones, se diseñó un entorno para la visualización de los grupos obtenidos y su relación con los datos iniciales mediante interacción del usuario final. Este proceso fue realizado mediante el software Microsoft Power BI, debido a que permite representar los datos de forma efectiva y el tipo de visualización depende de factores como los tipos de datos, las preguntas que se busca responder y al público que va dirigido el informe. Lo que se busca con la visualización de los datos es la simplicidad, claridad, coherencia, interactividad, y accesibilidad de los datos.

Interfaz e Interacción del usuario

Primero, se vinculó el código de la partida de la base de datos clusterizados con la información de las partidas arancelarias de la base inicial, de modo que en la interfaz fueron colocadas las variables “Nivel 1 de la Partida”, “Nivel 2 de la Partida”, “Nivel 3 de la Partida” y “Nivel 4 de la Partida” para facilitar la búsqueda de información con respecto a cada tipo de bien importado. Por otra parte, fue incluida la variable “Clúster” para identificar a qué grupo pertenece cada país desde la interfaz.

Como siguiente paso, en la interfaz se colocaron los valores promedio de las variables “Free On Board (FOB)” y “Costo de importación” de cada grupo de países clusterizados por su importancia en el análisis de importaciones. Además, fue incluido un elemento de identificación de las unidades en las que se mide cada partida arancelaria. Finalmente, se incluyeron dos representaciones de las variables “Free On Board (FOB)” y “Costo de importación” mediante grafos con el país Ecuador en el nodo central. En esta instancia, los tamaños de los nodos de los grafos fueron parametrizados de tal manera que resulten proporcionales a los valores que toman las variables, mientras que su color fue utilizado para indicar el clúster al que pertenecía el país representado.

El objetivo del trabajo es facilitar la toma de decisiones para el usuario final a través de representaciones visuales de los datos y que permita comprender de forma sencilla las complejas relaciones de los datos. Para ello, se utilizó la visualización de los datos como una herramienta que permita identificar a los países con los que sería más conveniente ejecutar procesos de importación en base al costo de importación y valor FOB. Así, para facilitar la interacción del usuario, se colocaron opciones de filtrado a las variables “Nivel 1 de la Partida”, “Nivel 2 de la Partida”, “Nivel 3 de la Partida”, “Nivel 4 de la Partida” de modo que se pueda acceder de

manera sencilla e intuitiva a la información requerida. Además, se incluyó el campo “Clúster”, que también puede ser filtrado, para poder identificar los países pertenecientes a cada clúster de las partidas.

Evaluación de resultados

El modelo fue sometido a una evaluación por parte de expertos en el campo del comercio internacional y la minería de datos, quienes confirmaron su validez y aplicabilidad en diversos escenarios. Los expertos destacaron la solidez de la metodología, la precisión de los resultados y la utilidad potencial del modelo para la toma de decisiones estratégicas. Por lo tanto, los expertos evaluaron el modelo en base a la solidez de la metodología, precisión de los resultados, aplicabilidad del modelo y el análisis para identificar los aspectos positivos y negativos del modelo, así como las áreas de mejora potenciales.

Resultados

Como parte del proceso de investigación, fue elaborada una base de datos completa que contiene promedios de precios FOB por tonelada y costos de importación por tonelada para cada país de origen de las importaciones realizadas en Ecuador durante el período 2008-2018. La información se encuentra organizada por partida arancelaria “NANDINA”, lo que facilita el análisis y la comparación de datos entre diferentes productos. Para ilustrar la aplicación de la base de datos, fue seleccionada la partida arancelaria 85171200, que corresponde a "teléfonos móviles (celulares) y los de otras redes inalámbricas". Esta partida fue elegida por su simplicidad y por ser un producto de uso común en la actualidad. La descripción de la partida arancelaria con el código 85171200 es:

- Sección VIII: Máquinas, aparatos y material eléctrico; sus partes; aparatos de grabación o reproducción de sonido, aparatos de grabación o reproducción de imagen y sonido en televisión, y las partes y accesorios de estos aparatos.
- Capítulo 85: Máquinas, aparatos y material eléctrico, y sus partes.
- Partida 8517: Teléfonos, incluidos los teléfonos móviles (celulares) y los de otras redes inalámbricas, los demás aparatos para emisión, transmisión o recepción de voz, imagen u otros datos, incluidos los de comunicación en red con o sin cable.
- Subpartida 851712: No hay descripción disponible.
- Ítem 85171200: Teléfonos móviles (celulares) y los de otras redes inalámbricas.

El análisis del conjunto de datos para la partida arancelaria 85171200 permitió identificar los países de origen con los precios FOB y costos de importación más favorables para la importación de teléfonos móviles hacia Ecuador. Esta información puede ser de gran utilidad para empresas importadoras, entidades gubernamentales y otros actores interesados en el comercio internacional de este tipo de productos. En la Tabla 1 se muestra la agrupación obtenida de la partida arancelaria de ejemplo.

Tabla 1
Conjunto de datos resultante (Fragmento)

COSTO DE IMPORTACIÓN POR TONELADA	FOB POR TONELADA	NOMBRE DEL PAÍS DE IMPORTACIÓN	GRUPO
28,808.81	1,295,847.76	Canada	0
16,425.13	783,938.49	Colombia	0

COSTO DE IMPORTACIÓN POR TONELADA	FOB POR TONELADA	NOMBRE DEL PAÍS DE IMPORTACIÓN	GRUPO
58,716.67	799,096.67	Denmark	0
5,293.19	369,255.89	United States of America	2
6,652.95	532,318.35	Vietnam	2

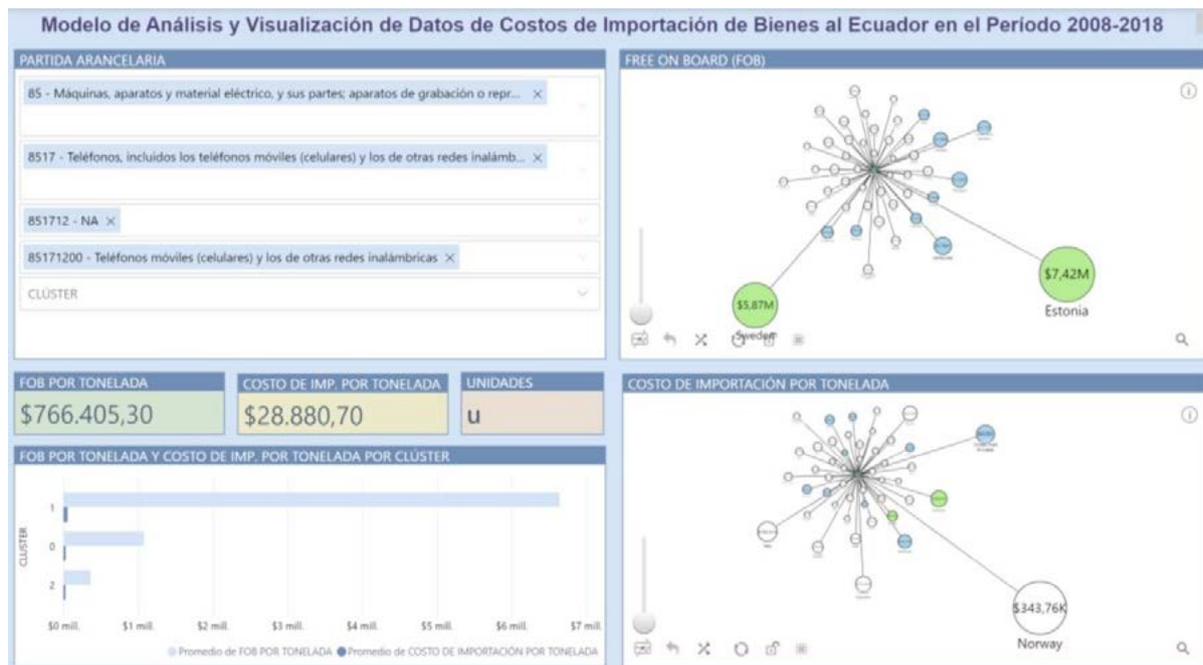
En la Tabla 1 se observa que cada país presente en el campo “Nombre del País de Importación” pertenece a un clúster asignado en el campo “Grupo” identificado por los valores 0, 1 y 2 (3 clústeres) en base a las variables planteadas inicialmente. Para el ejemplo presentado, la interpretación puede ser la siguiente:

- Clúster 0: Se encuentran los países desde los cuales el costo promedio de importación es 30,383.00 dólares por tonelada y el valor FOB promedio de la importación es 1,078,415.29 dólares por tonelada.
- Clúster 1: Se encuentran los países desde los cuales el costo promedio de importación es 56.411,34 dólares por tonelada y el valor FOB promedio de la importación es 6,644,241.87 dólares por tonelada.
- Clúster 2: Se encuentran los países desde los cuales el costo promedio de importación es 26,975.34 dólares por tonelada y el valor FOB promedio de la importación es 361,856.33 dólares por tonelada.

De acuerdo con las necesidades del negocio, es posible identificar cuáles son los países desde los que resulta más conveniente importar una partida “NANDINA” específica en base a los costos y valor FOB en los que se incurre para adquirir el bien descrito desde el Ecuador. A su vez, estos resultados fueron representados en un informe visual (dashboard), cuya interfaz se diseñó para facilitar el acceso a la información disponible de todas las partidas y países con interacciones sencillas e intuitivas por parte del usuario, como se representa en la Figura 2.

Figura 2

Interfaz de visualización de datos de costos de importaciones al Ecuador



En el informe visual presentado, cada cuadro permite el acceso a la información que requiera el usuario de acuerdo con el tipo de bien que desea importar. Para esto, los filtros y los gráficos dinámicos facilitan la comparación entre los costos de importación y FOB de cada país. Los campos de la sección superior izquierda de la Figura 2 muestran todos los posibles filtros del informe visual, desde lo más general (Nivel de Partida 1) a lo más específico (Clúster), como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3
Filtros utilizados del informe

Los valores de la sección media izquierda muestran el promedio de las variables FOB y “Costo de importación”. Se colocaron como elementos separados por su relevancia en el análisis, como se observa en la Figura 4.

Figura 4
Valores visualizados en el informe y unidades de la partida arancelaria

FOB POR TONELADA	COSTO DE IMP. POR TONELADA	UNIDADES
\$766.405,30	\$28.880,70	u

En la sección inferior izquierda, se muestra la gráfica de barras que puede ser utilizada para comparar la diferencia entre los valores promedio que tomaron las variables FOB y “Costo de importación” para cada clúster, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5
Comparación de valores entre los clústeres



Finalmente, en la Figura 6 se aprecia la representación de las variables FOB y “Costo de importación” en dos visualizaciones de grafos para facilitar la comparación de los valores que adquieren en base al país de origen, así como el clúster al que pertenece cada nación.

Figura 6

Valores visualizados en el informe y unidades de la partida arancelaria



El modelo obtenido fue validado, de manera cualitativa, por un equipo de expertos conformado por profesores de las escuelas de Estudios Internacionales y Administración. Asimismo, para la validación se compararon los resultados obtenidos con la información provenientes de otras fuentes, como las bases de datos oficiales, estudios previos e informes de mercado. El resultado de esta fase indica que, si bien hay aspectos en los que se podría profundizar para determinar cuál es el mejor socio comercial, el modelo es un buen punto de partida para identificar cuáles son los mejores países para importar cada partida arancelaria.

Discusión

Este trabajo revisa la literatura existente sobre la visualización y el procesamiento de datos en estudios sobre importaciones internacionales. Si bien estudios previos han analizado datos de importaciones de países, este trabajo se distingue por su enfoque práctico, dirigido a facilitar la toma de decisiones por parte de empresarios que buscan identificar los países óptimos para importar determinados bienes.

El estudio de Simić et al. (2016) ha analizado datos de importaciones para agrupar países mediante la técnica de clusterización. Sin embargo, su enfoque se limita a un solo tipo de producto, lo que restringe su aplicación a empresas de un sector específico. En contraste, este trabajo presenta un modelo de análisis generalizable a todos los tipos de productos (Partida NANDINA) importados a Ecuador. Esta amplitud lo convierte en una herramienta valiosa para una gran variedad de empresas, ya que les permite identificar los países óptimos para importar cualquier tipo de bien según sus necesidades específicas. Windarto (2017), quien agrupó países importadores de un solo producto, observó una tendencia a clasificarlos en 3 clústeres, enfoque

también utilizado por Dankevych et al. (2018) y Batarseh et al. (2019). Considerando la validez de este enfoque, se replicó para agrupar a los países proveedores de Ecuador.

El análisis de los resultados evidenció la robustez del algoritmo K-means para la agrupación de países, corroborando su efectividad, como lo mencionan (Wulandari & Yogantara, 2022). En cuanto a la visualización, se optó por métodos tradicionales como los propuestos por SIKOS T & Meirmanova (2020) y Dar et al. (2020). Si bien estos trabajos se enfocan en variables como el nivel de importaciones y exportaciones, el presente trabajo mantiene el foco en el usuario final, permitiendo identificar diferencias en las variables de interés, en este caso, el FOB y “Costo de importación”. Bernal et al. (2021) y Pacini et al. (2021), quienes exploraron con éxito la representación de datos de comercio internacional mediante grafos. Este estudio adoptó este enfoque. Cada país se representa como un nodo, cuyo tamaño se relaciona directamente con el costo total (bien e importación) y cuyo color indica el clúster al que pertenece, facilitando una identificación rápida y sencilla.

En consonancia con el trabajo de Liu et al. (2021) sobre la utilidad de los análisis de datos de comercio para la gestión de rutas comerciales enfocadas en el transporte de bienes, este estudio se presenta como un punto de partida para identificar potenciales nuevas rutas comerciales o potenciar las existentes entre Ecuador y los países con los que resulta más conveniente comerciar desde una perspectiva económica.

Conclusiones

Elegir el país adecuado para importar productos puede ser un desafío sin las herramientas de análisis correctas. Para abordar esto, se desarrolló un modelo para analizar y visualizar los costos de importación de bienes a Ecuador entre 2008 y 2018. Este modelo facilita la identificación de los mejores países para importar cada producto, lo que reduce la incertidumbre en la toma de decisiones comerciales internacionales.

Tras revisar la literatura sobre visualización y procesamiento de datos de comercio internacional, se encontró que el algoritmo K-means es el modelo de clusterización más utilizado debido a su facilidad de uso y efectividad. Además, la representación de datos en forma de grafos se ha vuelto popular para mostrar relaciones entre entidades, ya que permite transmitir una gran cantidad de información a través de recursos visuales como el color y el tamaño de los nodos. La clusterización, utilizando el algoritmo K-means, demostró que para encontrar patrones de comportamiento y obtener información relevante de una base de datos, era crucial comprender las necesidades del usuario y seleccionar las variables correctas antes de realizar cualquier procesamiento tecnológico. La creación del modelo de visualización basado en representaciones gráficas reveló una amplia gama de posibilidades para transmitir información de forma visual. Esto lleva a la conclusión que enfocarse en la funcionalidad del modelo y en la creatividad para simplificarlo sin sacrificar la calidad de la información transmitida son aspectos esenciales en la visualización de datos.

La evaluación de expertos confirmó la validez y aplicabilidad del modelo en diversos escenarios. Un ejemplo es su uso por parte de empresarios que buscan el mejor país para importar productos específicos de manera más económica, lo que se traduce en una mayor rentabilidad para sus empresas. Este análisis también es útil para que los funcionarios públicos formulen y establezcan políticas comerciales que mejoren la competitividad de Ecuador. Además, el personal que establece rutas comerciales hacia Ecuador puede utilizar el modelo para identificar nuevas conexiones potenciales en función de los costos de importación.

Entre las recomendaciones para futuros trabajos está la incorporación de otras herramientas visuales que permitan la observación de los datos de importaciones por un periodo mayor al 2018, con la finalidad de conglomerar más datos y que se presente de forma simple y estructurada. Asimismo, con respecto al análisis temporal, sería factible comparar la variación de los costos entre un período y otro.

Reconocimientos

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 Ciencias de la Computación y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).

Referencias

- Banco Central del Ecuador. (2023). *Comercio Exterior*.
- Batarseh, F., Gopinath, M., Nalluru, G., & Beckman, J. (2019). Application of machine learning in forecasting international trade trends. *ArXiv Preprint ArXiv:1910.03112*.
- Bonaime, A., Gulen, H., & Ion, M. (2018). Does policy uncertainty affect mergers and acquisitions? *Journal of Financial Economics*, 129(3), 531–558.
- Bornal, D. R., Silvestrini, M. M., Pio, L. A. S., Costa, A. C., Peche, P. M., & Ramos, M. C. P. (2021). Brazilian position in the international fresh fruit trade network. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43, e-021.
- Chambers, J. M. (2018). *Graphical methods for data analysis*. Chapman and Hall/CRC.
- Dankevych, V., Dankevych, Y., & Pyvovar, P. (2018). Clustering of the international agricultural trade between Ukraine and the EU. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 40(3), 307–319.
- Dar, Q., Dar, G. F., Ma, J.-H., & Ahn, Y.-H. (2020). Visualization, economic complexity index, and forecasting of South Korea international trade profile: a time series approach. *Journal of Korea Trade*, 24(1), 131–145.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Fosso Wamba, S., Roubaud, D., & Foropon, C. (2021). Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 59(1), 110–128.
- Hsu, H.-H., Hsieh, C.-W., & others. (2010). Feature Selection via Correlation Coefficient Clustering. *J. Softw.*, 5(12), 1371–1377.
- Kim, J., Jo, I.-H., & Park, Y. (2016). Effects of learning analytics dashboard: analyzing the relations among dashboard utilization, satisfaction, and learning achievement. *Asia Pacific Education Review*, 17, 13–24.
- Kim, S., Ku, S., Chang, W., & Song, J. W. (2020). Predicting the direction of US stock prices using effective transfer entropy and machine learning techniques. *IEEE Access*, 8, 111660–111682.
- Kodinariya, T. M., Makwana, P. R., & others. (2013). Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *International Journal*, 1(6), 90–95.
- Liu, H., Chen, X., Wang, Y., Zhang, B., Chen, Y., Zhao, Y., & Zhou, F. (2021). Visualization and visual analysis of vessel trajectory data: A survey. *Visual Informatics*, 5(4), 1–10.
- Medina Lopez, D. S., Orellana, M., Tonon Ordóñez, L. B., & Zambrano-Martinez, J. L. (2023). Modelo Visual del Comercio Externo en Exportaciones Ecuatorianas. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 35(2), 143–156. <https://doi.org/10.37815/rte.v35n2.1051>

- Pacini, H., Shi, G., Sanches-Pereira, A., & da Silva Filho, A. C. (2021). Network analysis of international trade in plastic scrap. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 203–216.
- Ponlaem, K., Kaewsompong, N., Maneejuk, P., & Sirisrisakulchai, J. (2021). Impact of Economic Policy Uncertainty on Thailand Macroeconomic Variables. *Behavioral Predictive Modeling in Economics*, 437–451.
- Rahim, T., Ibrahim, M., Shah, T. A., & Mehmood, W. (2023). Impact of Foreign Trade on Economic Growth: Empirical Evidence from Pakistan. *Journal of Policy Research*, 9(1), 188–195.
- Sehgal, M., & Bhargava, D. (2018). Knowledge mining: an approach using comparison of data cleansing tools. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 39(1), 337–343.
- SIKOS T, T., & Meirmanova, A. (2020). *Geo-based visual network analysis of export and import patterns in international wheat trade*.
- Simić, D., Svirčević, V., Sremac, S., Ilin, V., & Simić, S. (2016). An efficiency k-means data clustering in cotton textile imports. *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2015*, 255–264.
- Sinaga, K. P., & Yang, M.-S. (2020). Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE Access*, 8, 80716–80727.
- Tâu, N., & Sharfeldin, I.-M.-M. (2021). Abordarea teoretică a mediului internațional de afaceri. *Administrarea Publică*, 109(1), 113–126.
- Windarto, A. P. (2017). Implementation of data mining on rice imports by major country of origin using algorithm using k-means clustering method. *International Journal of Artificial Intelligence Research*, 1(2), 26–33.
- Wulandari, L., & Yogantara, B. O. (2022). Algorithm analysis of K-means and fuzzy C-means for clustering countries based on economy and health. *Faktor Exacta*, 15(2).

EDUCACIÓN Y TECNOLOGÍAS DE APRENDIZAJE



MoTE: Desarrollo de una Herramienta Informática para el Monitoreo del Compromiso Estudiantil

MoTE: Development of a Tool for Monitoring of sTudent Engagement

Jorge Maldonado-Mahauad¹ <https://orcid.org/0000-0003-1953-390X>, Felipe Mendieta¹ <https://orcid.org/>, Carlos Muñoz¹ <https://orcid.org/>

¹Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

jorge.maldonado@ucuenca.edu.ec,

felipe.mendieta98@ucuenca.edu.ec, carlos.munozg@ucuenca.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/11

Aceptado: 2024/10/03

Publicado: 2024/10/15

Resumen

El compromiso estudiantil (engagement, en inglés) en el aprendizaje es crucial para el rendimiento académico, la motivación y la participación activa. Sin embargo, medir y dar cuenta del engagement estudiantil, tanto en sesiones presenciales como en línea, sigue siendo un desafío para los educadores. Los métodos existentes, como los autoinformes, las entrevistas e incluso las herramientas de seguimiento ocular en tiempo real, carecen de un enfoque de participación multidimensional (es decir, cognitivo, afectivo y conductual). En respuesta, este artículo presenta el desarrollo y evaluación de MoTE, una herramienta en tiempo real para monitorear el engagement de los estudiantes. Siguiendo una metodología de Investigación Basada en el Diseño, detallamos las fases de identificación de indicadores y visualizaciones para satisfacer las necesidades de profesores y estudiantes, culminando con la propuesta de un prototipo inicial. Se finaliza con la evaluación con 146 estudiantes en contextos presenciales y en línea, proporcionando información valiosa sobre los indicadores, paneles y funcionalidades para diseñar una herramienta efectiva de seguimiento del engagement de los estudiantes. Este trabajo no solo propone un enfoque innovador para evaluar el engagement, sino que también abre vías para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en educación.

Palabras clave: analíticas de aprendizaje, compromiso estudiantil, herramientas pedagógicas, interacción en el aula.

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Maldonado-Mahauad, J., Mendieta, F. & Muñoz, C. (2024). MoTE: Desarrollo de una Herramienta Informática para el Monitoreo del Compromiso Estudiantil. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 178-195. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1204>

Abstract

Student engagement in learning is crucial for academic achievement, motivation, and active participation. However, measuring and accounting for student engagement, both in face-to-face and online sessions, remains a challenge for educators. Existing methods, such as self-reports, interviews, and even real-time eye tracking tools, lack a multidimensional engagement approach (i.e., cognitive, affective, and behavioral). In response, this article presents the development of MoTE, a real-time tool for monitoring student engagement. Following a Design-Based Research methodology, we detail the phases of identification of indicators and visualizations to meet the needs of teachers and students, culminating with the proposal of the architecture, and the implementation of an initial prototype. It ends with the evaluation with 146 students in face-to-face and online contexts, providing valuable information on the indicators, dashboards, and functionalities to design an effective tool for monitoring student engagement. This work not only proposes an innovative approach to assessing engagement but also opens avenues for future research and practical applications in education.

Keywords: pedagogical tools, learning analytics, student engagement, classroom interaction.

Introducción

La incorporación de la tecnología digital en el ámbito de la educación universitaria ha transformado profundamente la experiencia del estudiante, modificando las estructuras tradicionales de enseñanza y aprendizaje. Este cambio apunta a la necesidad de adoptar nuevas estrategias pedagógicas que complementen la tecnología con métodos de enseñanza para mejorar el proceso educativo (Pérez-Sanagustín, et al., 2022). Sin embargo, la mera presencia de la tecnología en el aula no garantiza por sí sola un avance educativo significativo (Sosa, 2017). Por lo tanto, es necesario que su integración facilite el acercamiento de los profesores a los estudiantes de una manera más significativa, fomentando un entorno educativo que incentive tanto la participación emocional como intelectual de los estudiantes con su proceso educativo (Bond, et al., 2020). En este contexto, surge una preocupación central entre los docentes, y es la disminución del compromiso (engagement, en inglés) de los estudiantes en el aula, ya sea presencial (es decir, cara a cara) o a distancia (es decir, en línea) (Imlawi, 2021). El engagement de los estudiantes juega un papel crucial en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes. Según una investigación reciente (Anand, 2023), el nivel de engagement es un indicador clave del rendimiento académico, el desarrollo cognitivo e incluso es un predictor de la deserción estudiantil. Un alto grado de compromiso significa que los estudiantes están involucrados emocional y cognitivamente en su aprendizaje (Anand, 2023). Esto se traduce en una mayor motivación, participación en el aula y un mejor rendimiento académico.

El papel del docente es fundamental para promover este compromiso (Anand, 2023), donde la integración efectiva de las tecnologías digitales en el aula puede servir como una herramienta valiosa para capturar datos sobre el compromiso (engagement, en inglés) de los estudiantes, ofreciendo a los profesores la oportunidad de diseñar o rediseñar sus prácticas pedagógicas a partir de la evidencia de datos (Sosa, 2017). De esta manera, se pueden promover estrategias más efectivas y adaptadas a las necesidades de los estudiantes. Para contribuir al campo de estudio, este artículo presenta MoTE (Monitoring sTudent Engagement), diseñada para supervisar la implicación/compromiso de los estudiantes y diseñada para superar las limitaciones de las herramientas existentes y proporcionar una herramienta que abarque las necesidades tanto de los profesores como de los estudiantes. MoTE aborda la necesidad de monitorear y fomentar la participación de los estudiantes, destacando su importancia para el éxito académico. Para lograrlo, este artículo explora diversas definiciones y modelos de participación estudiantil

que ponen de manifiesto su complejidad y la variedad de factores que influyen en ella, desde la participación en el aprendizaje hasta el bienestar emocional y la participación conductual en el entorno educativo. Además, este artículo examina las técnicas y herramientas informáticas existentes diseñadas para evaluar y monitorear la participación de los estudiantes, que han servido como innovaciones tecnológicas que han dado forma a la forma en que los educadores e investigadores abordan la participación de los estudiantes. También se presenta el proceso de diseño e implementación seguido que puede servir de guía para el desarrollo de innovaciones educativas y que se logre su adopción en los contextos educativos.

Este documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta el trabajo relacionado y las preguntas de investigación; en la sección 3 se describe la metodología utilizada y cómo se diseñó, implementó y evaluó (por estudiantes) la herramienta. En la sección 4 se presenta un resumen de las principales conclusiones y las líneas de trabajo futuras.

Trabajo Relacionado

Definición de Compromiso Estudiantil

Varios investigadores han ofrecido varias definiciones de la participación de los estudiantes. Por ejemplo, autores como Fredricks, et al. (2004) mencionan que el engagement suele entenderse como el grado de implicación y esfuerzo que los estudiantes invierten en su aprendizaje. Según Zapata (2018), el compromiso estudiantil se define como la participación activa de los estudiantes en las actividades académicas. Por su parte, Barkley (2010) describe el compromiso en un contexto universitario como un resultado dinámico, que se experimenta de manera continua y emerge de la interacción entre la motivación y el aprendizaje activo. Para los propósitos de este trabajo, la participación de los estudiantes se conceptualiza como el nivel de energía y esfuerzo que estos dedican a su entorno de aprendizaje (Bond, 2020). Esta definición de participación estudiantil es amplia, abarcando aspectos cognitivos, emocionales y conductuales, con un enfoque en la atención, la participación y la motivación de los estudiantes. La dimensión cognitiva del compromiso se refiere a los procesos mentales y actividades asociadas con el aprendizaje y la comprensión, lo que implica que los estudiantes participen en la construcción de significados, el razonamiento crítico y la resolución de problemas. Un estudiante comprometido cognitivamente muestra altos niveles de atención y concentración en las tareas académicas, además de un deseo de adquirir nuevos conocimientos y habilidades (Bond, 2020). La dimensión emocional del compromiso se centra en las respuestas afectivas de los estudiantes hacia su entorno educativo, incluyendo profesores, compañeros, estudios y la institución educativa en general. Esto abarca sentimientos de conexión emocional, satisfacción y bienestar en relación con el aprendizaje y la experiencia académica. Los estudiantes comprometidos afectivamente muestran entusiasmo, interés y una actitud positiva hacia el proceso de aprendizaje. Finalmente, la dimensión conductual del compromiso se refiere a las acciones y comportamientos observables de los estudiantes en el entorno educativo, como la participación en actividades de aprendizaje, la interacción con compañeros y profesores, y la asistencia regular a clases. Los estudiantes comprometidos conductualmente demuestran un alto nivel de participación y dedicación en su proceso educativo.

Modelos para Estudiar el Engagement Estudiantil

El engagement de los estudiantes se desarrolla con la intención de optimizar su aprendizaje y analizar su relación con la deserción y la culminación exitosa de sus estudios (Reschly, et al., 2012). Actualmente, el engagement se entiende como un concepto multidimensional que incorpora diferentes perspectivas, como la emocional, la conductual y la cognitiva, entre otras. Los modelos que se presentan a continuación ofrecen distintos marcos para entender cómo y por qué los estudiantes se involucran en su proceso de enseñanza y aprendizaje. El modelo de

participación basado en Wong, et al. (2022) presenta una definición formal de la participación y desvinculación de los estudiantes, destacando que la participación de los estudiantes ocurre cuando participan activamente en las actividades propuestas por el programa escolar. Esta visión presenta el compromiso y la desvinculación como conceptos opuestos y señala que la ausencia de compromiso se manifiesta a través del ausentismo, la apatía y la desmotivación entre los estudiantes. El modelo de participación e identificación introducido por Finn (2012), según (Beekhoven, 2005), distingue entre los componentes conductuales (participación) y emocionales (identificación) del compromiso del estudiante. La participación se describe como el involucramiento activo del estudiante en actividades académicas y no académicas, considerando el absentismo como una manifestación negativa de dicha participación. La identificación se refiere al sentido de pertenencia de los estudiantes a su escuela, donde se sienten aceptados, apoyados y valoran la educación.

La Teoría del Flujo, propuesta por Nakamura (2009), se centra en la experiencia humana óptima conocida como "flujo", un estado mental de inmersión total y concentración en una actividad. Esta teoría sugiere que el flujo se alcanza cuando hay un equilibrio entre el nivel de habilidad de la persona y el desafío que presenta la tarea. El aprendizaje es más efectivo cuando los estudiantes se encuentran en un estado de flujo, ya que esto favorece la retención de información, la solución de problemas complejos y el disfrute del proceso de aprendizaje, gracias a objetivos claros y retroalimentación inmediata.

El modelo multidimensional propuesto por Fredricks (2004) define el compromiso de los estudiantes como un metaconstructo que incluye tres componentes principales: cognitivo, afectivo y conductual. Este modelo trasciende la idea de participación simple, enfatizando no solo la importancia de la participación o conducta de los estudiantes, sino también la relevancia de los aspectos emocionales y cognitivos del compromiso. Para este trabajo se ha tomado como referencia este modelo, ya que su enfoque multidimensional permite una comprensión más completa del compromiso, facilitando la identificación de estrategias pedagógicas y de intervención más efectivas para promover todos los aspectos del compromiso del estudiante. Además, proporciona un marco sólido para investigar cómo los diferentes componentes interactúan entre sí y contribuyen al éxito académico al considerar el compromiso de estas tres dimensiones interrelacionadas.

Herramientas para el Monitoreo del Engagement Estudiantil

El seguimiento de la participación de los estudiantes es un reto debido a la diversidad de sus componentes, pero se han desarrollado varias herramientas y técnicas para dar cuenta de la participación. Entre las técnicas más comunes se encuentran: (1) Autoinformes, que recogen datos directamente de los estudiantes sobre su propia experiencia de aprendizaje, aunque varían en contenido, lo que dificulta la comparación entre estudios (Darr, 2012); (2) Entrevistas, que proporcionan una comprensión profunda de las razones de la variabilidad en la participación de los estudiantes, ofreciendo detalles sobre sus experiencias y factores influyentes (Hofkens, 2019); (3) Observaciones, útiles para identificar comportamientos relacionados con el compromiso individual o grupal, tanto positivos como negativos, mediante la evaluación del comportamiento académico (Rimm-Kaufman, 2009); y (4) medidas en tiempo real, como archivos de registro y seguimiento ocular, que proporcionan datos sobre las fluctuaciones en la participación de los estudiantes en actividades en línea, aunque presentan desafíos en la interpretación de los datos para la aplicación pedagógica. Estas técnicas demuestran la complejidad de medir la participación de los estudiantes y la importancia de seleccionar métodos apropiados para mejorar la educación (Rimm-Kaufman, 2009).

En relación con las herramientas utilizadas para analizar el compromiso de los estudiantes, han sufrido una revolución gracias al desarrollo de herramientas informáticas que permiten una evaluación precisa y en tiempo real. Entre estas herramientas informáticas se encuentran: Classmoto, una aplicación web diseñada para entornos universitarios, que destaca por su capacidad para medir las dimensiones sociales, afectivas y cognitivas del engagement. A través de breves cuestionarios administrados durante la clase, los profesores pueden obtener comentarios instantáneos, visualizables en un panel de control que refleja el nivel general e individual de participación de los estudiantes, según lo documentado por Bonner, et al (2022). SEAT, introduce una metodología multimodal para evaluar la participación, recopilando datos a través de cámaras, audio y navegación web. Esta aplicación procesa la información recopilada para ofrecer a los profesores un cuadro de mando que facilite la intervención personalizada en momentos críticos de desvinculación del alumnado, tal y como destacan Aslan, et al (2019). Otra herramienta es Sens, que surge como una solución para analizar el compromiso conductual y afectivo en tiempo real, utilizando cámaras y sensores ambientales para capturar el grado de atención y las respuestas emocionales de los estudiantes. Los datos obtenidos permiten a los educadores optimizar las estrategias didácticas y mejorar la experiencia educativa, tal y como se detalla en ViewSonic (2023).

Por último, Real Time Camera propone un enfoque novedoso basado en el reconocimiento facial y de poses para monitorizar la atención de los estudiantes en el aula, utilizando algoritmos de aprendizaje automático para evaluar el compromiso (Uçar, 2022). Estas herramientas han mejorado significativamente la comprensión y el seguimiento de la participación, contribuyendo a la evolución de los métodos pedagógicos en los entornos educativos digitales. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las herramientas anteriores presentadas.

Tabla 1
Resumen de Herramientas para medir el Engagement

HERRAMIENTA	METODOLOGÍA	TECNOLOGÍAS UTILIZADAS	PRINCIPALES RESULTADOS
Classmoto	Aplicación web para medir la participación de los estudiantes en el ámbito de la educación superior.	Encuesta en clase, compromiso social, emocional y cognitivo.	Eficiencia en la captura de datos en tiempo real, acceso inmediato para los docentes, y reconocimiento de limitaciones con sugerencias para futuras mejoras.
SEAT	Tecnología multimodal Análisis de la participación de los estudiantes en tiempo real.	Registros integrados de cámara, datos de plataforma, vídeo y audio.	Influencia notable en las prácticas educativas, reducción del aburrimiento entre los estudiantes, y apoyo personalizado en tiempo real.
Sens	Herramienta para la recolección de datos comportamentales y emocionales en tiempo real.	Sensores ambientales, cámara para medir la atención, panel de control.	Captura de datos en tiempo real, apoyo a decisiones estratégicas para los docentes, y optimización de la experiencia de aprendizaje.
Real Time Camera	Vigilancia mediante cámaras para el reconocimiento facial y detección de posturas de la cabeza en tiempo real.	Identificación facial, posturas de la cabeza, evaluación de distracciones.	Éxito en la identificación facial y la detección de posturas de la cabeza, vinculando la distracción con la atención del estudiante.

Cada una de las herramientas presentadas en la Tabla 1 para medir la participación de los estudiantes en los entornos educativos tiene sus propias limitaciones. Classmoto, aunque es eficaz en la recopilación de datos en tiempo real y proporciona visibilidad inmediata a los profesores, se enfrenta a restricciones que se han identificado y requieren recomendaciones para su desarrollo futuro. SEAT, que utiliza tecnología multimodal para el análisis de la participación de los estudiantes en tiempo real, tiene un impacto significativo en las prácticas docentes y reduce el aburrimiento de los estudiantes, pero su dependencia de múltiples fuentes de datos

(cámara, plataforma, URL, video y registros de audio) puede complicar su implementación y uso continuo. SENS, que recopila datos conductuales y afectivos en tiempo real a través de sensores ambientales y cámaras para métricas de atención, ofrece recopilación de datos en tiempo real y toma de decisiones estratégicas para los maestros, pero su enfoque en sensores y cámaras puede presentar desafíos en términos de privacidad y aceptación por parte de los estudiantes. La herramienta Real Time Camera, especializada en el seguimiento del reconocimiento facial y las poses de la cabeza en tiempo real, ha tenido éxito en estas áreas específicas y en asociar la distracción con la atención de los estudiantes; sin embargo, su aplicación puede limitarse a contextos en los que se priorizan estas métricas.

Finalmente, si bien estas herramientas han demostrado ser efectivas y útiles para medir la participación de los estudiantes, la amplia variedad de cuestionarios, análisis visuales, auditivos y táctiles, junto con el uso de cámaras y sensores, pueden presentar desafíos en la integración y gestión de estos diversos datos en diferentes contextos educativos. Además, muchos de estos métodos son invasivos para los estudiantes, lo que requiere una herramienta menos intrusiva con la que los estudiantes estén más familiarizados y se sientan más cómodos usando. Otro factor importante desde la perspectiva de las instituciones educativas es que la mayoría de las herramientas presentadas en la Tabla 1 para medir el compromiso son costosas de implementar y no son de libre acceso. Por estas razones, MoTE ha sido diseñado como una herramienta móvil abierta (<https://mote.ucuenca.edu.ec/>).

Contribución y Preguntas de Investigación

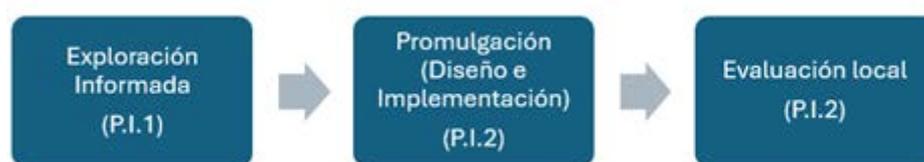
En este artículo se presenta el proceso de diseño seguido para el desarrollo de MoTE (Monitoring sTudent Engagement), una herramienta en tiempo real para el seguimiento de la participación de los estudiantes. Los objetivos de la herramienta MoTE son: (1) monitorear la participación de los estudiantes; (2) proporcionar un tablero con visualización de datos para el profesor; (3) facilitar la interacción entre estudiantes y profesores; y (4) garantizar la usabilidad y accesibilidad. Para ello, MoTE recopila datos sobre la participación de los estudiantes en el contexto educativo (presencial / en línea). Dos preguntas de investigación guiaron todo el proceso de diseño de MoTE que se describen a continuación:

- (P.I.1) ¿Cuáles son los indicadores y visualizaciones que deben incluirse en una herramienta para monitorear la participación de los estudiantes?
- (P.I.2) ¿Cómo perciben los usuarios finales un prototipo de herramienta que incluye los indicadores identificados en términos de usabilidad y experiencia de usuario?

Metodología

Para el diseño de MoTE se siguió el enfoque metodológico de la Investigación Basada en el Diseño DBR - Reinmann (2011). Este enfoque mezcla la investigación empírica sobre educación con teorías orientadas al diseño de ambientes de aprendizaje, desde el análisis y diseño hasta la implementación y evaluación. Para aplicar el enfoque metodológico DBR, se utilizó el marco de trabajo del Diseño Interactivo de Aprendizaje (ILD, Bannan-Ritland, 2003). El marco de ILD organiza el proceso de investigación en tres fases: (1) Exploración informada, en la que estudiamos las necesidades, las teorías disponibles y la audiencia de la herramienta; (2) Promulgación, fase en la que se propone e implementa el diseño de una herramienta; (3) Evaluación del impacto local, que tiene como objetivo evaluar el impacto de la intervención a nivel local, centrándose en preguntas de investigación particulares para ese contexto (ver Figura 1). A continuación, se describe cada una de las fases.

Figura 1
Fases del Marco ILD



Fase de Exploración Informada

El objetivo principal de la fase de Exploración Informada fue identificar los indicadores de participación a incluir en la herramienta MoTE considerando tanto a los docentes como a los estudiantes (relacionados con la P.I.1). En concreto, se realizó un análisis de los indicadores existentes en las herramientas existentes para identificar los indicadores que se utilizarán en la herramienta MoTE. Este proceso se estructuró en dos etapas: (1) análisis de los indicadores existentes; y (2) selección de indicadores.

Paso 1. Análisis de los indicadores existentes. Se realizó un análisis de los indicadores desde una perspectiva multidimensional de la participación de los estudiantes. Dentro de la literatura, es posible evidenciar diferentes indicadores que han sido utilizados (Reschly, 2012), y varían en el número de ítems de cada componente y de acuerdo con las fuentes consultadas. Por último, sobre la base de una reciente revisión sistemática de (Bond, 2020) se presenta una clasificación de los cinco indicadores más utilizados (véase la Tabla 2).

Tabla 2
Indicadores de Engagement más utilizados

N.	CONDUCTUAL	AFECTIVO	COGNITIVO
1	Involucramiento / Participación / Interacción.	Relaciones positivas con compañeros y docentes.	Aprendizaje Colaborativo.
2	Logros.	Placer.	Autogestión.
3	Seguridad en uno mismo.	Interés.	Comprensión profunda.
4	Asumir responsabilidades.	Entusiasmo.	Pensamiento crítico.
5	Hábitos de estudio.	Sentimiento de conexión / satisfacción emocional.	Concentración en la tarea.

Los indicadores de participación estudiantil más utilizados abarcan las dimensiones conductual, afectiva y cognitiva. Los indicadores de comportamiento, como la participación, los logros, la confianza, la responsabilidad y los hábitos de estudio, reflejan la participación y el compromiso de los estudiantes. Los indicadores afectivos, como las interacciones positivas, el disfrute, el interés, el entusiasmo y los sentimientos de conexión, destacan los aspectos emocionales del compromiso. Los indicadores cognitivos como el aprendizaje de los compañeros, la autorregulación, el aprendizaje profundo, el pensamiento crítico y el enfoque en las tareas demuestran el compromiso intelectual de los estudiantes. Estos indicadores proporcionan una comprensión integral de cómo los estudiantes interactúan, sienten y procesan cognitivamente sus experiencias educativas.

Paso 2. Selección de indicadores. Con base en la lista de indicadores de la Tabla 2 y considerando los cuatro objetivos del MoTE (sección D), se seleccionaron varios indicadores para monitorear y reflejar las múltiples dimensiones de la participación de los estudiantes (conductual,

cognitiva y afectiva. Ver Tabla 3). MoTE puede complementar las otras herramientas revisadas al proporcionar un enfoque más integrado y menos intrusivo para medir la participación de los estudiantes. Si bien herramientas como Classmoto, SEAT, Sens y Real Time Camera ofrecen información valiosa a través de varios métodos de recopilación de datos, MoTE tiene como objetivo optimizar esta información en una plataforma móvil que sea accesible y fácil de usar tanto para estudiantes como para educadores. La decisión de incluir indicadores específicos en MoTE se basó en su eficacia comprobada para capturar aspectos críticos de la participación. Los indicadores conductuales, como la participación en clase, reflejan la implicación activa, los indicadores cognitivos, como la autorregulación hacia los objetivos, abarcan los procesos de aprendizaje profundo, y los indicadores afectivos, como la pertenencia y el estado emocional, captan la conexión y los sentimientos de los estudiantes hacia su experiencia educativa. Al integrar estos indicadores seleccionados, MoTE proporciona un método integral pero simplificado para rastrear y mejorar la participación de los estudiantes en diversos entornos educativos.

Tabla 3
Indicadores de Engagement seleccionados

COMPONENTE	INDICADOR	VARIABLE
Conductual.	Involucramiento en la clase.	Observaciones y preguntas durante la clase.
Afectivo.	Autogestión de metas, metacognición, comprensión profunda.	Responder encuestas, comprender o no comprender un tema
Cognitivo.	Sentido de pertenencia, conexión percibida con profesores y compañeros en la universidad, interés, disfrute.	El estado emocional del estudiante durante la clase.

Las métricas y variables presentadas en la Tabla 3 proporcionan un marco estructurado para el diseño de MoTE, centrándose en las dimensiones conductuales, cognitivas y afectivas de la participación de los estudiantes. Para el componente conductual, el indicador de participación en clase, medido a través de comentarios y dudas en clase, se puede incorporar a MoTE incluyendo botones de acción para que los estudiantes envíen preguntas y comentarios en tiempo real. Esto permitirá un seguimiento activo y fomentará la participación de los estudiantes.

En la dimensión cognitiva, indicadores como la autorregulación hacia metas, la metacognición y el aprendizaje profundo se pueden evaluar a través de opciones para que los estudiantes respondan encuestas, proporcionen retroalimentación sobre su comprensión o indiquen si no entienden un tema. Los botones de acción para estas respuestas pueden facilitar ajustes en tiempo real en los métodos y materiales de enseñanza para adaptarse mejor a las necesidades de los estudiantes. Para el componente afectivo, indicadores como la pertenencia, la conexión percibida con la clase, el interés y el placer por aprender se pueden rastrear monitoreando el estado emocional del estudiante durante toda la clase. MoTE puede incluir funciones como rastreadores de estado de ánimo o indicaciones para que los estudiantes expresen sus sentimientos sobre la clase. Estos podrían implementarse como simples botones de acción o controles deslizantes que permiten a los estudiantes expresar su estado emocional en diferentes momentos de la lección. Al integrar estos indicadores y variables, MoTE puede ofrecer una herramienta integral y dinámica para que los educadores midan y mejoren la participación de los estudiantes. El uso de botones accionables y funciones interactivas garantiza que la recopilación de datos sea fluida y que los comentarios de los estudiantes se incorporen continuamente al proceso de aprendizaje.

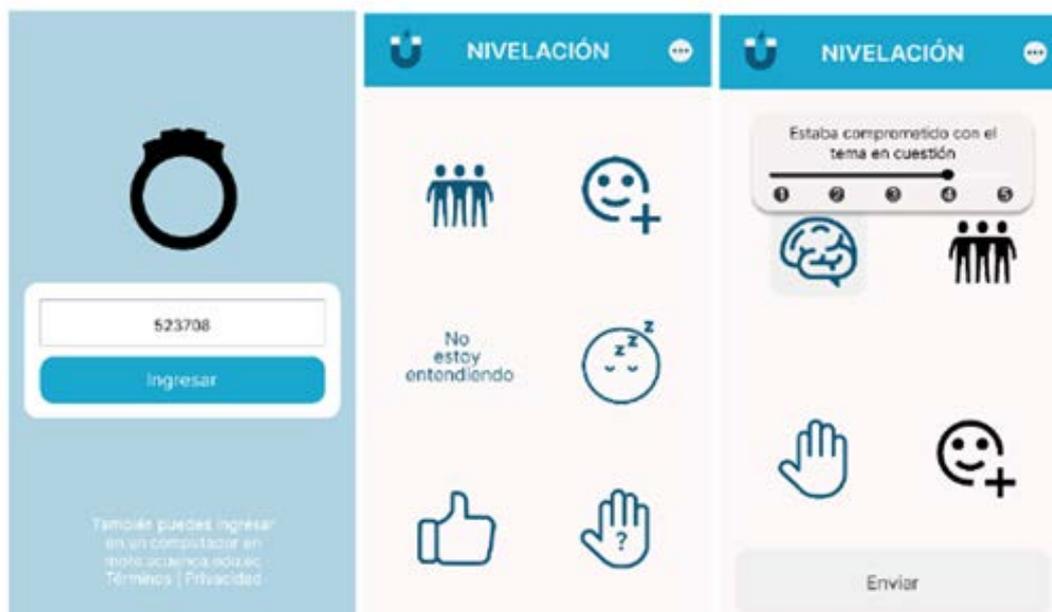
Diseño e Implementación

Esta sección se dedica a detallar el proceso de diseño e implementación de MoTE, desde la idea inicial hasta la versión final. Se expone cómo se conceptualizó la herramienta y cómo se identificaron los requisitos funcionales y no funcionales, asegurando su adecuación tanto a los usuarios como al objetivo educativo. El diseño y la implementación de MoTE se inspiran en la metodología Lean Startup de (Ries, 2011), que promueve el desarrollo ágil y adaptativo de productos, así como en los principios de usabilidad y diseño centrado en el usuario, tal como lo describe (Nielsen, 1993). MoTE no solo pretende ser una herramienta para recopilar datos sobre la participación de los estudiantes, sino también un recurso para mejorar la dinámica educativa mediante la comunicación efectiva y la retroalimentación en tiempo real. Este enfoque iterativo y basado en la evidencia es crucial en el ámbito del desarrollo de tecnología educativa, ya que facilita la creación de soluciones que no solo son técnicamente sólidas, sino también pedagógicamente significativas. La estructura de MoTE se organiza en dos módulos principales: la interfaz para el estudiante y la interfaz para el profesor.

Interfaz del Estudiante

Los prototipos iniciales de las pantallas se desarrollaron utilizando el método de Diseño por Analogía (Design by Analogy en inglés) (Jia, et al., 2018). Este enfoque consiste en incorporar características de diseño exitosas de aplicaciones ya consolidadas. Basándose en los principios teóricos, se propusieron funcionalidades preliminares como encuestas y comentarios en tiempo real. Al aplicar DbA, se adoptaron las funciones de inicio de sesión de Kahoot para los profesores y las encuestas de Socrative para los estudiantes. El primer prototipo se presenta en la Figura 2.

Figura 2
Primera Iteración de MoTE



Una vez que se completó el primer prototipo interactivo de MoTE (ver Figura 2) (basado en la revisión de la literatura y la Tabla 3), se recibió una retroalimentación temprana de los 3 investigadores que eran expertos en el campo de las tecnologías educativas a través

de entrevistas. A través de estas, fue posible validar inicialmente las opciones iconográficas utilizadas para reflejar la multidimensionalidad de la participación de los estudiantes en la herramienta MoTE. Además, también se entrevistó a 15 estudiantes y 10 profesores sobre su percepción de las primeras pantallas. A partir de los resultados obtenidos en las entrevistas, se incorporaron nuevas funciones y se reorganizaron algunas pantallas, en consonancia con DBR. Además, para optimizar la estética y la accesibilidad de la interfaz, se aplicaron los principios de diseño universal de (Lidwell, 2003). La Figura 3 presenta el resultado de la segunda iteración de MoTE. Se agregaron nuevas funciones y se reestructuraron algunas pantallas.

Figura 3
Segunda Iteración de MoTE



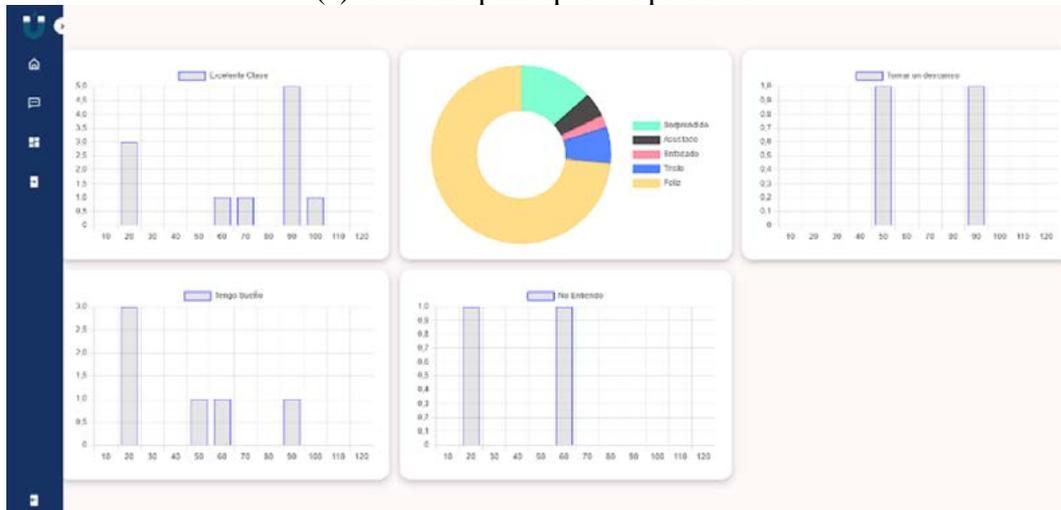
Interfaz del Profesor

Iniciamos con un prototipo básico, explorando ideas y posibles funcionalidades, aplicando la misma metodología que los estudiantes. Este proceso permitió identificar funcionalidades clave, rediseñar la apariencia y ajustar las características. En el menú, se empleó el diseño por analogía, tomando como referencia a Socrative for Teachers. La inspiración en Socrative se utilizó para diseñar una herramienta que proporcione información en tiempo real y facilite la participación interactiva.

De manera similar a cómo Socrative permite a los maestros crear cuestionarios, monitorear las respuestas de los estudiantes al instante y ajustar las estrategias de enseñanza en función de la retroalimentación inmediata, el tablero puede incluir funciones que rastrean la participación, la comprensión y el compromiso emocional de los estudiantes durante las lecciones. Al proporcionar estas funciones interactivas y en tiempo real, el tablero puede empoderar a los maestros para tomar decisiones informadas, mejorar la participación de los estudiantes y mejorar la experiencia de aprendizaje en general. Después de varias interacciones y en función de los comentarios de 3 expertos en educación, el tablero del profesor se presenta en la Figura 4.

Figura 4*Prototipo del Dashboard del Profesor de MoTE*

(a) Pantalla principal del profesor



(b) Pantalla principal de resultados de la sesión del profesor

Descripción de la herramienta

El proceso de diseño interactivo pone de manifiesto la creciente popularidad de los emojis como medio de comunicación en entornos digitales. Ha sido reconocido por su capacidad para aclarar intenciones comunicativas, desempeñar roles verbales y no verbales en la comunicación y revelar aspectos de la personalidad del usuario (Kaye, et al., 2017). En este contexto, se utilizaron emojis para diseñar interacciones, capturándolas a través de toques que luego serán visibles para los profesores a través de un tablero.

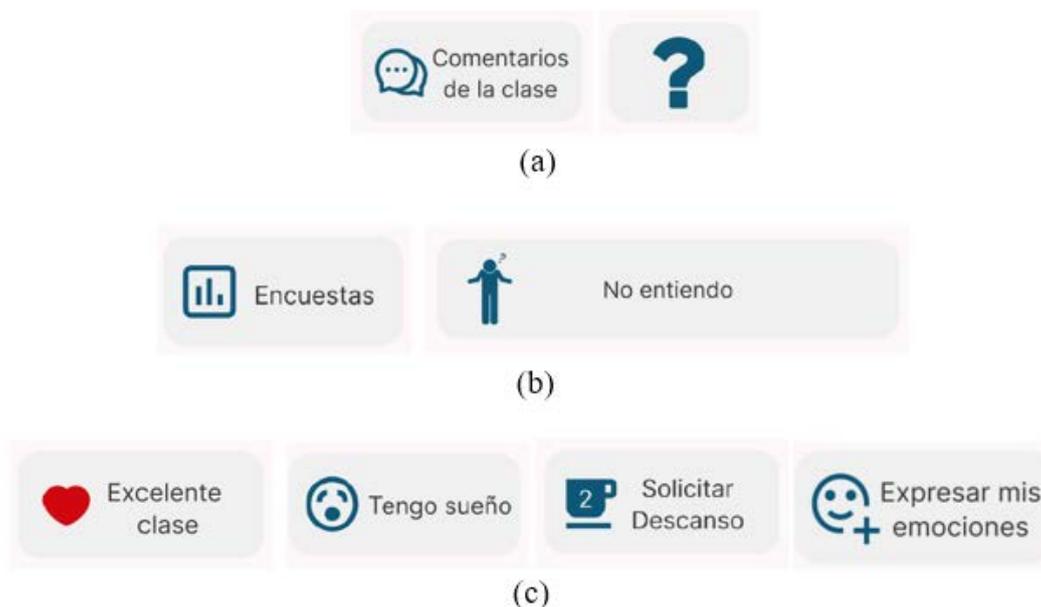
Engagement Conductual: Un enfoque que los docentes pueden emplear para involucrar más a los estudiantes es mediante discusiones en clase o actividades que utilicen respuestas anónimas. El método tradicional de levantar la mano puede causar que algunos estudiantes sean reacios a responder preguntas planteadas en clase, limitando su participación a momentos en que otros compañeros ya han intervenido (Reeve, et al., 2020). Teniendo esto en cuenta, se crearon dos opciones para monitorear este indicador, enviando comentarios y enviando dudas al profesor. Las opciones están representadas por dos botones (comentario de clase y signo de interrogación, Figura 5a).

Engagement Cognitivo: Recopilar información sobre el componente cognitivo del compromiso estudiantil es un desafío, ya que no es tan fácilmente observable como el comportamiento. No obstante, una manera de enfrentar este reto es utilizar dispositivos electrónicos para proporcionar retroalimentación, junto con preguntas diseñadas para evaluar los niveles de compromiso cognitivo, conductual y emocional de los estudiantes. Estas opciones se presentan mediante dos botones (encuesta, No entiendo, Figura 5b).

Engagement Afectivo: Para supervisar este indicador, se desarrollarán tres opciones que permitirán hacer un seguimiento de los siguientes indicadores (Excelente clase, Tengo sueño, solicito un descanso, expreso mis emociones, Figura 5c).

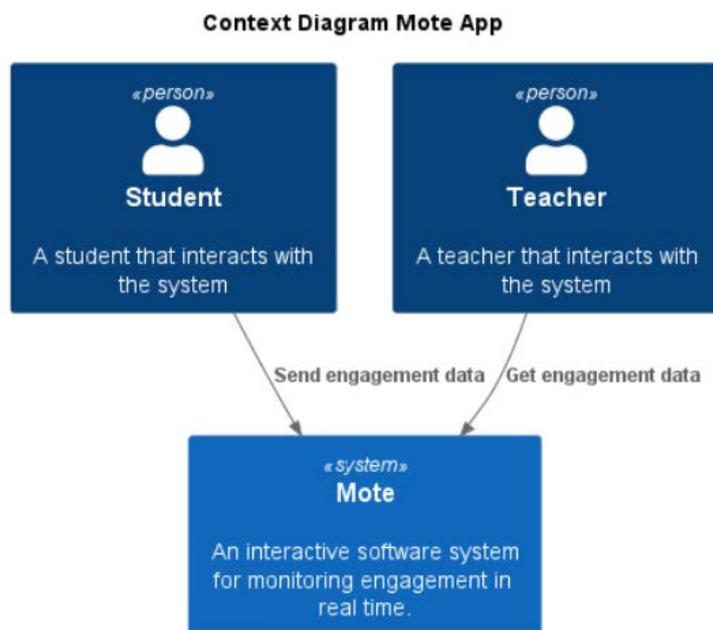
Figura 5

Prototipo del Dashboard del Profesor de MoTE



Arquitectura de la herramienta: La arquitectura de la herramienta se diseñó utilizando el modelo C4, desarrollado por Simon Brown (2016). Este enfoque sugiere describir la arquitectura en cuatro niveles: Contexto, Contenedores, Componentes y Código. A continuación, se describen el front, backend y la base de datos. El frontend de MoTE, desarrollado con Angular, actúa como la interfaz de usuario a través de la cual estudiantes y profesores interactúan con la aplicación; los estudiantes envían datos sobre su engagement, mientras que los profesores acceden y visualizan esta información. En el backend, implementado con Node.js y Express, se gestiona la lógica central del negocio, procesando las llamadas de la API provenientes del frontend y asegurando una transferencia eficiente y en tiempo real de los datos de engagement mediante JSON/HTTPS y Objects/Sockets. Finalmente, la base de datos, alojada en MongoDB, almacena toda la información relevante de la aplicación, incluyendo detalles de las salas, datos de usuarios, encuestas y otros elementos interactivos, beneficiándose de la flexibilidad y capacidad de manejo de grandes volúmenes de datos no estructurados que ofrece MongoDB.

Figura 6
Diagrama de Contexto de la aplicación MoTE



Evaluación Local

Se realizó una evaluación local con el objetivo de comprender cómo los usuarios finales perciben un prototipo de herramienta que incorpora los indicadores identificados, centrándose en su usabilidad y experiencia de usuario (en relación con P.I.2). Para esta evaluación, se seleccionaron 2 aulas presenciales y 1 aula en línea para las pruebas, con un total de 146 estudiantes participando activamente (G1 presencial n= 23, G2 presencial n= 25, G3 online n= 98). La elección de estos grupos se hizo con el fin de cubrir diversos contextos de aprendizaje. Se invitó a los participantes a unirse de manera voluntaria. Las pruebas de usabilidad y experiencia de usuario se llevaron a cabo entre el 3 de noviembre de 2023 y el 9 de enero de 2024. Para evaluar de manera integral la usabilidad y la experiencia de usuario de la aplicación MoTE, se emplearon dos técnicas reconocidas en el ámbito de la interacción persona-computadora: el cuestionario de la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) y el Cuestionario de Experiencia de Usuario (UEQ). Además de los cuestionarios SUS y UEQ, se recopiló retroalimentación cualitativa de los estudiantes mediante encuestas abiertas y sesiones de retroalimentación grupal.

Resultados de la evaluación local: En cuanto al UEQ, los valores superiores a 0,8 indican una evaluación positiva, mientras que los valores inferiores a -0,8 reflejan una evaluación negativa (Schrepp, 2023). La Tabla 4 resume los resultados obtenidos. Los datos del UEQ muestran variaciones en las percepciones de la experiencia de usuario entre los diferentes grupos, con el grupo G3 en línea registrando puntuaciones más altas en casi todas las categorías evaluadas. Esto sugiere que MoTE podría ser percibido como más útil y eficaz en entornos de aprendizaje virtuales, posiblemente debido a una mayor dependencia de las herramientas digitales para la interacción y participación en estos contextos. Estas diferencias también podrían reflejar la naturaleza de las interacciones en entornos presenciales y virtuales, donde la comunicación no verbal y las dinámicas de grupo en aulas físicas pueden influir en cómo se percibe la necesidad y utilidad de la herramienta.

Tabla 4
Resumen de Resultados UEQ

COMPONENTES	MEDIA G1 (sd) n=23	MEDIA G2 (sd) n=25	MEDIA G3 (sd) n=98
Atracción	1.4 (1.4)	1.6 (1.1)	1.5 (0.9)
Transparencia	0.9 (1.5)	1.5 (1.2)	1.6 (0.7)
Eficacia	1.2 (1.1)	1.4 (1.3)	1.8 (0.8)
Controlabilidad	0.8 (1.4)	1.0 (0.8)	1.8 (1.0)
Estimulación	1.0 (1.5)	1.0 (1.6)	2.0 (1.3)
Novedad	1.2 (0.8)	1.0 (1.2)	2.5 (0.7)

En cuanto al SUS, este produce un valor único que representa una medida general de la usabilidad del sistema. Cada ítem del cuestionario contribuye con cinco opciones que van de 0 a 4 (desde “Totalmente de acuerdo” hasta “Totalmente en desacuerdo”). Las puntuaciones del SUS varían entre 0 y 100. La Tabla 5 resume los resultados obtenidos. Los resultados del SUS revelan una variabilidad en la percepción de la usabilidad de la herramienta entre los estudiantes de los diferentes grupos. Aunque algunos estudiantes valoraron positivamente la usabilidad de la aplicación, otros señalaron dificultades, lo que sugiere áreas de mejora en la interfaz y la experiencia del usuario. Esta variabilidad en las puntuaciones destaca la importancia de considerar una amplia gama de experiencias de usuario durante el diseño de herramientas y en el proceso de mejora continua.

Tabla 5
Resumen de Resultados SUS

COMPONENTES	MEDIA POR GRUPO	SUS PUNTAJE
Grupo 1 – Presencial	74.8	Bien
Grupo 2 – Presencial	69.75	Bien
Grupo 3 – En línea	84.25	Excelente

Resultados de las interacciones con MoTE: Para comprender cómo los estudiantes perciben el prototipo MoTE en términos de interacciones con la herramienta (P.I.2), se realizó un análisis descriptivo de los datos para determinar la frecuencia de cada tipo de interacción. La Tabla 6 proporciona una descripción detallada de cómo los estudiantes utilizan las diferentes funcionalidades de MoTE en tres clases distintas, reflejando la frecuencia de uso y el porcentaje correspondiente a cada característica. A partir de estos datos, es posible inferir preferencias de uso y detectar áreas de mejora potencial para la interfaz de la herramienta que se explica a continuación: (1) *Expresar mis emociones*: Esta función es la más utilizada, lo que indica un alto valor por parte de los estudiantes para comunicar su estado emocional de forma anónima. Su alta frecuencia de uso sugiere que la herramienta satisface una importante necesidad de autoexpresión en el aula; (2) *Clase excelente*: La segunda característica más popular permite a los estudiantes expresar su satisfacción con la clase, lo cual es un indicador positivo de compromiso. La variación en su uso entre clases sugiere que puede estar influenciado por el contenido o la dinámica de la clase específica; (3) *Tengo sueño, No entiendo, Comentarios sobre la clase, Solicitar un descanso*: Estas características se utilizan con menos frecuencia, lo que podría indicar una serie de cosas, como una menor necesidad percibida de estas opciones, posibles barreras psicológicas para expresar vulnerabilidad o fatiga, falta de visibilidad en la interfaz de la herramienta o tal vez miedo al profesor. Este hallazgo subraya la necesidad

de realizar más investigaciones sobre cómo se pueden optimizar la interfaz y la experiencia del usuario para fomentar una comunicación más abierta y honesta sobre las necesidades y dificultades de los estudiantes durante la clase.

Tabla 6
Resumen de Interacciones con MoTE

FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN	FRECUENCIA G1	FRECUENCIA G2	FRECUENCIA G3	TOTAL FRECUENCIA	% DE USO
Expresando mis emociones.	22	43	17	82	40.20
Clase excelente.	2	24	21	47	23.04
Tengo sueño.	15	13	2	30	14.71
No entiendo.	3	14	1	18	8.82
Comentarios sobre la clase.	3	6	5	14	6.86
Solicita un descanso.	4	7	2	13	6.37
Interacciones totales.	49	107	48	204	

Retroalimentación cualitativa: El análisis cualitativo de la retroalimentación de los estudiantes destacó varios aspectos clave para mejorar tanto la interfaz como las funcionalidades de la herramienta. Entre las sugerencias más relevantes se encuentran: (1) agregar nuevas emociones para capturar estados más específicos como "cansado" o "aburrido", (2) mejorar la organización de la interfaz y añadir funcionalidades como un temporizador para la clase, (3) hacer la herramienta más atractiva visualmente, (4) asegurar que el progreso de la barra de herramientas no se pierda al recargar la página, y (5) implementar la detección automática de una respuesta del estudiante cada 35 a 40 minutos. Esto indica que los estudiantes desean comunicar sus necesidades al profesor durante cada sesión de clase.

Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo, se siguió el proceso de investigación basado en el diseño para crear MoTE, una herramienta en tiempo real para monitorear la participación de los estudiantes. A partir de todo el proceso, abordamos dos preguntas de investigación, cuyos resultados podrían servir de inspiración para aquellos investigadores dispuestos a proponer soluciones para medir el compromiso dentro del aula (ya sea presencial o en línea). Con respecto a la PI1 sobre el tipo de indicadores y visualizaciones a utilizar, identificamos a través de diferentes talleres con expertos y docentes: (1) los tipos de indicadores necesarios para medir el compromiso cognitivo, afectivo y conductual; y (2) un conjunto de visualizaciones para representarlos. A partir de estos indicadores y visualizaciones, implementamos un primer prototipo de herramienta MoTE para ser evaluado en contextos reales. Respecto a la RQ2 sobre la usabilidad y experiencia de usuario de los usuarios finales sobre la herramienta. Realizamos una evaluación local con 146 estudiantes y una evaluación amplia con 58 estudiantes. Los resultados indican que los estudiantes valoraron positivamente la información proporcionada con la herramienta como buena y clara para monitorear el compromiso de los estudiantes con la sesión. Sin embargo, se deben realizar algunas mejoras para mejorar la herramienta desde la perspectiva del estudiante. La variabilidad en las puntuaciones del SUS y los comentarios de los estudiantes ponen de relieve áreas específicas de mejora, como la necesidad de una interfaz más intuitiva y la inclusión de funcionalidades adicionales que reflejen con mayor precisión las necesidades y emociones de los estudiantes.

El análisis de cómo los estudiantes interactúan con MoTE proporciona información valiosa sobre el uso de sus funcionalidades en entornos educativos reales. Al optimizar la interfaz y reajustar o resaltar ciertas funcionalidades, se podría promover un uso más equilibrado y efectivo de la herramienta. Basado en los resultados de este estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras versiones de MoTE:

1. Mejora continua de la interfaz y las funcionalidades: Se sugiere seguir mejorando la interfaz de usuario de MoTE para que sea más intuitiva y accesible. También es esencial integrar nuevas emociones y funcionalidades de prueba, como un temporizador para las sesiones de clase, basándose en la retroalimentación de los estudiantes.
2. Evaluación continua: Es crucial mantener un proceso constante de evaluación de la usabilidad y la experiencia del usuario, empleando métodos tanto cuantitativos (como SUS y UEQ) como cualitativos (retroalimentación abierta de los estudiantes) para orientar las mejoras de la aplicación.
3. Investigaciones futuras: Es necesario investigar el impacto a largo plazo del uso de MoTE en la participación y el rendimiento de los estudiantes, así como su efectividad en distintos entornos educativos (como los híbridos) y en diversas disciplinas académicas.
4. Mejorar la visibilidad de las funciones menos utilizadas: Dado que las funciones menos utilizadas pueden ser esenciales para el bienestar y el aprendizaje efectivo de los estudiantes, es recomendable hacerlas más visibles en la interfaz. Por ejemplo, posicionar opciones como "Tengo sueño" y "No entiendo" en lugares más destacados podría incentivar su uso.
5. Personalización de la interfaz: Permitir que los estudiantes personalicen la interfaz para destacar las funcionalidades que consideran más importantes podría mejorar su experiencia de usuario y promover el uso completo de las funciones disponibles.
6. Educación y fomento del uso: Mediante sesiones de orientación o materiales de ayuda integrados en la herramienta, se puede instruir a los estudiantes sobre la importancia y el propósito de cada funcionalidad, especialmente aquellas que se usan menos, con el fin de promover un uso más equilibrado.

Este estudio también tiene algunas limitaciones que serán abordadas en trabajos futuros. Por un lado, en las Fases de Diseño de la metodología, se ha trabajado principalmente con estudiantes que solo fueron incluidos para la evaluación amplia. El trabajo futuro incluirá grupos focales y sesiones para diseñar mejor el lado del maestro. Por otro lado, realizamos la evaluación exhaustiva con solo dos cursos presenciales y un curso en línea para analizar la experiencia de usuario y los problemas de usabilidad de la herramienta. Para complementar este estudio, planeamos realizar estudios a gran escala y a largo plazo para analizar cómo los estudiantes y profesores utilizan la herramienta en el contexto del mundo real del aprendizaje y su impacto en sus estrategias.

Creemos que los resultados obtenidos en este trabajo podrían beneficiar a otros investigadores de la comunidad. En primer lugar, esperamos que los indicadores y visualizaciones extraídos de nuestro estudio empírico puedan servir de inspiración para el diseño de nuevas herramientas con fines similares. En segundo lugar, pensamos que los instrumentos y métodos utilizados también podrían ser utilizados por otros investigadores para validar sus propias soluciones y realizar estudios comparativos. Finalmente, esperamos que el proceso descrito pueda servir como ejemplo de cómo aplicar el enfoque DBR para adaptar una herramienta existente a otro contexto.

Agradecimientos

Este artículo recibió el apoyo de la Vicerrectoría Académica de la Universidad de Cuenca y la Dirección de Innovación Educativa.

Referencias

- Anand, R., & Gupta, N. (2023). Impact of online learning on student engagement and academic performance. *Praxis International Journal of Social Science and Literature*, 6(7), 29–40. <https://doi.org/10.51879/PIJSSL/060703>
- Aslan, S., et al. (2019). Investigating the impact of a real-time, multimodal student engagement analytics technology in authentic classrooms. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–12). ACM. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300534>
- Bannan-Ritland, B. (2003). The role of design in research: The integrative learning design framework. *Educational Researcher*, 32(1), 21–24. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001021>
- Barkley, E. F. (2010). *Student engagement techniques: A handbook for college faculty*. Jossey-Bass.
- Beekhoven, S., & Dekkers, H. (2005). The influence of participation, identification, and parental resources on the early school leaving of boys in the lower educational track. *European Educational Research Journal*, 4(3), 195–207. <https://doi.org/10.2304/eeerj.2005.4.3.4>
- Bond, M., et al. (2020). Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: A systematic evidence map. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0176-8>
- Bonner, E., et al. (2022). Measuring real-time learner engagement in the Japanese EFL classroom. *Innovation in Language Learning and Teaching*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/17501229.2021.2025379>
- Darr, C. W. (2012). Measuring student engagement: The development of a scale for formative use. In S. L. Christenson, et al. (Eds.), *Handbook of Research on Student Engagement* (pp. 707–723). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_34
- Finn, J. D., & Zimmer, K. S. (2012). Student engagement: What is it? Why does it matter? In S. L. Christenson, et al. (Eds.), *Handbook of Research on Student Engagement* (pp. 97–131). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_5
- Fredricks, J. A., et al. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59–109. <https://doi.org/10.3102/00346543074001059>
- Hofkens, T. L., & Ruzek, E. (2019). Measuring student engagement to inform effective interventions in schools. In *Handbook of Student Engagement Interventions* (pp. 309–324). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813413-9.00021-8>
- Imlawi, J. (2021). Students' engagement in e-learning applications: The impact of sound's elements. *Education and Information Technologies*, 26(5), 6227–6239. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10605-0>
- Jia, L.-Z., et al. (2018). Design by analogy: Achieving more patentable ideas from one creative design. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 31(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s10033-018-0234-5>
- Kaye, L. K., et al. (2017). Emojis: Insights, affordances, and possibilities for psychological science. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(2), 66–68. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.10.007>
- Lidwell, W., et al. (2003). *Universal principles of design*. Rockport.
- McKenney, S. E., & Reeves, T. C. (2019). *Conducting educational design research*. Routledge/Taylor & Francis Group.

- Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2009). Flow theory and research. In S. J. Lopez & C. R. Snyder (Eds.), *The Oxford Handbook of Positive Psychology* (pp. 194–206). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195187243.013.0018>
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press.
- Pérez-Sanagustín, M., et al. (2022). Designing a Moodle plugin for promoting learners' self-regulated learning in blended learning. In I. Hilliger, et al. (Eds.), *Educating for a New Future: Making Sense of Technology-Enhanced Learning Adoption* (pp. 324–339). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16290-9_24
- Reeve, J., et al. (2020). How and why students make academic progress: Reconceptualizing the student engagement construct to increase its explanatory power. *Contemporary Educational Psychology*, 62, 101899. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101899>
- Reimann, P. (2011). Design-based research. In L. Markauskaite, et al. (Eds.), *Methodological Choice and Design* (pp. 37–50). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8933-5_3
- Reschly, A. L., & Christenson, S. L. (2012). Jingle, jangle, and conceptual haziness: Evolution and future directions of the engagement construct. In S. L. Christenson, et al. (Eds.), *Handbook of Research on Student Engagement* (pp. 3–19). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_1
- Ries, E. (2011). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Crown Business.
- Rimm-Kaufman, S. E., et al. (2009). The contribution of children's self-regulation and classroom quality to children's adaptive behaviors in the kindergarten classroom. *Developmental Psychology*, 45(4), 958–972. <https://doi.org/10.1037/a0015861>
- Schrepp, M. (2023). *Enhancing the UEQ heuristic for data cleansing by a threshold for the number of identical responses*. <https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.35853.00480>
- Sosa Neira, E. A., et al. (2017). Emerging technologies (ETs) in education: A systematic review of the literature published between 2006 and 2016. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(5), 128. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i05.6939>
- Uçar, M. U., & Özdemir, E. (2022). Recognizing students and detecting student engagement with real-time image processing. *Electronics*, 11(9), 1500. <https://doi.org/10.3390/electronics11091500>
- ViewSonic. (2023). *Sens*. <https://myviewboard.com/products/sens/>
- Wong, Z. Y., & Liem, G. A. D. (2022). Student engagement: Current state of the construct, conceptual refinement, and future research directions. *Educational Psychology Review*, 34(1), 107–138. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09628-3>
- Zapata, G., et al. (2018). Compromiso estudiantil en educación superior: Adaptación y validación de un cuestionario de evaluación en universidades chilenas. *Calidad en la Educación*, 48, 204. <https://doi.org/10.31619/caledu.n48.482>

Sistema de Recomendación de Cursos en Línea basado en el Perfil de Competencias TIC del Docente

Online course recommendation system based on the teacher's ICT competence profile

Jorge Maldonado-Mahauad¹ <https://orcid.org/0000-0003-1953-390X>, Diego Moscoso Lozano¹ <https://orcid.org/0009-0008-0073-5687>, Javier Pacheco¹ <https://orcid.org/0009-0004-3990-5277>

¹Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

jorge.maldonado@ucuenca.edu.ec, diego.moscosol@ucuenca.edu.ec,
javier.pacheco@ucuenca.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/02

Aceptado: 2024/10/03

Publicado: 2024/10/15

Resumen

La transformación digital en la educación ha generado la necesidad de capacitar a los docentes y mejorar sus competencias digitales. Sin embargo, los procesos de formación no suelen ser efectivos dada la falta de personalización en las propuestas y la variedad en los perfiles de los docentes. Dado lo anterior, este artículo aborda el desarrollo de una herramienta web diseñada para diagnosticar las capacidades digitales de los profesores y proporcionar recomendaciones personalizadas de MOOCs para apoyar el desarrollo de sus competencias. Para esto se propone un sistema que utiliza técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) y un modelo de recomendación basado en contenido. Los datos de los cursos se obtienen mediante web scraping y se procesan con técnicas de PLN, utilizando un modelo de lenguaje avanzado (BERT) para generar representaciones vectoriales de los cursos y las competencias. El sistema web permite a los docentes autoevaluar sus competencias, visualizar los resultados y recibir recomendaciones personalizadas de cursos MOOC. La implementación de este sistema ha mostrado ser eficaz en la identificación de las áreas de mejora de los docentes y en la sugerencia de cursos relevantes para su desarrollo profesional. Los resultados sugieren que el uso de este sistema puede ser una solución efectiva para la capacitación en competencias digitales de los docentes.

Palabras clave: competencias, inteligencia artificial, pentágono TIC.

Sumario: Introducción, Metodología, Evaluación del Sistema, Discusión y Conclusiones.

Como citar: Maldonado-Mahauad, J., Moscoso, D. & Pacheco, J. (2024). Sistema de Recomendación de Cursos en Línea basado en el Perfil de Competencias TIC del Docente. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 196-214. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1201>

Abstract

Digital transformation in education has created the need to train teachers and improve their digital competencies. However, training processes are often ineffective due to the lack of personalization in the proposals and the variety in teacher profiles. Given this, this article addresses the development of a web tool designed to diagnose teachers' digital competencies and provide personalized recommendations for MOOCs to support the development of their skills. To achieve this, a system that uses Natural Language Processing (NLP) techniques and a content-based recommendation model is proposed. Course data is obtained through web scraping and processed with NLP techniques, using an advanced language model (BERT) to generate vector representations of the courses and competencies. The web system allows teachers to self-assess their competencies, visualize the results, and receive personalized recommendations for MOOCs. The implementation of this system has proven effective in identifying teachers' areas for improvement and suggesting relevant courses for their professional development. The results suggest that the use of this system can be an effective solution for training teachers in digital competencies.

Keywords: pedagogical tools, artificial intelligence, digital competencies, educational technology.

Introducción

La era digital ha provocado una transformación significativa en diversos aspectos de la sociedad, con la educación como uno de los sectores más afectados. Este cambio profundo ha impulsado una revisión de las metodologías de enseñanza y aprendizaje, situando a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el núcleo de la interacción educativa (Figueredo, 2013). La incorporación de las TIC en la educación no solo favorece un enfoque más interactivo y dinámico en los procesos educativos, sino que también exige una evolución en el papel del docente. En este contexto, los educadores se enfrentan al reto de adaptarse a estos nuevos entornos digitales, lo que requiere el desarrollo y perfeccionamiento constante de sus competencias digitales y relacionadas con las TIC.

No obstante, las instituciones educativas enfrentan serios desafíos en el proceso de capacitar eficazmente a los docentes en el uso de las TIC. Estos retos incluyen desde la carencia de recursos tecnológicos adecuados, como computadoras y acceso a Internet, hasta limitaciones en la formación y desarrollo profesional de los docentes en el ámbito tecnológico (Ayabaca et al., 2019). Además, uno de los obstáculos más complejos es la falta de una referencia estandarizada que permita evaluar con precisión el nivel inicial de competencia TIC de los docentes. Esta ausencia de criterios uniformes complica la identificación de necesidades específicas de formación, lo que dificulta la personalización de los programas de capacitación para mejorar las habilidades digitales. La disparidad en los niveles de competencia digital entre docentes de diferentes regiones, instituciones e incluso dentro de la misma institución subraya la importancia de enfoques adaptativos en la capacitación docente.

Para superar estos desafíos, se han desarrollado diversos modelos adaptados a los distintos contextos regionales, con el objetivo de establecer una base para evaluar y mejorar las competencias digitales de los docentes. Entre estos, destacan los “Estándares ISTE para educadores” publicados por la Sociedad Internacional de Tecnología Educativa de Estados Unidos (ISTE) en 2008, que proporcionan directrices para la integración de las TIC en la práctica docente (Trust, 2018). En Europa, el Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF) ha propuesto el “Marco Común de Competencia Digital Docente”, alineado con el Marco Europeo de Competencia Digital para Ciudadanos y

Educadores, el cual sirve como una herramienta para identificar las necesidades de formación en el ámbito digital (INTEF, 2023; Redecker, 2022). En América Latina, el Ministerio de Educación de Colombia (MEN, 2013) presenta un modelo enfocado en cinco competencias TIC fundamentales.

Los modelos antes mencionados brindan un marco de referencia para establecer una base que permita evaluar las competencias digitales de los docentes. Sin embargo, el verdadero valor de estas evaluaciones radica en utilizar sus resultados para apoyar la formación docente. Si bien es importante medir las competencias TIC, es aún más crucial actuar sobre esa información. No obstante, organizar capacitaciones que lleguen a grandes grupos de docentes y que aborden las competencias y el nivel requerido para cada uno según su perfil evaluado es costoso y complicado para las instituciones educativas. Esto evidencia la necesidad de una herramienta tecnológica que permita ayudar a la formación docente de manera masiva, automática y personalizada. Para asegurar que este sea un proceso automatizado que no requiera mayores esfuerzos organizativos, se pueden utilizar técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) para analizar contenidos en la web y determinar su pertinencia con respecto a los objetivos de formación planteados.

Este trabajo propone el desarrollo de una herramienta web diseñada para evaluar y presentar el perfil de competencias digitales de los docentes, y utilizar esos datos para recomendar automáticamente cursos MOOC que ayuden a mejorar cada competencia evaluada. Para lograr esto, se define un marco de referencia para la evaluación de competencias digitales, se recolectan y preprocesan datos de cursos utilizando técnicas de PLN para identificar su relevancia en relación con cada competencia, y se generan representaciones vectoriales tanto de los cursos como de las descripciones de las competencias. A partir de estas representaciones, se calcula la similitud entre ellas, se implementa un modelo de clasificación personalizado y se optimizan sus hiperparámetros. Los cursos se clasifican según su nivel cognitivo para asegurar recomendaciones personalizadas. Finalmente, se implementa un sistema web que realiza búsquedas automáticas y periódicas de cursos, actualizando continuamente las recomendaciones, y permitiendo a los docentes evaluar sus competencias y acceder a sugerencias personalizadas.

El artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe la metodología utilizada para el desarrollo del sistema de recomendación. La sección 3 presenta los resultados de la evaluación del sistema y finalmente la sección 4 presenta las principales conclusiones de este trabajo.

Metodología

En la Figura 1 se detalla la metodología empleada para desarrollar el sistema de recomendación de cursos utilizando un enfoque de filtrado basado en contenido. El enfoque de filtrado basado en contenido elige los elementos a recomendar basándose en la correlación entre el contenido de esos elementos y las preferencias o necesidades previamente identificadas del usuario (Aggarwal, 2016). En este caso, no se requiere información de otros docentes ni de su interacción con otros cursos; lo único necesario es la correlación entre el contenido de los cursos y las descripciones de las competencias a evaluar, que representan las necesidades identificadas. Esta metodología se divide en tres etapas o secciones principales que son:

- Etapa 1: Preparación de los datos.
- Etapa 2: Implementación del Modelo de Recomendación.
- Etapa 3: Implementación del Sistema.

Figura 1

Metodología aplicada para el desarrollo del sistema de recomendación



Fase 1: Preparación de los datos

Definición del Marco de Referencia

El primer paso en esta primera etapa es definir el marco de referencia para la evaluación de las competencias digitales. Después de revisar varios marcos (ver sección 1), se optó por utilizar el Pentágono de Competencias TIC para el Desarrollo Profesional Docente del Ministerio de Educación Nacional (MEN) de Colombia (MEN, 2013). El Pentágono de Competencias ha sido específicamente desarrollado teniendo en cuenta el contexto latinoamericano, lo que lo hace más relevante y aplicable a las realidades y necesidades específicas de nuestra región. Este modelo se centra en cinco competencias TIC principales que cubren una amplia gama de habilidades necesarias para la práctica docente efectiva en el ámbito digital, asegurando una formación completa y equilibrada para los docentes. Además, el modelo ha sido reconocido y validado por instituciones educativas de la región, garantizando su fiabilidad y efectividad en la mejora de las competencias digitales de los docentes. La implementación de este modelo ha mostrado resultados positivos en la identificación de áreas de mejora y en la capacitación efectiva de los docentes en competencias digitales, lo que respalda su elección sobre otros marcos que pueden no estar tan ajustados a las necesidades locales. Este marco sugiere un camino y guía para que los docentes utilicen las TIC de forma estructurada, a través de la evaluación y el desarrollo de cinco competencias que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

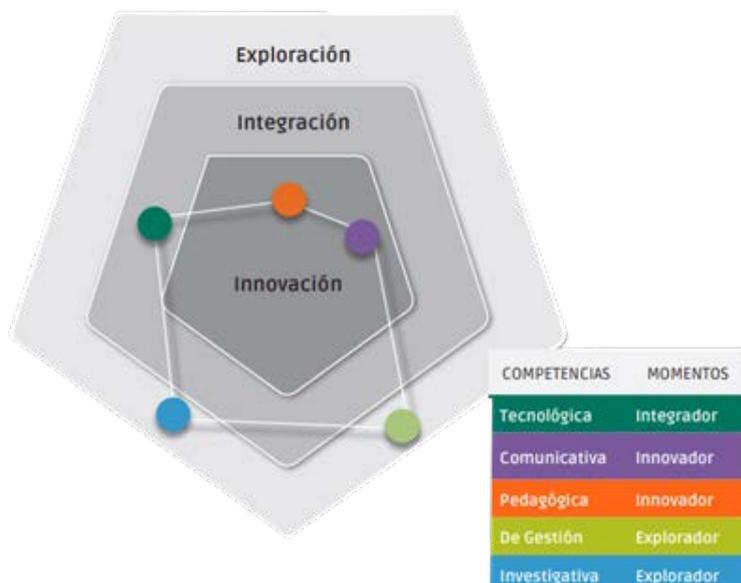
Definición de las competencias digitales según el marco del MEN de Colombia

COMPETENCIA	DESCRIPCIÓN
Tecnológica	Comprensión de las herramientas tecnológicas, desarrollo de contenidos y consideración ética en la utilización de las TIC.
Comunicativa	Capacidades de los docentes para transmitir y compartir información en entornos mediados por las TIC.
Pedagógica	Aprecia el aprendizaje, la resolución de problemas educativos y el diseño de estrategias didácticas apoyadas por las TIC.
De gestión	Aplicación de las TIC en los procesos educativos, las políticas y el crecimiento profesional mediante el uso de TIC.
Investigativa	Comprueba que las actividades de investigación fomenten la reflexión sobre el uso de las TIC, las fuentes de información, el acceso a información a través de TIC y la creación de nuevos conocimientos.

Estas competencias se desarrollan y manifiestan en diferentes niveles o etapas de complejidad. En la primera etapa, conocida como momento de exploración, se facilita el acceso a un conjunto de conocimientos básicos que sirven como fundamento para avanzar hacia niveles más profundos de comprensión. Posteriormente, en la segunda etapa o momento de integración, se promueve la aplicación de los conocimientos adquiridos para resolver problemas en diversos contextos. Finalmente, en la tercera etapa o momento de innovación, se destaca la creatividad, permitiendo ir más allá de lo aprendido y concebir nuevas formas de acción o explicación. En la Figura 2 se muestra un ejemplo del resultado de evaluar las competencias digitales según este modelo.

Figura 2

Resultado de la evaluación de competencias según el modelo del MEN de Colombia



Obtención de los datos de cursos

Una de las principales motivaciones para este trabajo es la necesidad de apoyar la formación docente con contenidos actualizados, al mismo tiempo que se minimizan los esfuerzos de la universidad en términos de tiempo y presupuesto. Una manera de automatizar el proceso de recolección de datos de cursos es emplear una técnica utilizada para extraer datos de plataformas web accesibles a través de Internet denominada web scraping. Esto implica el uso de scripts que recorren páginas web y recopilan información específica de manera automatizada (Patel, 2020). Por tal motivo, la recolección de datos se llevó a cabo utilizando herramientas como Python y bibliotecas como BeautifulSoup y Requests, respetando los términos de servicio de los sitios web objetivo. Las plataformas de cursos MOOC incluyeron sitios como Coursera y Udemy. El proceso consistió en extraer información relevante de cada curso, incluyendo títulos, descripciones y enlaces, asegurando la limpieza y estructuración adecuada de los datos recolectados para su posterior procesamiento. Al tratarse de un proceso calculado se utilizaron términos de búsqueda específicos relacionados con las competencias digitales evaluadas. Estos términos fueron seleccionados cuidadosamente para abarcar una amplia gama de cursos pertinentes y asegurar que los resultados fueran relevantes.

Preprocesamiento y filtrado inicial de los cursos

Para preprocesar los textos de los cursos, se aplicó una serie de pasos de procesamiento de lenguaje natural (PLN) tanto al título como a la descripción. Primero, se llevó a cabo la tokenización, un proceso que divide el texto en unidades más pequeñas llamadas tokens, que

pueden incluir palabras, partes de palabras, caracteres, números, signos de puntuación o símbolos (Lee, 2023). Luego, se aplicó la lematización, que convierte cada palabra a su forma base llamada lema de la palabra (Khyani & B S, 2021) (por ejemplo, "corriendo" se convierte en "correr"). Adicionalmente, se eliminaron las stop words, que son palabras comunes y de poca relevancia (como "y", "el", "de") que no aportan significado al análisis (Kedia & Rasu, 2020). Estos pasos permitieron obtener un conjunto de palabras representativo para cada curso, facilitando su posterior análisis y filtrado.

Durante la obtención automatizada de los cursos, se recolectaron varios cursos que no correspondían a las competencias debido a la naturaleza de los motores de búsqueda en las páginas de cursos, que en ocasiones devuelven resultados irrelevantes. Para abordar este problema, se implementó un proceso de filtrado inicial utilizando términos clave obtenidos de las descripciones de las cinco competencias evaluadas. Para identificar estos términos clave, se utilizó el método TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency), que es ampliamente utilizado en el análisis de textos para resaltar palabras significativas en grandes conjuntos de datos (Leskovec, Rajaraman, & Ullman, 2014). Este método asegura que los términos seleccionados sean verdaderamente representativos de las competencias.

A partir de las descripciones de las competencias, se generó una lista de palabras clave para cada una de ellas. Estas palabras clave se compararon con el conjunto de palabras obtenido de cada curso durante el preprocesamiento. Los cursos se filtraron en función de las coincidencias entre las palabras clave correspondientes a la competencia y el conjunto de palabras de cada curso. Aquellos cursos que no contenían ninguna de las palabras relevantes fueron descartados, asegurando que solo los cursos pertinentes a las competencias evaluadas fueran considerados en las etapas posteriores del análisis. Esta estrategia de filtrado inicial no solo mejora la calidad de los datos, sino que también optimiza los recursos al eliminar cursos irrelevantes desde el inicio.

Etiquetado manual

Se creó un conjunto de datos, extrayendo los 100 cursos con las coincidencias más altas para cada competencia con el fin de facilitar el proceso de etiquetado manual, garantizando que el conjunto de datos fuera manejable y representativo. El objetivo del etiquetado manual es evaluar la pertinencia de cada curso en relación con la competencia para la cual fue seleccionado. Los especialistas revisaron los títulos y descripciones de los cursos y los clasificaron manualmente como "pertinentes" o "no pertinentes". El resultado de este procedimiento fue la creación de un conjunto de datos etiquetados denominado gold estándar, que representa el resultado que se espera del modelo y que sirvió como base para el entrenamiento y evaluación del modelo de recomendación.

Fase 2: Modelo de recomendación

En esta etapa se implementó el modelo de recomendación, para lo cual se utilizó un modelo de lenguaje para convertir tanto las definiciones de las competencias como los títulos y descripciones de los cursos en vectores numéricos denominados embeddings y posteriormente calcular la similitud entre estos embeddings. Usando estos valores de similitud entre los cursos y su respectiva competencia, se implementó un modelo de clasificación que decide la pertinencia del curso. Finalmente, para asegurar la personalización del curso, se implementó una clasificación según el nivel cognitivo de los cursos. En la Figura 3 se explica de manera gráfica el proceso de implementación del modelo de clasificación.

Generación de Embeddings

Para representar mediante embeddings los títulos y descripciones de los cursos, así como las descripciones de las competencias, se utiliza BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), el cual es un modelo de lenguaje avanzado que destaca por poder generar representaciones contextuales de las palabras, ya que considera el contexto en el que aparece cada palabra dentro del texto (Devlin et al., 2019). Este modelo tiene un tamaño comparable al de BERT-Base y fue entrenado utilizando la técnica de Whole Word Masking (Cañete et al., 2023).

Para este proceso, no es necesario aplicar ningún tipo de preprocesamiento de textos, ya que puede alterar el contexto, lo cual no es recomendable para ser procesado por BERT. En primer lugar, se utiliza la tokenización específica de BERT, que divide el texto en tokens y añade tokens especiales necesarios para el modelo. Finalmente, para obtener los embeddings, estos tokens se pasan a través del modelo BERT pre entrenado (dccuchile/bert-base-spanish-wwm-uncased), generando un vector de alta dimensión para cada token. Estos vectores capturan información semántica rica sobre las palabras y su contexto en el texto y se promedian para obtener una representación final del texto. Se ha optado por este método de agregación debido a su capacidad para obtener una representación general del texto completo.

Cálculo de similitudes

Evaluar la similitud entre dos textos requiere convertir el texto en un conjunto de números y aplicar operaciones matemáticas para calcular la distancia entre dos vectores, lo que indica su relación. Distancias pequeñas sugieren una alta relación, mientras que distancias grandes indican una baja relación. La similitud coseno es una medida utilizada para evaluar la similitud entre dos vectores en un espacio multidimensional.

Se realizan dos cálculos de similitud por curso: (1) para el título; (2) para la descripción del curso. La función `cosine_similarity` de Sklearn se utiliza para calcular la similitud del coseno. Esta función toma dos vectores como entrada y devuelve un valor de similitud. Este valor puede variar entre -1 y 1, donde los valores cercanos a 1 indican que los vectores son similares, mientras que los valores cercanos a -1 indican que son diferentes. Los resultados obtenidos son la similitud entre el título del curso y la definición de la competencia, así como la similitud entre la descripción del curso y la definición de la competencia.

Implementación del modelo de clasificación

Se implementa un modelo de clasificación personalizado, el cual utiliza los valores de la similitud del coseno calculados para los títulos y descripciones de los cursos en relación con las competencias. Para combinar estos dos valores de similitud en una única puntuación, se calcula un promedio ponderado. El peso del título se denota como w , y el peso de la descripción se calcula como $1-w$.

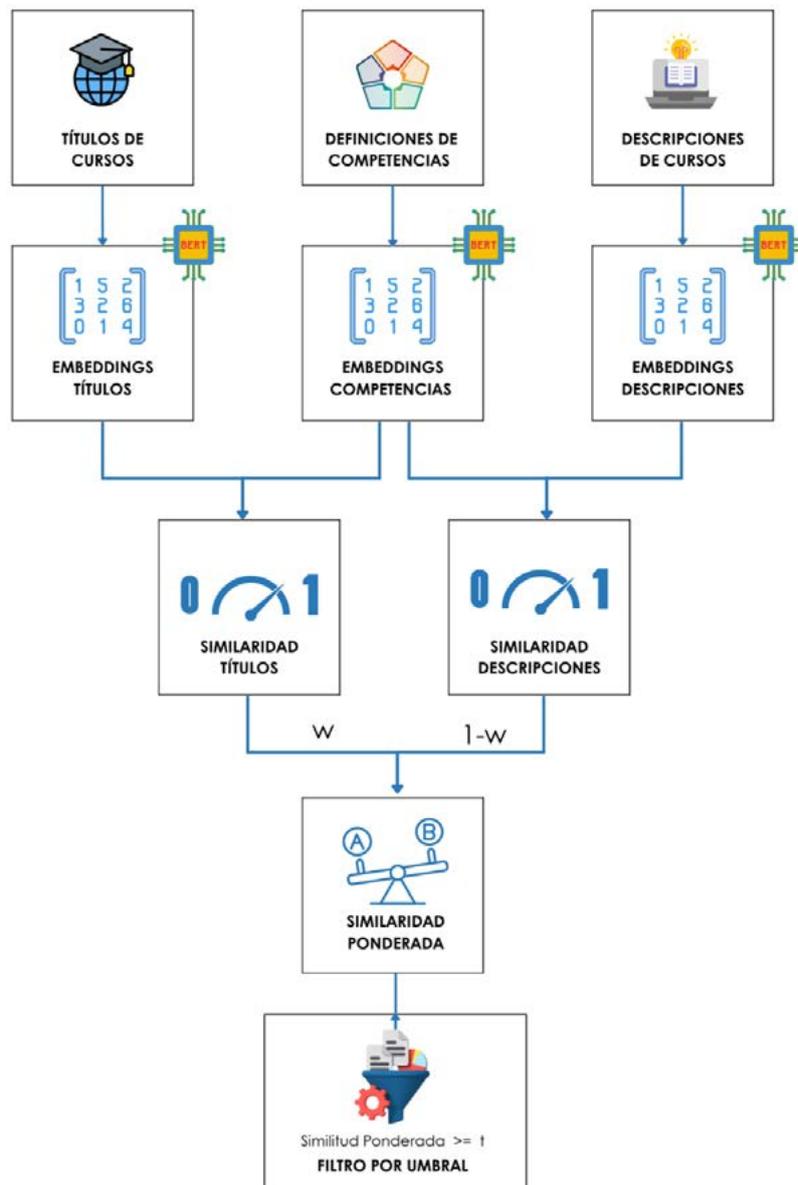
Basándose en la similitud ponderada, el modelo clasifica un curso como pertinente o no pertinente para una competencia. Para tomar esta decisión, se define un umbral denotado como t , que determina el punto de corte para considerar un curso como pertinente. Si la similitud ponderada es mayor o igual al umbral, el curso se clasifica como pertinente.

Optimización y evaluación del modelo

En esta sección se entrenará el modelo con los datos etiquetados para definir los hiperparámetros óptimos para este modelo de clasificación. Al realizar un análisis de los datos etiquetados se pudo observar que las etiquetas están muy desbalanceadas, por lo que se aplicó la técnica de submuestreo al conjunto de datos etiquetados para evitar el sobreajuste y asegurar

un entrenamiento equilibrado del modelo. Esta técnica se utiliza para reducir la cantidad de instancias de la clase mayoritaria, lo que ayuda a equilibrar los conjuntos de datos y mejorar la precisión de los modelos predictivos (Ali et al., 2015). En este caso, la clase mayoritaria son los cursos etiquetados como no pertinentes y la clase minoritaria son los etiquetados como cursos pertinentes. Con este submuestreo, se asegura que el modelo no esté sesgado hacia la clase mayoritaria, es decir, que el modelo no sea propenso a clasificar siempre como no pertinentes a los cursos.

Figura 3
Proceso de implementación del modelo de recomendación



Con el objetivo de buscar los hiperparámetros que brinden un mejor rendimiento para el modelo, se aplicó Grid Search en combinación con validación cruzada. Esta combinación de técnicas es ampliamente utilizada debido a su capacidad para buscar los hiperparámetros óptimos de manera rigurosa y sistemática. Según un artículo en Scikit-learn documentation, este enfoque asegura que los modelos sean evaluados exhaustivamente, utilizando solo una parte del conjunto de datos para la selección de hiperparámetros y otra parte para la evaluación final, lo que reduce el riesgo de sobreajuste (Scikit-learn, 2018).

En la Tabla 2 se observa la descripción de los hiperparámetros a optimizar para este modelo, definiendo los rangos que pueden tener y el incremento que va a ser utilizado para la búsqueda exhaustiva. Para este proceso se definió un conjunto de todas las posibles combinaciones de w y t , para posteriormente realizar una validación cruzada k -fold. En este caso se utilizó un $k=5$; esto implica dividir el conjunto de datos en cinco pliegues para entrenar al modelo con cuatro pliegues y probar con el pliegue restante, reiterando este proceso cinco veces para cada combinación de hiperparámetros.

Para cada combinación de hiperparámetros se obtuvieron las métricas que indican el rendimiento del modelo. Los resultados de estas métricas en las iteraciones de la validación cruzada se promedian para obtener las métricas representativas para cada combinación de hiperparámetros, lo que permite identificar la configuración óptima que maximiza el rendimiento del modelo. Existen diversas métricas para evaluar un modelo y depende de la naturaleza del problema abordado cual es la métrica que se requiere maximizar. En el contexto de esta clasificación de cursos se optó por maximizar la métrica de precisión, ya que en este caso es crucial minimizar el número de falsos positivos, es decir, evitar que se recomienden cursos que no sean relevantes para las competencias definidas. Esta métrica mide la proporción de verdaderos positivos entre todos los clasificados como positivos, y puede ser especialmente útil cuando el objetivo es asegurar que los elementos etiquetados positivamente sean correctos (Saito & Rehmsmeier, 2015). Esta métrica es particularmente relevante en conjuntos de datos desequilibrados, como es el caso en este problema, donde la cantidad de cursos pertinentes es mucho menor que la cantidad de cursos no pertinentes.

Tabla 2
Hiperparámetros del modelo

HIPERPARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO	INCREMENTO
Peso del título	Determina la importancia relativa de la similitud del título en comparación con la similitud de la descripción.	[0,1]	0.1
Umbral	Define el valor mínimo de la similitud ponderada para que un curso sea considerado pertinente.	[0,1]	0.1

La Tabla 3 presenta los mejores resultados obtenidos durante la primera pasada del Grid Search, una técnica utilizada para optimizar la selección de hiperparámetros en el modelo. En este contexto, los hiperparámetros más efectivos fueron un peso del título (w) de 0.2 y un umbral (t) de 0.8. Esta combinación proporcionó una precisión de 0.596, lo que indica que, de las recomendaciones generadas, una proporción considerable fue correcta. Sin embargo, esta mejora en la precisión se obtuvo a costa de una disminución en el recall, que fue de 0.381.

El recall es crucial para asegurar que el modelo identifique la mayoría de los cursos relevantes, y una disminución en esta métrica implica que hay más cursos relevantes que no fueron recomendados (falsos negativos). No obstante, en este escenario, se decidió priorizar la precisión sobre el recall. La razón detrás de esta decisión es que se busca asegurar que los cursos que se recomiendan sean altamente pertinentes para los usuarios, incluso si eso significa no recomendar todos los cursos que podrían ser relevantes. Este enfoque es aceptable, ya que es preferible evitar la inclusión de cursos no pertinentes en las recomendaciones, lo cual podría disminuir la confianza en el sistema. Al asegurar la alta calidad de las recomendaciones, se mantiene la relevancia y efectividad del sistema, alineándose con el objetivo de proporcionar a los docentes cursos que realmente contribuyan a mejorar sus competencias.

Además, el análisis de los resultados sugiere que, aunque existe un trade-off entre precisión y recall, la estrategia seleccionada optimiza el rendimiento del modelo de acuerdo con las prioridades del problema en cuestión, donde la precisión es más crítica para el éxito del sistema de recomendación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que futuras iteraciones del modelo podrían explorar un balance diferente o buscar formas de mejorar tanto la precisión como el recall, dependiendo de las necesidades específicas del sistema y el feedback de los usuarios.

Tabla 3
Mejores Resultados Grid Search (primera pasada)

PESO DEL TITULO	UMBRAL	PRECISIÓN	RECALL	F1-SCORE	ACCURACY
0.2	0.8	0.596	0.381	0.454	0.789
0.3	0.8	0.496	0.147	0.22	0.777
1	0.7	0.466	0.103	0.168	0.766
0.1	0.8	0.458	0.536	0.485	0.726
0.8	0.7	0.457	0.259	0.325	0.748
0.9	0.7	0.434	0.155	0.227	0.756
0.7	0.7	0.406	0.397	0.399	0.724
0.5	0.8	0.4	0.017	0.033	0.769
0.4	0.8	0.35	0.043	0.076	0.769
0.6	0.7	0.325	0.543	0.404	0.63

Después de los resultados obtenidos en la primera pasada del Grid Search, se decidió realizar una segunda pasada para afinar aún más la precisión del modelo. En esta iteración, se utilizó un rango más específico de valores de los hiperparámetros, centrado alrededor de los valores previamente identificados como prometedores. El objetivo de esta segunda búsqueda era optimizar con mayor precisión los hiperparámetros clave, asegurando que se exploraran las configuraciones más cercanas al óptimo para mejorar el rendimiento del modelo.

Como resultado de esta segunda búsqueda, los valores óptimos identificados fueron un peso del título (w) de 0.215 y un umbral (t) de 0.811. Como se muestra en la Tabla 4, estos hiperparámetros produjeron una precisión de 0.624, una mejora notable respecto a los resultados anteriores. Aunque el recall no mostró una mejora significativa y se mantuvo en valores similares a los de la primera pasada (0.251), la precisión fue la métrica que experimentó el mayor beneficio.

La mejora en la precisión significa que el modelo es ahora más eficaz en la identificación de cursos altamente relevantes para los usuarios, minimizando la inclusión de cursos que no cumplen con los criterios deseados. Este resultado es especialmente relevante para el contexto en el que se aplica, donde la exactitud en las recomendaciones es prioritaria. La ligera reducción en el recall es un costo aceptable en este caso, ya que la estrategia sigue siendo asegurar que los cursos recomendados sean lo más pertinentes posible, aún si esto implica no captar todos los cursos relevantes disponibles.

Además, la Tabla 4 muestra que la precisión lograda con estos hiperparámetros también está acompañada por un F1-Score de 0.349 y una precisión global (accuracy) de 0.796, lo que

indica un buen balance general entre las métricas de rendimiento. Estos resultados sugieren que el ajuste fino realizado en esta segunda pasada ha permitido al modelo alcanzar un nivel más elevado de rendimiento, adecuándose mejor a los objetivos del sistema de recomendación.

Finalmente, es importante destacar que este proceso iterativo de ajuste y optimización es fundamental para mejorar continuamente la calidad de las recomendaciones, y futuras iteraciones podrían continuar afinando los hiperparámetros para adaptarse a cambios en los datos o en las necesidades de los usuarios.

Tabla 4
Mejores Resultados Grid Search (segunda pasada)

PESO DEL TITULO	UMBRAL	PRECISIÓN	RECALL	F1-SCORE	ACCURACY
0.215	0.811	0.624	0.251	0.349	0.796
0.216	0.811	0.618	0.243	0.339	0.794
0.221	0.81	0.618	0.243	0.339	0.794
0.227	0.808	0.611	0.243	0.338	0.792
0.24	0.805	0.611	0.243	0.338	0.792
0.232	0.807	0.611	0.243	0.338	0.792
0.231	0.807	0.611	0.243	0.338	0.792
0.239	0.805	0.611	0.243	0.338	0.792
0.223	0.809	0.611	0.243	0.338	0.792
0.228	0.808	0.611	0.243	0.338	0.792

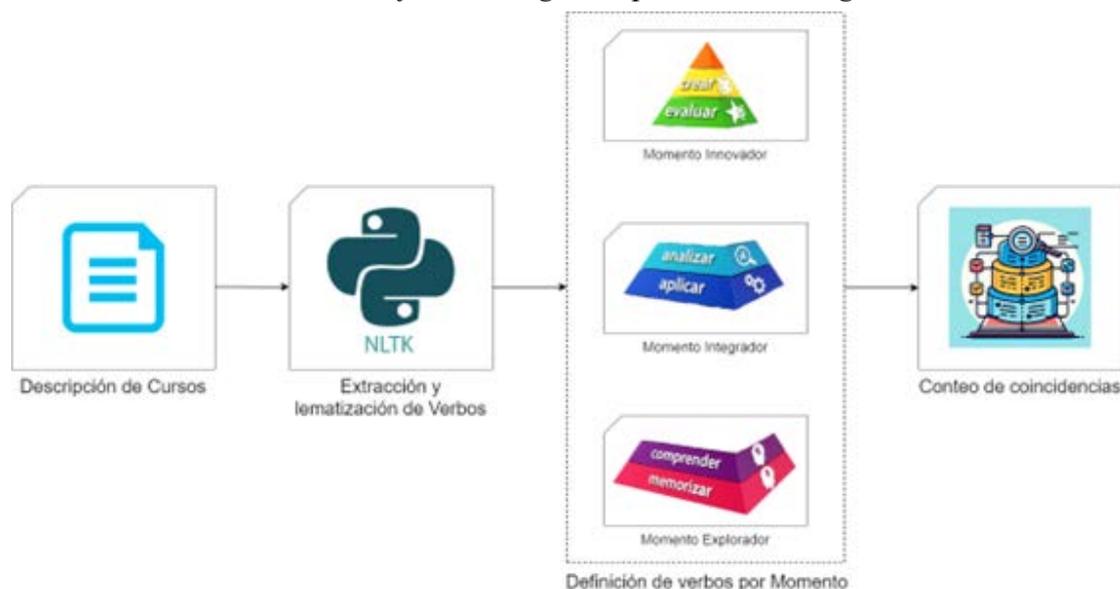
Los resultados de este proceso de optimización y evaluación muestran que el modelo actual proporciona recomendaciones de moderada precisión, lo cual es adecuado para las necesidades actuales del sistema, pero es importante trabajar a futuro en la optimización de este modelo para poder asegurar que se recomienden todos los cursos pertinentes posibles y se minimicen los falsos negativos en futuras iteraciones del sistema.

Clasificación utilizando la clasificación de Bloom

La clasificación de Bloom, creada por Benjamin Bloom en 1956, es un marco para clasificar los objetivos educativos, que ha sido ampliamente utilizado en el ámbito educativo desde su desarrollo. Los educadores emplean esta clasificación o taxonomía para establecer objetivos de aprendizaje, diseñar actividades de enseñanza y evaluación, y garantizar que se aborden diferentes niveles cognitivos. En su artículo "A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview", Krathwohl (2002) enfatiza la relevancia de la taxonomía revisada en la evaluación y planificación educativa. Esta taxonomía inicialmente clasifica el aprendizaje cognitivo en seis niveles: Conocer, Entender, Aplicar, Analizar, Evaluar y Crear. En el contexto de la educación en línea, la taxonomía de Bloom se considera una herramienta útil para clasificar y analizar la profundidad cognitiva de los cursos MOOCs. En este estudio, se adaptó la taxonomía de Bloom para categorizar los cursos en tres etapas de competencia según el marco referencial seleccionado: "Explorador", "Integrador" e "Innovador", representando un incremento progresivo en la complejidad cognitiva. Para realizar esta clasificación, se siguió el proceso que se ilustra en la Figura 4:

Figura 4

Proceso de clasificación según etapas o niveles cognitivos



- Definición de Niveles Cognitivos para los momentos del Pentágono TIC: Con el fin de simplificar la taxonomía de Bloom y ajustarla a nuestro contexto, se combinaron sus seis niveles cognitivos en tres categorías (que corresponden con los momentos), como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Taxonomía de Bloom y categorías del Pentágono TIC

MOMENTOS	NIVEL COGNITIVO DE BLOOM COMBINADO	DETALLE
Explorador	Conocer y Entender	Cursos enfocados en la introducción y comprensión fundamental de conceptos.
Integrador	Aplicar y Analizar	Cursos que fomentan la aplicación de conocimientos y el análisis crítico.
Innovador	Evaluar y Crear	Cursos avanzados que impulsan la evaluación crítica y la generación de nuevos conocimientos o productos.

- Identificación de Verbos Clave para cada momento: Se seleccionó un conjunto de verbos asociados originales de la taxonomía de Bloom. Estos verbos fueron lematizados y sirven como indicadores del nivel cognitivo que se espera que el curso logre.
- Procesamiento de Descripciones de Cursos: Las descripciones de los cursos disponibles en las plataformas fueron procesadas para extraer los verbos clave, utilizando la biblioteca NLTK de Python. Esta herramienta permitió llevar a cabo dos procesos fundamentales: la lematización de verbos y la eliminación de “stop words”. La lematización redujo los verbos a su forma base, lo cual es crucial para un análisis comparativo preciso, mientras que la eliminación de “stop words” ayudó a centrarse en las palabras más relevantes de las descripciones.
- Comparación y Asignación de Momentos: Utilizando los verbos lematizados

extraídos de las descripciones junto con los verbos clave definidos para cada nivel cognitivo, se realizó una comparación detallada. A cada curso se le asignó el nivel correspondiente basado en la mayor frecuencia de verbos asociados. Este enfoque cuantitativo garantiza una clasificación objetiva y sistemática de los cursos según su nivel de profundidad cognitiva.

Fase 3: Implementación del sistema

En esta etapa final se implementó un sistema web que permite a los docentes acceder a realizar una autoevaluación de sus competencias, ver sus resultados y obtener las recomendaciones de cursos para capacitarse en sus competencias digitales. Además, este sistema utiliza técnicas de web scraping para obtener nuevos cursos y utiliza el modelo generado en la etapa 2 para filtrar los cursos a recomendarse y almacenarlos en la base de datos. La arquitectura de este sistema se describe de manera gráfica en la Figura 5.

Figura 5
Arquitectura del sistema de recomendación

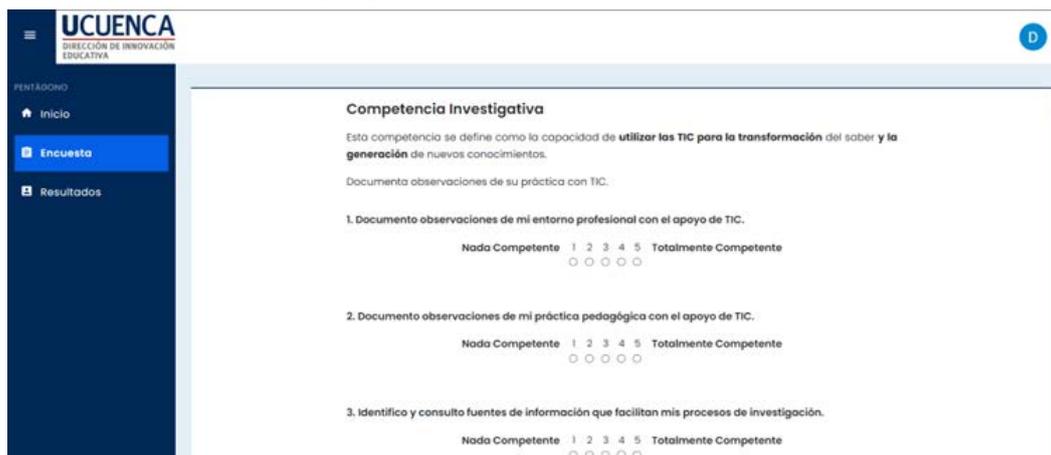


Autoevaluación de capacidades

A partir del instrumento adaptado, se implementó en el sistema una herramienta de evaluación adaptada al contexto universitario para medir las competencias TIC de los docentes. Este instrumento evalúa competencias en áreas tecnológicas, pedagógicas, comunicativas, de gestión e investigativas. Consta de 80 preguntas y utiliza una escala de calificación basada en la escala de Likert (“1- Nada Competente” a “5- Totalmente competente”). Además, el cuestionario recoge información sobre la facultad y la carrera en las que el docente imparte clases, así como su número de identificación personal. La interfaz de usuario para esta sección se muestra en la Figura 6.

Entre las preguntas diseñadas para cada competencia, se incluyen preguntas específicas que describen los diferentes momentos o niveles en los que un docente puede encontrarse. De este modo, para cada competencia, se ubicará al docente en el nivel correspondiente al grupo de preguntas en el que obtuvo la mayor calificación promedio.

Figura 6
Interfaz para completar la autoevaluación



Resultados y recomendaciones

Después de que los docentes completen la autoevaluación, podrán acceder a sus resultados en la sección de resultados, la cual muestra una representación de su nivel de competencia TIC. Para visualizar los resultados, se utilizó un gráfico de radar en forma de pentágono, que consta de tres niveles. Cada punta del pentágono representa una competencia, y cada nivel indica el momento en que se encuentra el docente, siendo el nivel más interno el Momento Explorador, el nivel intermedio el Momento Integrador, y el nivel más externo el Momento Innovador. Además, se ofrece una interpretación detallada de cada competencia y sus respectivos niveles, permitiendo a los docentes comprender los resultados obtenidos en la encuesta (ver Figura 7).

Figura 7
Vista de la interfaz de usuario para visualizar los resultados de la evaluación



La sección de cursos recomendados (ver Figura 8) muestra una lista de todos los cursos que se recomiendan al profesor y que están alineados con su nivel de competencias TIC. Los cursos recomendados están organizados en grupos de 3 por cada competencia. Cada curso es accesible y presenta una imagen, un título, la descripción breve, puntuación, creador y la plataforma de origen.

Figura 8

Vista de la interfaz de usuario para visualizar las recomendaciones de los cursos



Búsqueda automatizada de cursos

El sistema realiza una búsqueda automatizada de nuevos cursos en las plataformas MOOC de forma periódica. Esto se realiza para mantener actualizada la base de datos de cursos para recomendar utilizando técnicas de web scraping y los términos de búsqueda definidos. Para esto se implementó un script que realiza el web scraping de manera periódica y se utilizan técnicas de PLN y el modelo de clasificación implementado para definir la pertinencia de los cursos de manera automatizada.

Evaluación del Sistema

En esta sección se presenta la evaluación del sistema de recomendación, para esto se utilizó dos criterios clave: (1) usabilidad, y (2) calidad de la recomendación. Para evaluar (1) la usabilidad, se utilizó el cuestionario System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1995), que consta de 10 preguntas con cinco opciones de respuesta. Para evaluar (2) la calidad de la recomendación, se diseñó un cuestionario específico de 3 preguntas que permite analizar el grado de satisfacción de los docentes con respecto a los cursos sugeridos. La lista de preguntas se muestra en la Tabla 6. La evaluación fue realizada por una muestra de $n=140$ docentes de la Universidad de Cuenca utilizando Google Forms.

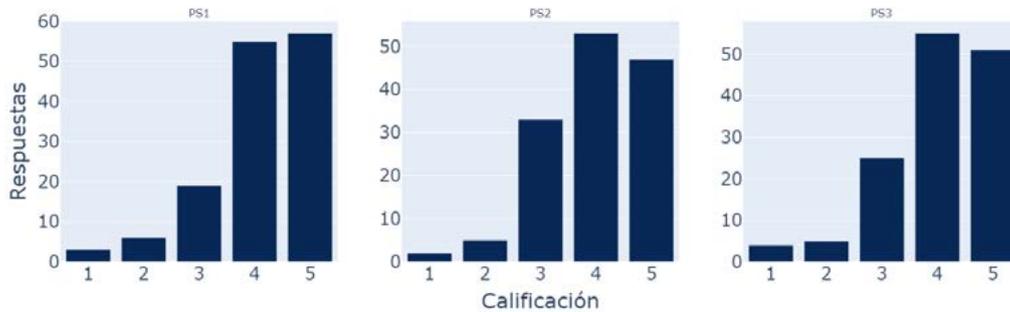
Tabla 6

Preguntas para medir el grado de satisfacción de los docentes (calidad de la recomendación)

IDENTIFICADOR	PREGUNTA	MÉTRICA MÍNIMA	MÉTRICA MÁXIMA
PS1	¿Cómo calificaría la relevancia de los cursos recomendados?	Nada relevante.	Muy relevante.
PS2	En términos de ajuste a sus intereses y necesidades, ¿cómo calificaría las recomendaciones?	Nada útil.	Muy útil.
PS3	¿Considera que los cursos recomendados están alineados a las cinco competencias TIC (tecnológica, comunicativa, de gestión, investigativa y pedagógica)?	No alineadas en absoluto.	Totalmente alineadas.

En cuanto al cuestionario de satisfacción sobre la calidad de la recomendación de los cursos, la tendencia general mostrada en la Figura 9 revela que las respuestas tienden a concentrarse en las calificaciones más altas (4 y 5).

Figura 9
Agrupación de las respuestas por cada pregunta del cuestionario de satisfacción



En la Tabla 7, se puede observar que todos los promedios para cada una de las preguntas superan el valor de 3.5 (media), lo que sugiere una percepción generalmente positiva por parte de los docentes sobre los cursos recomendados. Los valores de la desviación estándar reflejan una ligera variabilidad en las respuestas para cada pregunta, lo que indica que, aunque la percepción es favorable, hay algunas diferencias en cómo los docentes valoran ciertos aspectos. En general, los resultados muestran que los cursos recomendados son vistos como relevantes, bien ajustados a sus intereses y necesidades, y alineados con las competencias TIC. En relación con el cuestionario SUS, el puntaje medio de usabilidad registrado es de aproximadamente 62.27, con una mediana de 60. Según la Figura 10, que proporciona una interpretación de los resultados del cuestionario, la herramienta recibe una calificación de 'D' y un adjetivo descriptor de 'OK'. En términos de aceptabilidad, se clasifica como 'Marginal'. La desviación estándar, que se sitúa en torno a 16.96, indica una variabilidad moderada en los puntajes de usabilidad entre los docentes.

Tabla 7
Resultados del cuestionario de satisfacción

IDENTIFICADOR	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
PS1	4.12	0.95
PS2	3.98	0.92
PS3	4.03	0.97

Figura 10
Formas de interpretar el puntaje SUS

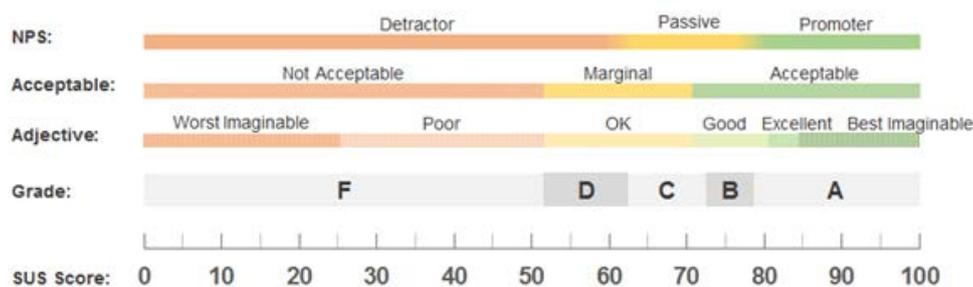
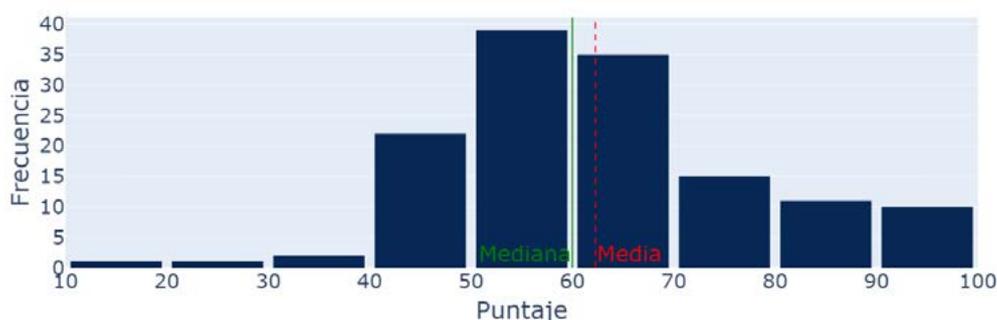


Figura 11

Agrupación de las respuestas por cada pregunta del cuestionario de satisfacción



Como se muestra en la Figura 11, los resultados sugieren que los docentes consideran que el sistema tiene una usabilidad moderada o promedio. Aunque el puntaje no es bajo, indica que existe un margen significativo para mejorar la usabilidad del sistema. Esto implica que la herramienta podría beneficiarse de una revisión para abordar los aspectos que han conducido a valoraciones más bajas. En resumen, mientras los docentes están satisfechos con los cursos recomendados, encuentran dificultades en el uso de la herramienta, lo que subraya la necesidad de mejorar ciertos aspectos de su usabilidad para optimizar la experiencia del usuario.

Discusión y Conclusiones

El campo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) está en constante evolución, lo que impone la necesidad de una revisión continua de las competencias docentes en este ámbito. A lo largo de este estudio, la implementación de un sistema de recomendación de cursos personalizados ha demostrado ser una herramienta valiosa para apoyar el desarrollo profesional continuo de los docentes, contribuyendo así a la mejora de la calidad educativa en las instituciones.

Los resultados obtenidos sugieren que, si bien los cursos recomendados son percibidos como relevantes y bien alineados con las necesidades y competencias TIC de los docentes, la usabilidad del sistema presenta ciertos desafíos. El análisis de la usabilidad muestra que, aunque la herramienta cumple su función, existe un margen considerable para mejorar la experiencia del usuario, lo cual es esencial para maximizar la efectividad y la adopción de la plataforma.

En términos generales, este sistema no solo facilita la actualización continua de las competencias docentes en un entorno educativo dinámico, sino que también promueve una integración más efectiva de las TIC en la enseñanza. Esto tiene un impacto directo en la calidad de la educación y enriquece la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, preparándolos mejor para un mundo cada vez más digital. No obstante, para que el sistema alcance su pleno potencial, es fundamental continuar mejorando tanto la calidad de las recomendaciones como la usabilidad del sistema. Estas mejoras son necesarias para garantizar que la herramienta siga siendo relevante y útil en un contexto educativo en constante cambio.

El uso de técnicas de filtrado basado en contenido y procesamiento de lenguaje natural (PLN) ha demostrado ser efectivo para categorizar cursos y alinear las recomendaciones con las necesidades específicas de los docentes. No obstante, la precisión en la interpretación del lenguaje y la clasificación de contenidos sigue siendo un área de mejora. La implementación

de un modelo híbrido, que integra la Taxonomía de Bloom para identificar el nivel cognitivo de los cursos, ha permitido una mayor personalización, pero también ha subrayado la complejidad de automatizar estas recomendaciones de manera precisa.

Como lecciones aprendidas se pueden indicar las siguientes: (1) Respecto de la Evaluación de Competencias TIC: La diversidad en las habilidades y conocimientos TIC entre los docentes destacó la necesidad de herramientas de evaluación más precisas y objetivas. La subjetividad en las autoevaluaciones puede afectar la exactitud de las recomendaciones, sugiriendo la necesidad de métodos más estandarizados y menos dependientes de la percepción individual. (2) Respecto del Desarrollo Tecnológico: La colaboración con expertos en diseño y desarrollo web fue crucial para crear una herramienta que no solo fuera funcional, sino también alineada con la identidad institucional. La flexibilidad y escalabilidad del sistema permitieron ajustes continuos y mejoras basadas en la retroalimentación de los usuarios. (3) Respecto de la Retroalimentación y Adaptación: La retroalimentación de los docentes indicó que, aunque la mayoría estaba satisfecha con los cursos recomendados, la usabilidad de la interfaz necesitaba mejoras.

Lo anterior resalta la importancia de considerar tanto el contenido como la experiencia del usuario en el diseño de sistemas educativos. Sin embargo, este desarrollo logró exitosamente diseñar e implementar un sistema de recomendación de cursos en línea para mejorar las competencias TIC de los docentes de la Universidad de Cuenca. Esta herramienta no solo facilita el acceso a recursos educativos personalizados, sino que también ayuda significativamente a la adaptación de la educación superior a las demandas digitales actuales. La integración de la Taxonomía de Bloom y técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) permitió realizar recomendaciones más precisas y relevantes, aunque todavía hay espacio para futuras mejoras.

A pesar del éxito, el desarrollo enfrentó varias limitaciones. La precisión en la medición de competencias se vio afectada por la subjetividad de la autoevaluación y la complejidad de las competencias TIC, lo que subraya la necesidad de herramientas de evaluación más objetivas. Además, la constante evolución de las tecnologías y metodologías pedagógicas requiere que el sistema sea dinámico y adaptable. Los desafíos del PLN, como la interpretación correcta de términos y contextos, también presentaron dificultades, especialmente en la clasificación precisa del contenido educativo. En resumen, el desarrollo ha establecido una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos, ofreciendo valiosas perspectivas para la mejora continua de las herramientas educativas digitales.

Para trabajos futuros, se recomienda evaluar la eficacia del uso de la Taxonomía de Bloom para categorizar los cursos según su nivel cognitivo. Además, se sugiere explorar posibles soluciones basadas en técnicas de machine learning para mejorar la personalización de los cursos. Esto podría incluir el uso de modelos más avanzados de aprendizaje automático para analizar patrones en las preferencias y necesidades de los docentes, con el fin de ofrecer recomendaciones de cursos aún más precisas y adaptadas.

Agradecimientos

Este artículo recibió el apoyo de la Vicerrectoría Académica de la Universidad de Cuenca y la Dirección de Innovación Educativa.

Referencias

- Ali, Aida & Shamsuddin, Siti Mariyam & Ralescu, Anca. (2015). Classification with class imbalance problem: A review. *International Journal of Advance Soft Computing Applications*, 7, 176-204.
- Aggarwal, C. C. (2016). *Recommender Systems*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29659-3>
- Ayabaca, D. M. G., Alba, J. A. J., & Guamán, E. E. E. (2019). Implementación de las TIC en el ámbito educativo ecuatoriano. *Sociedad & Tecnología*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.51247/st.v2i2.49>
- Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- Cañete, J., Chaperon, G., Fuentes, R., Ho, J.-H., Kang, H., & Pérez, J. (2023). Spanish Pre-trained BERT Model and Evaluation Data (arXiv:2308.02976). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.02976>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/1810.04805>
- Figueredo, O. R. B. (2013). Tecnologías emergentes en la educación: Una experiencia de formación de docentes que fomenta el diseño de ambientes de aprendizaje. *Educação & Sociedade*, 34(123), 531–548.
- INTEF (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado). (2023). *Marco de Referencia de la Competencia Digital Docente (MRCDD)*. Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación y Formación Profesional de España.
- Kedia, A., & Rasu, M. (2020). Hands-On Python Natural Language Processing: Explore tools and techniques to analyze and process text with a view to building real-world NLP applications. *Packt Publishing Ltd*.
- Khyani, D., & B S, S. (2021). An Interpretation of Lemmatization and Stemming in Natural Language Processing. *Shanghai Ligong Daxue Xuebao/Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 22, 350–357.
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Lee, R. S. T. (2023). *Natural Language Processing: A Textbook with Python Implementation*. Springer Nature.
- Leskovec, J., Rajaraman, A., & Ullman, J. D. (2014). *Mining of Massive Datasets*. Cambridge University Press.
- MEN (Ministerio de Educación Nacional de Colombia). (2013). *Competencias TIC para el Desarrollo Profesional Docente*. Oficina de Innovación Educativa con Uso de Nuevas Tecnologías.
- Scikit-learn. (2018). Parameter estimation using grid search with cross-validation. *Scikit-learn*. Retrieved May 27, 2024, from https://scikit-learn.org/0.18/auto_examples/model_selection/grid_search_digits.html
- Patel, J. M. (2020). *Getting Structured Data from the Internet: Running Web Crawlers/Scrapers on a Big Data Production Scale*. Apress.
- Redecker, C. (2020). *Marco Europeo para la Competencia Digital de los Educadores: DigCompEdu* (Fundación Universia & Ministerio de Educación y Formación Profesional, Trans.). Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación y Formación Profesional de España.
- Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The Precision-Recall Plot Is More Informative than the ROC Plot When Evaluating Binary Classifiers on Imbalanced Datasets. *PLOS ONE*, 10(3), e0118432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432>
- Trust, T. (2018). 2017 ISTE Standards for Educators: From Teaching With Technology to Using Technology to Empower Learners. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 34(1), 1–3. <https://doi.org/10.1080/21532974.2017.1398980>

Construcción de MOOC con avatares generados mediante IA: estudio de caso aplicado y evaluación de percepciones

Development of a MOOC with AI-Generated Avatars: An Applied Case Study and Evaluation of Perceptions

Jorge Bermeo-Conto¹ <https://orcid.org/0000-0002-5455-0716>, Gisselle Soto¹ <https://orcid.org/0000-0001-8210-4089>, Gabriela Valarezo-Álvarez¹ <https://orcid.org/0009-0005-9629-203X>, Francisco Álvarez¹ <https://orcid.org/0009-0000-1526-8307>, Javier Valdiviezo¹ <https://orcid.org/0000-0002-5763-3648>

¹CEDIA, Cuenca, Ecuador

jorge.bermeo@cedia.org.ec, gisselle.soto@cedia.org.ec,
gabriela.valarezo@cedia.org.ec, francisco.alvarez@cedia.org.ec,
javier.valdiviezo@cedia.org.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/07/13

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

Este estudio de caso describe y analiza la integración de avatares generados por inteligencia artificial (IA) como herramientas de comunicación en videos educativos dentro de Cursos Masivos Abiertos en Línea (MOOCs). Se analizaron varios aspectos: la aceptación del avatar como medio de comunicación, la credibilidad y empatía transmitidas por el mismo, la retención de la atención a lo largo de los videos, y su contribución a transmitir el mensaje de manera clara y comprensible. Se condujo un análisis descriptivo cuantitativo y cualitativo de encuestas completadas al final del curso. Las descripciones preliminares dan indicios que los avatares generados con IA podrían funcionar como sustitutos de grabaciones humanas para transmitir información. Aunque todavía se requiere un refinamiento de la tecnología y estudios de eficacia en la transmisión del conocimiento y en su costo-efectividad, para determinar la ventaja de esta tecnología en comparación con las grabaciones tradicionales.

Palabras clave: Moocs, videos educativos, comunicación educativa, educación en línea, inteligencia artificial generativa.

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

Como citar: Bermeo-Conto, J., Soto, G., Valarezo-Álvarez, G., Álvarez, F. & Valdiviezo, J. (2024). Construcción de MOOC con avatares generados mediante IA: estudio de caso aplicado y evaluación de percepciones. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 215-233. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1210>

Abstract

This case study describes and analyzes the integration of AI-generated avatars as communication tools in educational videos within Massive Open Online Courses (MOOCs). Various aspects were analyzed: the acceptance of the avatar as a communication medium, the credibility and empathy conveyed by it, the retention of attention throughout the videos, and its contribution to conveying the message clearly and understandably. A quantitative descriptive analysis and qualitative analysis of surveys completed at the end of the course were conducted. The preliminary descriptions suggest that AI-generated avatars could function as substitutes for human recordings to convey information. Greater refinement of the technology and further efficacy studies on knowledge conveyance and cost-effectiveness are still required to determine the advantage of this technology compared to traditional recordings.

Keywords: MOOCs, educational videos, educational communication, online education, generative artificial intelligence.

Introducción

Los cursos masivos abiertos en línea (MOOC, por sus siglas en inglés) son una modalidad de enseñanza que ha crecido rápidamente en la última década. Hasta finales de 2021, el número de estudiantes de MOOC había superado los 220 millones y el número de MOOCs los 19.000, eliminando barreras geográficas y sociales (Peiqi, 2024; Shah, 2021). Es así que los MOOCs se han convertido en una fuente de contenidos digitales accesibles de forma atemporal y desde cualquier lugar, ofreciendo oportunidades de aprendizaje a millones de personas en todo el mundo (J. J. Maldonado et al., 2016, 2017). Los MOOC se categorizan como una herramienta de aprendizaje en línea, definida como el uso de la tecnología para las actividades de enseñanza y aprendizaje. El aprendizaje en línea permite la integración de Internet y otras plataformas digitales, para que los estudiantes puedan acceder de forma remota a recursos educativos.

Entre los principales problemas a los que se enfrentan los MOOCs están la baja tasa de finalización de los programas y su elevado costo y complejidad de producción. A pesar de la facilidad al acceso a estos cursos y la diseminación de la información, estudios indican que solo entre el 7 y el 13% de los participantes completan estos cursos (Nesterowicz et al., 2022). Se han identificado características como el contenido del MOOC, el estilo y la calidad de los videos, y la interacción con el instructor como los principales factores que contribuyen a la retención de los participantes (Deng, 2024; Hone & El Said, 2016). Adicionalmente, la producción de un MOOC es un proceso complejo que requiere la coordinación de diversos actores. Esta tarea incluye la logística de reunir a los instructores en estudios de grabación, donde se capturan numerosas horas de audio y video. Posteriormente, es necesario editar y refinar este material para crear contenidos de alta calidad que sean didácticos, atractivos y adecuados para el formato en línea. Además, es necesario considerar el contexto en el que se desarrolló un MOOC, ya que aspectos relacionados con instalaciones, infraestructura y presupuesto constituyen desafíos y factores determinantes en ciertas regiones (Abhishek N. et al., 2023).

En paralelo, la inteligencia artificial (IA) ha avanzado enormemente, abarcando diferentes modelos capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como comprender el lenguaje natural, reconocer patrones, tomar decisiones y aprender de la experiencia. La IA incluye conceptos como el aprendizaje profundo (DL, por sus siglas en inglés), que puede resolver tareas de forma autónoma a través de la exposición a datos. A partir de estos datos, surgen los modelos generativos (DGM, por sus siglas en inglés) o IA generativa

(IAGen), tecnología que genera nuevos contenidos basados en datos existentes, con resultados que se asemejan mucho a los datos del mundo real (Banh & Strobel, 2023).

La IA aplicada a la educación (IAEd) apoya múltiples servicios didácticos y administrativos, como la creación de contenido, evaluación y tutorías personalizadas (Zawacki-Richter et al., 2019). Las tecnologías de IAGen se están aplicando para la generación de avatares aplicados a dictar las clases de los MOOCs, mediante la generación de imágenes fotorrealistas, la clonación de voces y la animación de rostros, resultando en avatares realistas de humanos (Banh & Strobel, 2023). Entre sus principales beneficios, la IAGen aplicada en MOOCs puede generar contenido educativo de alta calidad y resultar más económica que los métodos de enseñanza tradicionales (Peiqi, 2024). La producción de un MOOC puede ser larga y agotadora en tiempo y recursos. Incluso un video de minutos de duración puede requerir varias horas para obtener un clip satisfactorio (Zhang et al., 2023). A pesar de requerir herramientas y profesionales especializados, la IAGen permite el ahorro de tiempo y recursos mediante la creación de avatares con semejanza humana en apariencia y voz, e incluirlos en contenido educativo (Brako & Mensah, 2023; Zhang et al., 2023).

El uso de avatares en la generación de contenido con fines educativos es una tendencia incipiente en el ámbito de la IAEd. A pesar de esta tendencia, la eficacia e impacto de uso aún se siguen estudiando y no se cuenta con consensos sobre su efecto en el aprendizaje. Aunque se han encontrado estudios limitados que evidencian intervenciones en el uso de avatares para contenido educativo, específicamente en MOOCs (Amado-Salvatierra et al., 2023; Leiker et al., 2023; Vallis & Britton, 2024; Zhang et al., 2023), estos resultados no permiten aún conclusiones generalizables. Por ello, es necesario seguir analizando la influencia real de los avatares.

Si bien la implementación de IAEd en educación ha sido estudiada en ámbitos como la retención del mensaje, las calificaciones o la carga cognitiva, todavía no existe un consenso dominante sobre el uso de avatares en la educación (He, 2024; Salas-Pilco & Yang, 2022; Zhang et al., 2023). La evaluación de características propias de esta interacción incluye la claridad, comprensión, credibilidad, empatía, retención de atención y aceptación del contenido generado mediante IAGen. Para este propósito, se entiende la claridad y comprensión como la inversión mental de los participantes para comprender ideas, dominar habilidades y fortalecer el aprendizaje; la credibilidad y empatía como el grado en que los participantes se sienten inspirados para ampliar sus conocimientos y disfrutan estudiando; la retención de atención como la medida en que los participantes estudian y revisan el contenido regularmente; y finalmente, la aceptación del avatar como interacciones eficaces relacionadas con el aprendizaje entre los participantes y los instructores digitales (Deng, 2024).

Es así como en este estudio se describe una intervención a manera de estudio de caso en la que un equipo multidisciplinario implementó y evaluó la eficacia de un MOOC que integra un avatar personalizado creado con IAGen. Además del diseño del MOOC, se contempló esta evaluación final en una encuesta donde se consideraron como variables: la aceptación del avatar como medio de comunicación, la credibilidad/empatía transmitidas, la retención de la atención a lo largo de los videos, y su contribución a transmitir el mensaje de manera clara y comprensible. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es el diseño curricular de un MOOC y su evaluación para comprender cómo los estudiantes experimentan el aprendizaje en línea con avatares generados por IA. Este artículo está organizado de la siguiente manera: la sección II describe el desarrollo del trabajo, la sección III presenta los resultados y discusión, finalmente la sección IV presenta las conclusiones.

Materiales y Métodos

Se trata de un estudio de caso en el que se implementó un diseño curricular enfocado en la implementación y evaluación de la integración de avatares personalizados generados por IA como medio de comunicación en videos educativos dentro del MOOC “¿Cómo aplicar al Fondo I+D+i?” en términos cuantitativos y cualitativos relacionados a los criterios la aceptación del avatar como medio de comunicación, la credibilidad y empatía que transmite, la capacidad de mantener la atención a lo largo de los videos, y su efectividad para transmitir el mensaje de manera clara y comprensible.

Contexto

CEDIA (Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia) es una Red Nacional de Investigación y Educación Ecuatoriana (RNIE), que promueve proyectos innovadores vinculando a investigadores, docentes y estudiantes mediante proyectos, concursos e iniciativas científicas, generando un crecimiento constante entre instituciones académicas. CEDIA ofrece oportunidades de fondeo, que permite a las instituciones miembros, encontrar el financiamiento para sus propuestas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) que pretenden cambiar el futuro académico del país. Entre estas oportunidades, están los Fondos CONNECT que son una iniciativa de CEDIA que tiene como objetivo apoyar a proyectos colaborativos anuales en diversas ramas del conocimiento. Ante el creciente soporte administrativo que implica resolver las dudas de los docentes e investigadores, las falencias en las propuestas recibidas y el incremento de solicitudes de postulaciones al Fondo I+D+i, se optó por formar a los postulantes mediante un MOOC denominado “¿Cómo aplicar al Fondo I+D+i?”. El curso se desplegó en OneMooc¹ y su apertura fue el 27 de febrero de 2024 y el corte para este estudio fue el 01 de julio del 2024; el curso continúa ejecutándose. El curso se ofrece de forma exclusiva para todos los docentes e investigadores de las universidades ecuatorianas miembros de CEDIA y actualmente es requisito que al menos una persona del equipo que propone un proyecto para financiamiento al Fondo I+D+i apruebe el curso.

Diseño e implementación del MOOC

Se construyó el MOOC siguiendo las directrices de MOOC-Maker (Alario-Hoyos et al., 2016; J. Maldonado, 2022). El curso se diseñó en 4 lecciones, cada una compuesta por un conjunto de secciones. A su vez, cada sección se desglosó en subsecciones que contienen unidades de aprendizaje como lecturas, videos, videos con avatares generados con IA, cuestionarios con y sin calificación y actividades interactivas. El MOOC se diseñó en español para una duración de 8 horas, permitiendo a los estudiantes avanzar a su propio ritmo y obtener un certificado gratuito al completarlo con una nota superior a los 70 puntos. Los objetivos de aprendizaje fueron enfocados en: 1) entender qué es el Fondo I+D+i, sus beneficios, lineamientos, directrices y su programación global; 2) llenar el formulario de postulación; 3) llenar sus anexos respecto a actividades, entregables, presupuestos, adquisiciones y riesgos. El público objetivo del MOOC estuvo dirigido a la comunidad académica e investigativa del Ecuador que sean miembros de CEDIA y que deseen aplicar al financiamiento del programa. El diseño instruccional base se presenta en la Tabla 1.

1 <https://onemooc.cedia.edu.ec>

Tabla 1
Diseño Instruccional del MOOC

LECCIÓN	TEMA DE LA SEMANA (SECCIÓN)	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE	TÍTULO SUBTEMA	RECURSO	
			(SUB SECCIÓN)	(UNIDAD O SECUENCIA DE APRENDIZAJE)	
Presentación del curso	Bienvenida	Brindar los lineamientos adecuados para el curso	Bienvenida	Bienvenida	
				Primer paso	
				Transparencia educativa	
				Presentación del curso	
	Acerca del curso		Descripción del curso	Descripción del curso	
				¿Qué debes hacer?	
				Ritmo de estudio	
				¿Qué esperamos de ti?	
				Políticas de calificación y certificación.	
				Programa del curso.	
¿Estás preparado para comenzar?	¿Estás preparado para comenzar?	¿Estás preparado para comenzar?			
Lección 1	Introducción al Fondo IDI.	Conocer qué es el Fondo, sus beneficios y su programación global.	Introducción.	Introducción.	
				Cuestionario.	
			Requisitos de postulación	Requisitos.	
				Actividad.	
			Fases de ejecución	Fases de la ejecución.	
	Cuestionario.				
Evaluar la sección.	Evaluación	Evaluación.			
Lección 2	Lineamientos generales del fondo.	Entender cuáles son los lineamientos y directrices del fondo.	Lineamientos del fondo.	Selección y evaluación.	
				Cuestionario.	
				Adjudicación.	
				Actividad.	
				Gestión de los recursos.	
				Cuestionario.	
			Procesos de cierre.	Procesos de cierre.	
				Causales de cierre.	
				Cuestionario.	
			Potenciar la calidad de contenidos en el formulario de postulación.	Formulario postulación.	Componentes del formulario.
					Actividad.
					Actividad.
	Evaluación lección.	Evaluar la lección.	Evaluación.	Evaluación.	

Lección 3	Anexo de postulación parte 1	Comprender qué es y cómo se maneja el cronograma de actividades.	Anexo de postulación: Cronograma de actividades.	Actividades. Cuestionario. Actividad.		
		Comprender qué es y cómo se maneja el cronograma de entregables.	Anexo de postulación: Cronograma de entregables.	Entregables. Cuestionario. Actividad.		
		Comprender qué es y cómo se maneja el presupuesto.	Anexo de postulación: Presupuesto total.	Presupuesto. Cuestionario. Actividad.		
		Evaluación lección.	Evaluar la lección.	Evaluación.	Evaluación..	
		Lección 4	Anexo de postulación parte 2.	Comprender qué es y cómo se manejan las adquisiciones.	Anexo de postulación: Adquisiciones.	Adquisiciones. Cuestionario. Ejercicio adquisiciones. Actividad.
				Comprender qué son y cómo se manejan los riesgos.	Anexo de postulación: Riesgos.	Riesgos. Cuestionario. Actividad.
	Evaluación lección.		Evaluar la lección	Evaluación.	Evaluación.	
	Hemos llegado al final.	Despedida.	Cerrar el curso.	Cierre.	Resumen del curso.	
					Satisfacción del curso.	
Agradecimientos.						
¿Cómo obtener tu certificado?						

La implementación del MOOC se realizó contemplando el siguiente cronograma:

Figura 1
Cronograma de construcción de MOOC

Actividades	Fechas															
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Capacitación mensaje educomunicacional	■															
Creación de scripts de contenidos		■	■	■												
Revisión de contenidos					■	■										
Grabación de video madre								■								
Generación de videos con IA								■	■	■						
Creación de material gráfico								■	■	■	■					
Creación de actividades interactivas										■						
Despliegue de contenidos															■	
Revisiones y correcciones en contenidos de texto															■	■
Publicación																■
Finaliza el proyecto																■

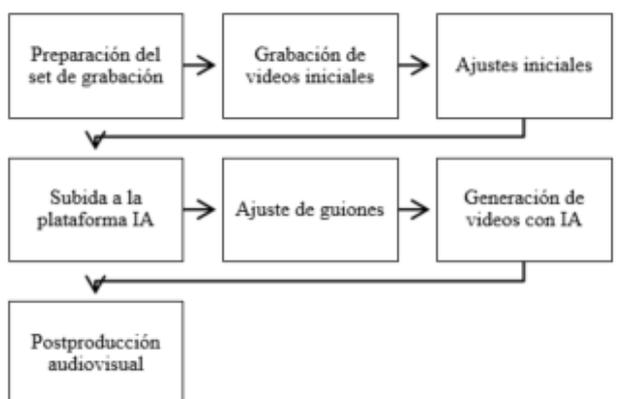
El equipo multidisciplinario que participó en la creación del MOOC fue: 4 personas expertas y creadoras de contenidos, 2 personas para revisión de contenidos, 1 persona revisión edu-comunicacional, 1 persona diseño gráfico, 1 persona productor audiovisual, 1 presentadora de contenidos y 1 persona despliegue de contenidos y coordinación del proyecto.

Proceso de construcción de videos con avatares generados con IA

Para la construcción de los videos generados con IA se realizó el siguiente proceso:

Figura 2

Pasos Generales para la Creación de Videos con IA



1. Preparación del set de grabación: Se preparó un set de grabación con aislamiento acústico, que disponía de: 1) un micrófono inalámbrico, 2) un teleprompter, 3) fondo croma, 4) luces y 5) una cámara con memoria de video.
2. Grabación de videos iniciales: Se realizó la grabación de un video base y un video de consentimiento. El video base (figura 3) consistió en que la presentadora de contenidos leyera un guion generado por la plataforma de IA, el cual permitiría que la plataforma capture sus movimientos, gesticulaciones, voz y acento, con una duración de 1 minuto y 42 segundos, y con ello se generen los demás videos. El video de consentimiento (figura 4) consistió en que la presentadora de contenidos autorizara a la plataforma de IA a usar sus imágenes para construir su avatar y tuvo una duración de 10 segundos. Ambos videos se generaron en formato mp4 con fondo croma, con relación de aspecto 1920 x 1080, con una resolución de 16:9.

Figura 3

Guion video base

¡Hola! Me siento bien ahora con un tono relajado y tengo mucha confianza en que puedo hacerlo bien en esta grabación 😊. Estoy frente a la cámara y lista para comenzar.
 <Cierra la boca y respira por la nariz>
 La iluminación es buena y no hay sombras marcadas en mi rostro. Mi pronunciación es clara y me siento muy relajada porque este proceso ha sido simple, fácil y divertido. Haré algunos movimientos ligeros y naturales con las manos a lo largo de la grabación 🙌, pero no moveré demasiado el cuerpo ni la cabeza. Estos gestos sutiles 🙌 me ayudarán a lucir más natural y relajada.
 <Cierra la boca y respira por la nariz>
 No llevo gafas ni ningún otro accesorio, por lo que mi cara se puede mostrar claramente. Mi tono de voz es firme y hablo de forma natural. Hago una pausa entre frases, cierro la boca y respiro por la nariz. Estoy de humor relajado y este proceso de grabación es realmente divertido.
 <Cierra la boca y respira por la nariz>
 También quiero compartir algo interesante contigo. Estoy pensando en algunos recuerdos felices y me hace sentir que la vida es muy plena e interesante. Me aferro a este estado de ánimo relajado y feliz 😊 y espero conservarlo para siempre.
 <Cierra la boca y respira por la nariz>
 Ahora, intentaré agregar algunos movimientos leves de las manos 🙌 para que las cosas se sientan más naturales. Mi tono de voz sigue siendo firme y emotivo, y he estado haciendo un gran trabajo hasta este momento. Seguiré dando lo mejor de mí hasta el final de la grabación.
 <Cierra la boca y respira por la nariz>
 Es un gran placer conocerte hoy y estoy deseando ver cómo resulta esta grabación. Hasta ahora todo ha ido bien y espero que a ti también te vaya bien 😊.

Figura 4

Guion video de consentimiento

Yo, *Presentadora de contenidos*, por la presente declaro que autorizo a *plataforma IA* a usar las imágenes mías para construir *plataforma IA* Avatar y usarlas en mi cuenta de *plataforma IA*.

3. Ajustes iniciales: Los dos videos generados fueron ajustados en su colorimetría para subirlos a la plataforma IA y ninguno de ellos tenía cortes de edición.
4. Subida a la plataforma IA: Los dos videos fueron subidos a la plataforma de IA.

- Este proceso lanzó la creación del avatar, que duró aproximadamente 10 minutos.
5. Ajuste de guiones: Con el avatar creado, se procedió a subir los guiones generados por los expertos y creadores de contenido. En este punto, cada guion necesitó ajustes en los tiempos por frase y párrafo, validación y ajustes de texto para la pronunciación correcta de las palabras, validación correcta de signos de puntuación, interrogación, exclamación y sincronización de texto con el video; es decir, se ajustaron hiper parámetros. Los guiones, que tenían una duración promedio de 3 minutos con 10 segundos, requirieron un promedio de 60 minutos cada uno para completar este proceso.
 6. Generación de videos con IA: Se procedió a la generación de cada video en la plataforma de IA con su guion depurado, un proceso que tardó aproximadamente 15 minutos por video.
 7. Postproducción audiovisual: Una vez generado el video con IA de cada guion, se descargó desde la plataforma IA y comenzó el proceso de postproducción audiovisual. Este proceso tenía la finalidad de incluir la línea gráfica del curso y todos los elementos gráficos dentro del video, así como la animación de apertura y cierre de cada video. Esta postproducción audiovisual tomó en promedio 60 minutos por video.

Diseño del instrumento de evaluación

Los lineamientos para la creación del instrumento de evaluación se basan en el compromiso de los estudiantes en los MOOCs del estudio de Deng et al (2019). Las dimensiones de análisis para medir objetivamente este compromiso son:

- a) Comportamental. Esta dimensión hace referencia a las acciones observables del estudiante y su participación en las actividades curriculares.
- b) Emocional. Esta dimensión hace referencia a la conexión emocional (tanto positiva como negativa) de los estudiantes con los instructores del MOOC.
- c) Social: Esta dimensión aborda las interacciones estudiante-instructor y estudiante-estudiante.
- d) Cognitivo. Esta dimensión se trata de la inversión mental de los estudiantes para aprender ideas complejas y dominar aptitudes difíciles.

Teniendo en cuenta estos parámetros base, se diseñó un instrumento con el siguiente detalle. El cuestionario contiene 21 preguntas, de las cuales 4 están relacionadas con los datos personales de los participantes (nombres, apellidos, institución educativa a la que pertenece, correo electrónico institucional). Las otras 17 preguntas están relacionadas con la evaluación del curso y las percepciones de los estudiantes. Estas preguntas se evaluaron con diferentes formatos de respuesta, incluyendo preguntas abiertas y opciones de escala. Las áreas evaluadas en el cuestionario incluyen: desarrollo de competencias para la postulación al Fondo I+D+i (2 preguntas cerradas), evaluación del material educativo desplegado (1 pregunta cerrada), duración de los videos (1 pregunta cerrada), evaluación del avatar en los videos (4 preguntas cerradas), calidad de los videos (1 pregunta), evaluación de los ejercicios, actividades y cuestionarios (1 pregunta cerrada), tiempo invertido en actividades del curso semanalmente (1 pregunta cerrada), dificultad del curso (1 pregunta cerrada), disfrute del curso (1 pregunta cerrada), aprendizaje en el curso (1 pregunta cerrada), aspectos a mejorar del curso (1 pregunta abierta), aspectos positivos del curso (1 pregunta abierta), y retroalimentación/comentarios generales sobre el curso (1 pregunta abierta).

El detalle de las 4 preguntas relacionadas con la evaluación del avatar son las siguientes:

- P4 ¿En qué medida sientes que la participación del avatar contribuyó a transmitir el mensaje de manera clara y comprensible? Por favor, elige la opción que mejor refleje tu percepción: opción 1) Totalmente en desacuerdo: La participación del avatar interfirió negativamente en la claridad y comprensibilidad del mensaje; opción 2) En desacuerdo: La presencia del avatar generó confusiones y dificultades en la comprensión del contenido; opción 3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo: No tengo una opinión clara sobre la contribución del avatar a la claridad del mensaje; opción 4) De acuerdo: El avatar contribuyó positivamente a la claridad y comprensión del contenido; opción 5) Totalmente de acuerdo: La presencia del avatar mejoró significativamente la claridad y comprensibilidad del mensaje.
- P1 ¿Cómo calificarías la credibilidad y empatía transmitidas por el avatar? Por favor, elige la opción que mejor describa tu percepción: Opción 1) Totalmente en desacuerdo: La presencia del avatar afectó negativamente la credibilidad y empatía de la experiencia de aprendizaje; opción 2) En desacuerdo: La credibilidad y empatía del avatar fueron insuficientes o no estuvieron en sintonía con el contenido; opción 3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo: No tengo una opinión clara sobre la credibilidad y empatía del avatar; opción 4) De acuerdo: El avatar transmitió credibilidad y empatía de manera adecuada, complementando bien el contenido; opción 5) Totalmente de acuerdo: El avatar demostró alta credibilidad y empatía, mejorando significativamente mi experiencia de aprendizaje.
- P3 ¿Cómo evalúas la retención de tu atención a lo largo de los videos? Por favor, selecciona la opción que mejor refleje tu percepción: Opción 1) Totalmente en desacuerdo: La presencia del avatar interfirió negativamente en la retención de mi atención durante el video. Opción 2) En desacuerdo: La presencia del avatar no fue efectiva para mantener mi atención a lo largo de los videos. Opción 3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo: No tengo una opinión clara sobre la retención de la audiencia durante el video. Opción 4) De acuerdo: El avatar mantuvo mi atención de manera adecuada, facilitando la comprensión del contenido. Opción 5) Totalmente de acuerdo: El avatar contribuyó significativamente a la retención de mi atención a lo largo del video.
- P2 ¿Cómo calificarías la aceptación del avatar como medio de comunicación? Por favor, elige la opción que mejor describa tu percepción: Opción 1) Totalmente en desacuerdo: La presencia del avatar afectó negativamente mi experiencia de aprendizaje. Opción 2) En desacuerdo: El avatar fue distractor o no aportó valor al contenido. Opción 3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo: No tengo una opinión clara sobre la presencia del avatar. Opción 4) De acuerdo: El avatar fue aceptable y complementó bien el contenido. Opción 5) Totalmente de acuerdo: El avatar mejoró significativamente mi experiencia de aprendizaje.

Análisis estadístico

Los datos anonimizados se descargaron desde la plataforma SurveyMonkey en formato xlsx y se procesaron para tener el formato adecuado para construir los gráficos correspondientes. Los datos se ingresaron en un Jupyter Notebook en local y se utilizó Python con sus librerías de Pandas (Pandas, 2024), NumPy (NumPy, 2024), Matplotlib (Matplotlib, 2024) y Seaborn (Seaborn, 2021) para crear los gráficos. Las preguntas que se tomaron en cuenta para su análisis fueron las cuatro preguntas relacionadas con la evaluación del avatar, descritas previamente. Por su naturaleza, se generaron histogramas comparativos y gráficos de barras apilados horizontalmente con puntos de referencia para facilitar la comparación entre los resultados.

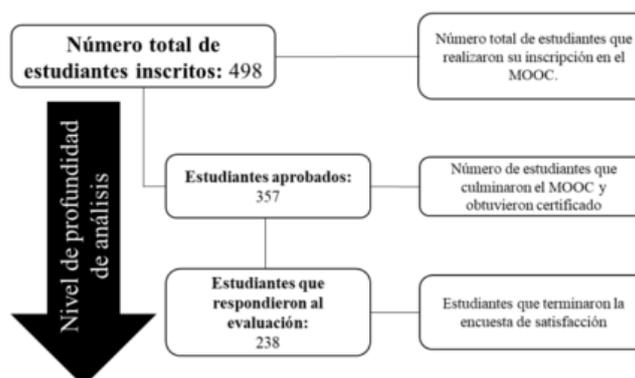
Los resultados se presentan en la siguiente sección. Además del análisis cuantitativo, se realizó un análisis cualitativo de la pregunta relacionada con los aspectos a mejorar del curso.

Resultados y Discusión

El MOOC contó con un total de 498 estudiantes inscritos, de los cuales 357 lograron completar el curso y obtener el certificado de finalización, lo que implica una tasa de finalización del 71,69% (Figura 5). Por otro lado, 141 estudiantes no completaron el curso, lo que se traduce en una tasa de deserción del 28,31%. Este porcentaje de deserción, aunque significativo, se mantiene dentro de los rangos esperados para cursos masivos en línea, donde la retención de estudiantes puede ser un desafío. Entre los 357 estudiantes que finalizaron el curso, 238 respondieron completamente a la encuesta final, resultando en una tasa de contestación completa del 66,67%. Esta tasa de respuesta es positiva, indicando un alto nivel de compromiso y satisfacción por parte de los estudiantes que culminaron el curso, ya que más de la mitad de ellos participó en la evaluación del curso. En conjunto, estos datos reflejan un buen rendimiento del MOOC en términos de retención y participación de los estudiantes, aunque también subrayan la necesidad de seguir trabajando en estrategias que puedan reducir la tasa de deserción y fomentar aún más la participación en actividades de seguimiento, como las encuestas de evaluación.

Figura 5

Nivel de profundidad de análisis



Despliegue de MOOC

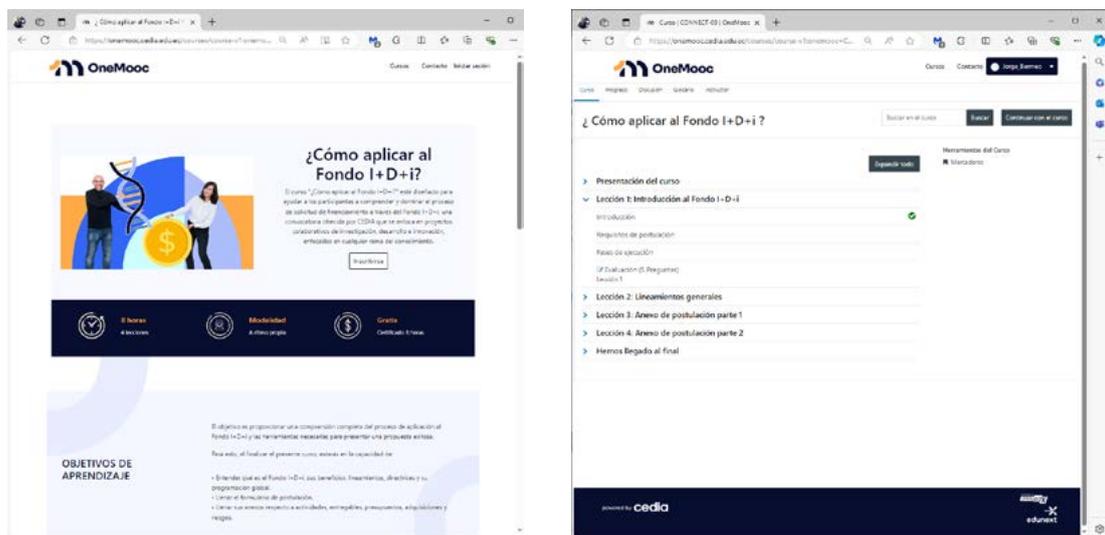
El curso cuenta con 13 lecturas, 16 cuestionarios, 9 actividades interactivas, 1 encuesta de satisfacción y 16 videos, de los cuales 14 fueron generados con IA. Respecto a los videos. El primer video se enfocó en brindar la bienvenida a la plataforma y al curso. El segundo video tuvo la finalidad de informar a los estudiantes del curso el uso del avatar en los siguientes videos e indicar que los contenidos de los videos con IA han sido creados por expertos en la temática. El primer y segundo video se grabaron de forma tradicional. Los demás videos con IA se refieren a contenidos especializados según el tema de la tabla 1 y todos se muestran en la tabla 2 con su respectivo tiempo de duración.

Tabla 2
Videos generados dentro del MOOC

RECURSO		VIDEO GENERADO CON IA	TIEMPO DEL VIDEO (mm:ss)
(UNIDAD O SECUENCIA DE APRENDIZAJE)	TIPO		
Bienvenida.	Video	No	1:49
Transparencia educativa.	Video	No	1:30
Presentación del curso.	Video	Sí	3:25
Introducción.	Video	Sí	3:57
Requisitos.	Video	Sí	3:32
Selección y evaluación.	Video	Sí	3:00
Gestión de los recursos.	Video	Sí	3:54
Procesos de cierre.	Video	Sí	2:52
Componentes del formulario.	Video	Sí	4:06
Actividades.	Video	Sí	4:09
Entregables.	Video	Sí	3:11
Presupuesto.	Video	Sí	5:42
Adquisiciones.	Video	Sí	1:48
Ejercicio adquisiciones.	Video	Sí	2:15
Riesgos.	Video	Sí	2:50
Resumen del curso.	Video	Sí	3:10

A continuación, se presenta captura de pantallas del MOOC desplegado:

Figura 6
MOOC “¿Cómo aplicar al Fondo I+D+i?” Desplegado



(a) Imagen de la presentación del curso.

(b) Imagen de la estructura interna del curso.

El despliegue del MOOC demuestra una innovación significativa con la integración de IAGen, lo cual mejora la accesibilidad y personalización del contenido educativo. La diversidad de recursos, que incluye lecturas, cuestionarios, actividades interactivas y videos, crea una experiencia de aprendizaje multimedia que puede atender a diferentes estilos de aprendizaje, impactando positivamente el compromiso y la retención de los estudiantes. Los primeros dos videos, grabados tradicionales, marcan un tono humano y personal desde el inicio, crucial para la motivación y conexión emocional de los estudiantes con el curso. La variación en la duración de los videos, que va desde 1:30 hasta 5:42 minutos, sugiere un diseño cuidadoso para mantener la atención de los estudiantes y cubrir adecuadamente los temas. Evaluar cómo los estudiantes perciben y reciben el contenido generado por IA en comparación con los videos tradicionales es fundamental, así como analizar la efectividad de las actividades interactivas y cuestionarios en términos de mantener el interés de los estudiantes y facilitar el aprendizaje activo. Estos aspectos proporcionan valiosas ideas para mejorar el diseño y la implementación de cursos en línea futuros.

Videos generados con IA

El resultado del proceso de construcción de los videos con avatares resultó ser un proceso de complejidad media. La actividad crítica fue “Ajuste los guiones”. Esta actividad fue exigente porque requirió tiempo no planificado para que el avatar tuviera una pronunciación natural, hiciera pausas adecuadas, usara los tonos de voz correctos y mantuviera una fluidez coherente en frases y párrafos. Para eso, se tuvo que identificar el tiempo de las pausas relacionadas con los signos de puntuación e identificar el nivel del tono de voz para la aplicación de mayúsculas, minúsculas, tildes y signos de interrogación y exclamación. En este punto, también se usó la pausa del reloj de espera propio de la plataforma de IA dependiendo del contexto. Otra actividad que se tuvo que trabajar fue la pronunciación de siglas y signos especiales. En el caso de las siglas, se tuvieron que incluir tildes para una pronunciación según el contexto. Para los signos especiales, se tuvo que escribir la palabra correspondiente al signo. Aclaramos que estos ajustes no fueron un proceso de entrenamiento de la IA generativa utilizada, es decir, solo se ajustaron los hiper parámetros mencionados.

Figura 7

Resultado del proceso de creación de videos generados con IA



(a) Imagen del video de consentimiento.



(b) Avatar generado desde la plataforma IA.



(c) Video generado con IA, post producido y desplegado dentro del MOOC.

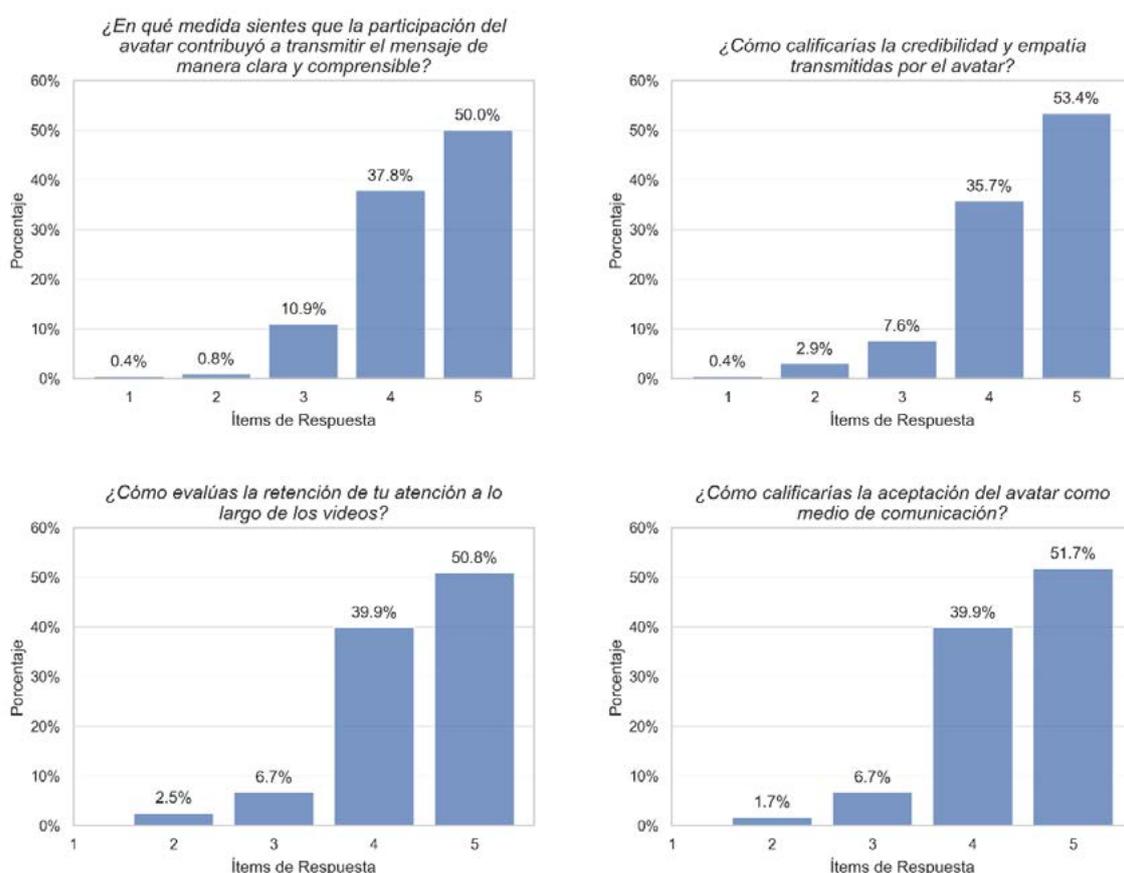
La figura a continuación muestra las capturas de imágenes de videos de la producción del avatar en distintos momentos. La figura 7.a es la imagen del video de consentimiento grabado con la presentadora de contenido. Este video se creó de forma tradicional, con la persona frente a la cámara durante la lectura del guion de consentimiento. La figura 7.b se trata de la imagen del video que contiene el avatar creado por la plataforma de IA. La Figura 7.c es una imagen del video que contiene el avatar creado por la plataforma de IA aplicada post producción audiovisual y desplegado dentro del curso MOOC como recurso final.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación al final del curso. Se presentan los datos referentes a las preguntas relacionadas con la evaluación del avatar y también un análisis cualitativo de la pregunta relacionada a las recomendaciones de mejora del curso.

Figura 8

Histogramas de respuestas a preguntas relacionadas con la evaluación del avatar

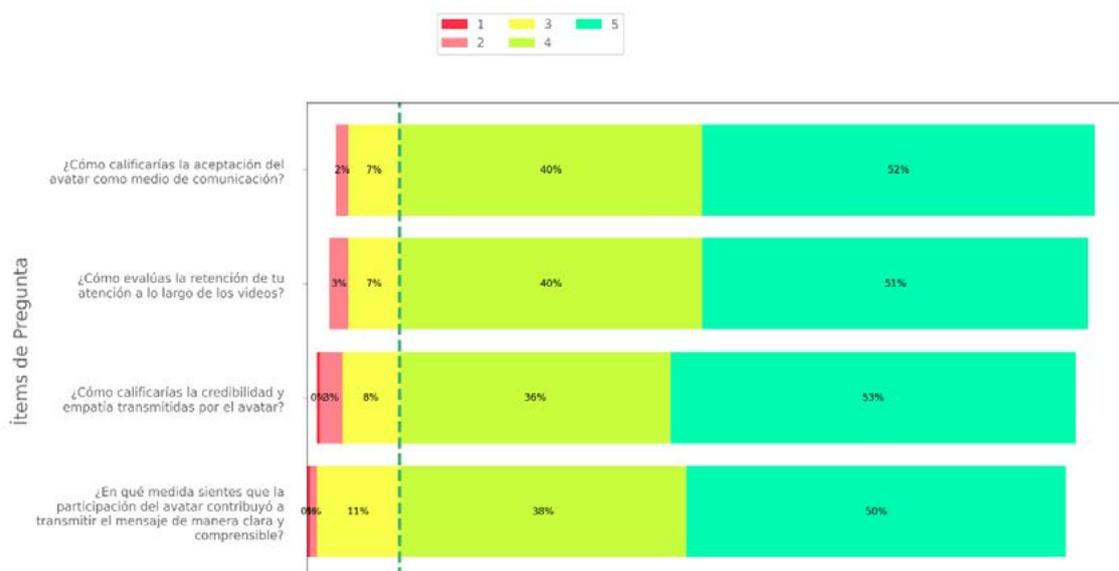


A lo largo de los cuatro componentes medidos mediante las preguntas relacionadas con la evaluación del avatar, se evidenció que los encuestados reportaron una percepción mayoritariamente positiva hacia este. Por ejemplo, un 87,80% de los participantes indicó que la participación del avatar mejoró significativamente la claridad y comprensibilidad del mensaje, mientras que un 51,7% consideró que el avatar mejoró significativamente su experiencia de aprendizaje en general. Además, un 53,4% percibió al avatar como altamente creíble y empático. La retención de atención fue también destacable, con un 50,8% indicando que el avatar contribuyó significativamente a mantener su atención durante los videos. Estos resultados sugieren que los avatares generados por la IA fueron ampliamente aceptados y cumplieron efectivamente como herramientas comunicacionales, lo que puede tener importantes implicaciones para futuras

aplicaciones en el diseño de MOOCs y otras plataformas educativas en línea. La alta aceptación y valoración positiva en estos diferentes aspectos indica que los avatares no solo son bien recibidos por los usuarios, sino que también pueden mejorar aspectos cruciales de la experiencia de aprendizaje, como la claridad del mensaje y la retención de la atención.

Figura 9

Gráfico de barras horizontales apiladas con puntos de referencia en las preguntas relacionadas con el avatar que incluye un menú contextual



Al comparar las respuestas con las barras horizontales apiladas, se puede determinar que, aunque las preguntas son altamente positivas, las relacionadas con la aceptación del avatar como medio de comunicación y el nivel de atención en los videos son las de mayor aceptación. Esto se alinea con la idea de que los avatares generados por IA cumplen bien su función como herramientas de comunicación.

Para el análisis cualitativo de la pregunta relacionada con los aspectos a mejorar del curso, se procedió con un ejercicio de lectura y codificación de las respuestas. Esta pregunta, opcional y abierta, permitía a los encuestados listar hasta tres aspectos que ellos consideran que se deberían mejorar en el MOOC. La siguiente tabla muestra la distribución de las respuestas.

Tabla 3

Proporción de Recomendaciones de Mejora Receptadas

Recomendaciones	Número	%
Máximo teórico de recomendaciones.	714	
Recomendaciones receptadas.	176	24,65%

Se puede observar que de los 238 participantes que completaron la encuesta, se hubieran recopilado hasta un teórico máximo de 714 recomendaciones. En realidad, se receptaron 176, lo que representa un poco menos de un cuarto de la cantidad máxima teórica. Estas recomendaciones fueron leídas y agrupadas en 5 tipos de acuerdo con algún aspecto del MOOC. La distribución se presenta a continuación.

Tabla 4
Distribución de Agrupaciones de Recomendaciones de Mejora Receptadas

Recomendaciones	Número	%
Recomendaciones relacionadas al contenido.	83	47,16%
Recomendaciones relacionadas a las actividades.	61	34,66%
Recomendaciones relacionadas al avatar.	15	8,52%
Recomendaciones relacionadas a la exactitud de la información.	9	5,11%
Sin recomendaciones por satisfacción total.	8	4,55%

Se puede ver que la gran mayoría de recomendaciones hacen alusión al contenido o a las actividades del curso. Estas se refieren a temas como la cantidad de preguntas, la claridad de los contenidos o el deseo de que se revisen los tiempos que toman las distintas secciones. En cuanto al avatar, sólo se identificaron 15 recomendaciones que se referían a este. Esto representa el 8,52% de las recomendaciones recibidas. Entre estas se encuentran observaciones que instan a que el avatar sea más interactivo, que se revise la velocidad de la voz de este o su sincronización con el contenido.

Discusión

En relación con el diseño, implementación y despliegue del MOOC, no hubo diferencias significativas en el proceso general, según lo indicado por el proyecto Mooc-Maker (Alario-Hoyos et al., 2016; J. Maldonado, 2022). Un desafío imprevisto en la generación de videos fue que se esperaba que los guiones elaborados por especialistas en el contenido, junto con la revisión y ajuste edu-comunicacional, fueran suficientes para ser utilizados directamente en la plataforma de IA. Sin embargo, durante el despliegue hubo que hacer ajustes adicionales en todos los guiones por problemas con la pronunciación del avatar. Este ajuste adicional requirió un trabajo de afinamiento para que la pronunciación del avatar fuera más natural, involucrando tiempo extra no previsto para cada video. De acuerdo a Liu y colaboradores (2023), la primera vez que se generan estos contenidos con IA, los investigadores requieren iterar los procesos para estar seguros de que se está produciendo lo que se desea. Este desafío subraya la importancia de considerar el tiempo y recursos necesarios para perfeccionar tecnologías emergentes en la educación, y cómo los imprevistos pueden impactar los plazos y esfuerzos originalmente planeados en proyectos de implementación tecnológica en entornos educativos (Harry, 2023).

El método tradicional de grabación de videos educativos presenta varios desafíos que pueden prolongar significativamente el tiempo necesario para completar cada video (Zhang et al., 2023). En experiencias previas encontramos que factores como la comodidad del docente frente a la cámara, la presencia de tics nerviosos, la dicción, la actitud, la postura, la memoria y el nivel de estrés ante la cámara son determinantes en la duración de la grabación, la cual puede extenderse hasta 2 horas por video de 5 minutos. Además, en el contexto educativo, los profesores tienen horarios ajustados debido a sus responsabilidades académicas, actividades administrativas, vinculación e investigación, lo que limita su disponibilidad para participar en la creación de materiales didácticos (Dukhnovsky & Prokopyev, 2023). La utilización de la IAGen en la creación de videos con avatares ofrece ventajas detectadas en este estudio como son: 1) Reducción del estrés y tiempo de grabación: La necesidad de la presencia física del docente en cada video se elimina, lo que reduce la tensión asociada con la grabación repetitiva y minimiza el tiempo invertido en el proceso; 2) Optimización del tiempo de los docentes: Los docentes pueden concentrarse en sus otras responsabilidades académicas y administrativas, al mismo tiempo que se asegura la producción eficiente de materiales didácticos de alta calidad; y

3) Consistencia en la presentación: La IAGen garantiza una presentación uniforme y profesional en todos los videos, manteniendo la claridad, calidad y coherencia del contenido educativo. Es importante mencionar que quien estuvo ante cámaras en este estudio tiene amplia experiencia en este ámbito. En estudios futuros, vale la pena considerar el impacto de utilizar un presentador que no tenga esta experiencia, ya que esto podría influir en los resultados observados, además de evaluar el costo/efectividad de la intervención.

El análisis de los histogramas de respuestas a preguntas relacionadas con la evaluación del avatar revela una percepción mayoritariamente positiva por parte de los encuestados hacia el uso de avatares generados por IA en el MOOC. El 50,0% de los participantes señaló que el avatar mejoró la claridad y comprensibilidad del mensaje, mientras que el 51,7% afirmó que su experiencia de aprendizaje se benefició de la participación del avatar. Además, un 53,4% de los encuestados consideró al avatar como altamente creíble y empático, y un 50,8% indicó que el avatar ayudó significativamente a mantener su atención durante los videos. Estos resultados sugieren que los avatares generados por IA fueron ampliamente aceptados y efectivos como herramientas comunicacionales, lo que podría tener importantes implicaciones para futuras aplicaciones en el diseño de MOOCs y otras plataformas educativas en línea. La alta aceptación y valoración positiva en estos diferentes aspectos no solo indican que los avatares son bien recibidos por los usuarios, sino que también mejoran aspectos cruciales de la experiencia de aprendizaje, como la claridad del mensaje y la retención de la atención.

Al comparar las respuestas en las barras horizontales apiladas, se observa que, aunque las preguntas en general son altamente positivas, aquellas relacionadas con la aceptación del avatar como medio de comunicación y el nivel de atención en los videos tienen la mayor aceptación. Esto respalda la idea de que los avatares generados por IA cumplen eficazmente su función como herramientas de comunicación. En el análisis cualitativo de la pregunta abierta sobre aspectos a mejorar del curso, se codificaron las respuestas y se agruparon en cinco categorías principales. De los 238 participantes que completaron la encuesta, se podrían haber recibido hasta 714 recomendaciones teóricas, pero en realidad se recibieron 176, representando un 24,65% del máximo teórico. La mayoría de las recomendaciones se relacionaron con el contenido (47,16%) y las actividades del curso (34,66%), indicando preocupaciones sobre la cantidad de preguntas, la claridad de los contenidos y los tiempos de las secciones.

En cuanto al avatar, solo 15 recomendaciones (8,52%) se refirieron a este, con observaciones sobre la necesidad de que el avatar sea más interactivo, la revisión de la velocidad de la voz y su sincronización con el contenido. Esta menor proporción de recomendaciones sobre el avatar en comparación con el contenido y las actividades sugiere que, si bien hay áreas de mejora, el avatar en general cumplió con las expectativas de los estudiantes. La distribución de las recomendaciones evidencia que los principales puntos de atención deberían ser la mejora del contenido y las actividades, mientras que las relacionadas con el avatar indican áreas específicas ajustadas para optimizar la experiencia de aprendizaje.

Los resultados de la evaluación del avatar muestran que los participantes lo percibieron positivamente. Se destacó su efectividad para transmitir claramente el mensaje, la credibilidad, la empatía y el nivel de aceptación. En conjunto, estas percepciones otorgan una alta confianza en su uso como herramienta de comunicación. Adicionalmente, los resultados sugieren que el avatar logró transmitir la información de manera clara, creíble y empática, manteniendo un alto nivel de atención entre los usuarios. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos (Leiker, 2023; Vallis et al., 2024; Zhang et al., 2023) que indican que los videos de aprendizaje sintéticos generados por IA tienen el potencial de ser un sustituto viable de los videos producidos

mediante métodos tradicionales en entornos educativos en línea. Es importante notar que, aunque las respuestas reflejan una aceptación positiva y efectividad comunicativa, se sugirieron mejoras en la interactividad del avatar, así como ajustes en la velocidad de la voz y su sincronización con el contenido.

A pesar de que los avatares generados por IA pueden ser un sustituto viable de los videos producidos mediante métodos tradicionales en entornos educativos en línea, no se ha probado que sean más rentables que estos últimos. Es necesario realizar un estudio específico que compare los costos iniciales y recurrentes, la eficiencia en la producción, el mantenimiento, la escalabilidad y el retorno de inversión. Esto es esencial para determinar si los beneficios identificados también implican ventajas financieras, y así informar decisiones futuras sobre la adopción de esta tecnología en la creación de MOOCs.

Conclusiones

Los MOOCs se han consolidado como una herramienta educativa clave, eliminando barreras geográficas y sociales, y ofreciendo oportunidades de aprendizaje accesibles a nivel global. La utilización de avatares generados por IA reduce significativamente el tiempo y la tensión asociados con la grabación de videos educativos, optimizando el tiempo de los docentes y asegurando una presentación uniforme y profesional. Los participantes del estudio percibieron positivamente a los avatares. Los videos generados con IAGen pueden ser un sustituto viable de los videos producidos mediante métodos tradicionales en entornos educativos en línea, como se evidencia en la alta confianza y aceptación observada. Aunque los resultados son prometedores, es necesario realizar estudios específicos para comparar la rentabilidad de los avatares generados por IA con los métodos tradicionales, considerando costos iniciales, mantenimiento, eficiencia en la producción, escalabilidad y retorno de inversión. La planificación inicial del proyecto subestimó la necesidad de ajustes en los guiones para la correcta pronunciación del avatar, lo que resultó en un tiempo extra no previsto durante el proyecto. Se deben considerar mejoras en la interactividad del avatar, así como ajustes en la velocidad de la voz y su sincronización con el contenido para aumentar aún más la efectividad de la IAGen en la educación en línea. La evaluación de los estudiantes sobre la claridad, comprensión, credibilidad, empatía, retención de atención y aceptación del contenido generado con avatares es fundamental para entender la experiencia de aprendizaje en línea con IAGen. La implementación de IA en la educación debe considerar también las implicaciones éticas y la calidad de la interacción máquina-humano para garantizar una experiencia educativa efectiva y respetuosa.

Reconocimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a las áreas de Connect, Gestión de Proyectos, Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, Comunicaciones, Academia y Dirección Ejecutiva de CEDIA por su apoyo para la generación de este artículo.

Referencias

- Abhishek N., Kulal, A., M.S., D., & Dinesh, S. (2023). Effectiveness of MOOCs on learning efficiency of students: A perception study. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*. <https://doi.org/10.1108/JRIT-12-2022-0091>
- Alario-Hoyos, C., Amado, H., & Chan, M. M. (2016). *MOOC-Maker: Construcción de Capacidades de Gestión de MOOCs en Educación Superior de Latinoamérica*.

- Amado-Salvatierra, H. R., Chan, M. M., & Hernandez-Rizzardini, R. (2023). Combining Human Creativity and AI-Based Tools in the Instructional Design of MOOCs: Benefits and Limitations. *2023 IEEE Learning with MOOCs (LWMOOCs)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/LWMOOCs58322.2023.10306023>
- Banh, L., & Strobel, G. (2023). Generative artificial intelligence. *Electronic Markets*, 33(1), 63. <https://doi.org/10.1007/s12525-023-00680-1>
- Brako, D. K., & Mensah, A. K. (2023). Robots over humans? The place of artificial intelligence in the pedagogy of art direction in film education. *Journal of Emerging Technologies*, 3(2), 51-59. <https://doi.org/10.57040/jet.v3i2.484>
- Deng, R. (2024). Effect of video styles on learner engagement in MOOCs. *Technology, Pedagogy and Education*, 33(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2023.2246981>
- Deng, R., Benckendorff, P., & Gannaway, D. (2019). Learner engagement in MOOCs: Scale development and validation. *British Journal of Educational Technology*, 51(1), 245-262. <https://doi.org/10.1111/bjet.12810>
- He, J. (2024). A Study on the Influence of Artificial Intelligence on Image Art Design. *SHS Web of Conferences*, 181, 04028. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202418104028>
- Hone, K. S., & El Said, G. R. (2016). Exploring the factors affecting MOOC retention: A survey study. *Computers & Education*, 98, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.016>
- Leiker, D., Gyllen, A. R., Eldesouky, I., & Cukurova, M. (2023). *Generative AI for learning: Investigating the potential of synthetic learning videos* (arXiv:2304.03784). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03784>
- Maldonado, J. (2022). *¿Cómo hacer un MOOC?* https://educacionvirtual.cedia.edu.ec/courses/course-v1:CEDIA+MOOC-10-2022+2021_T2/about
- Maldonado, J. J., Palta, R., Vázquez, J., Bermeo, J. L., Pérez-Sanagustín, M., & Muñoz-Gama, J. (2016). Exploring differences in how learners navigate in MOOCs based on self-regulated learning and learning styles: A process mining approach. *2016 XLII Latin American Computing Conference (CLEI)*, 1-12. <https://doi.org/10.1109/CLEI.2016.7833356>
- Maldonado, J. J., Pérez-Sanagustín, M., Bermeo, J. L., Muñoz, L., Pacheco, G., & Espinoza, I. (2017). Flipping the classroom with MOOCs. A pilot study exploring differences between self-regulated learners. *2017 Twelfth Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/LACLO.2017.8120934>
- Matplotlib. (2024). *Visualization with Python*. <https://matplotlib.org/>
- Nesterowicz, K., Bayramova, U., Fereshtehnejad, S.-M., Scarlat, A., Ash, A., Augustyn, A. M., & Szádeczky, T. (2022). Gamification Increases Completion Rates in Massive Open Online Courses: International *Journal of Information and Communication Technology Education*, 18(1), 1-12. <https://doi.org/10.4018/IJICTE.294447>
- NumPy. (2024). <https://numpy.org/>
- Pandas. (2024). *Python Data Analysis Library*. <https://pandas.pydata.org/>
- Peiqi, J. (2024). Applications of Generative Artificial Intelligence in Online Learning and Ethical Governance Framework. *Frontiers in Educational Research*, 7(5). <https://doi.org/10.25236/FER.2024.070533>
- Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence applications in Latin American higher education: A systematic review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w>
- Seaborn. (2021). seaborn: Statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>

- Shah, D. (2021, diciembre 1). By The Numbers: MOOCs in 2021. *The Report by Class Central*. <https://www.classcentral.com/report/mooc-stats-2021/>
- Vallis, C., & Britton, B. (2024). *From script to screen: An emergent view of AI-generated avatars*.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zhang, M., Tan, R., Lu, Q., Huang, Y., & Li, R. (2023). *Exploration and Evaluation of a Digitized Teacher for Enhancing Online Course Efficiency and Interests*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4356944>

Información para Autores



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 desconocen el nombre de el/los autores/as y la identificación de la/s institución/es a la que pertenece el artículo, encargándoseles dictaminar si responde a los intereses científicos de la revista y si 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.

En el siguiente link [Guía de revisores](#), se detalla paso a paso el proceso de evaluación a seguir por los pares ciegos asignados

Las responsabilidades específicas de los revisores se encuentran declaradas en el link [Código de ética y buenas prácticas de publicación](#).

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 y dominio irrestricto de su obra.

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 International.

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. 36, Núm. 3

Edición Especial: I Simposio de Auditoría y Asesoría: Reflexiones desde el Contexto Educativo Ecuatoriano

- i. **Convocatoria abierta:** envío de artículos hasta el 15 de agosto de 2024
- ii. **Notificación de artículos seleccionados después de revisión por pares ciegos:** hasta el 15 de septiembre de 2024
- iii. **Publicación del volumen:** 15 de noviembre de 2024

PROGRAMACIÓN

Vol. 36, Núm. 4

Volumen Abierto Semestral

- i. **Convocatoria abierta:** envío de artículos hasta el 30 de septiembre de 2024
- ii. **Notificación de artículos seleccionados después de revisión por pares ciegos:** hasta el 30 de noviembre de 2024
- iii. **Publicación del volumen:** 30 de diciembre de 2024





espol[®]

cedia



rte.espol.edu.ec