

e-ISSN: 2550-6730



INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Revista de Tecnologías de la Informática
y las Comunicaciones

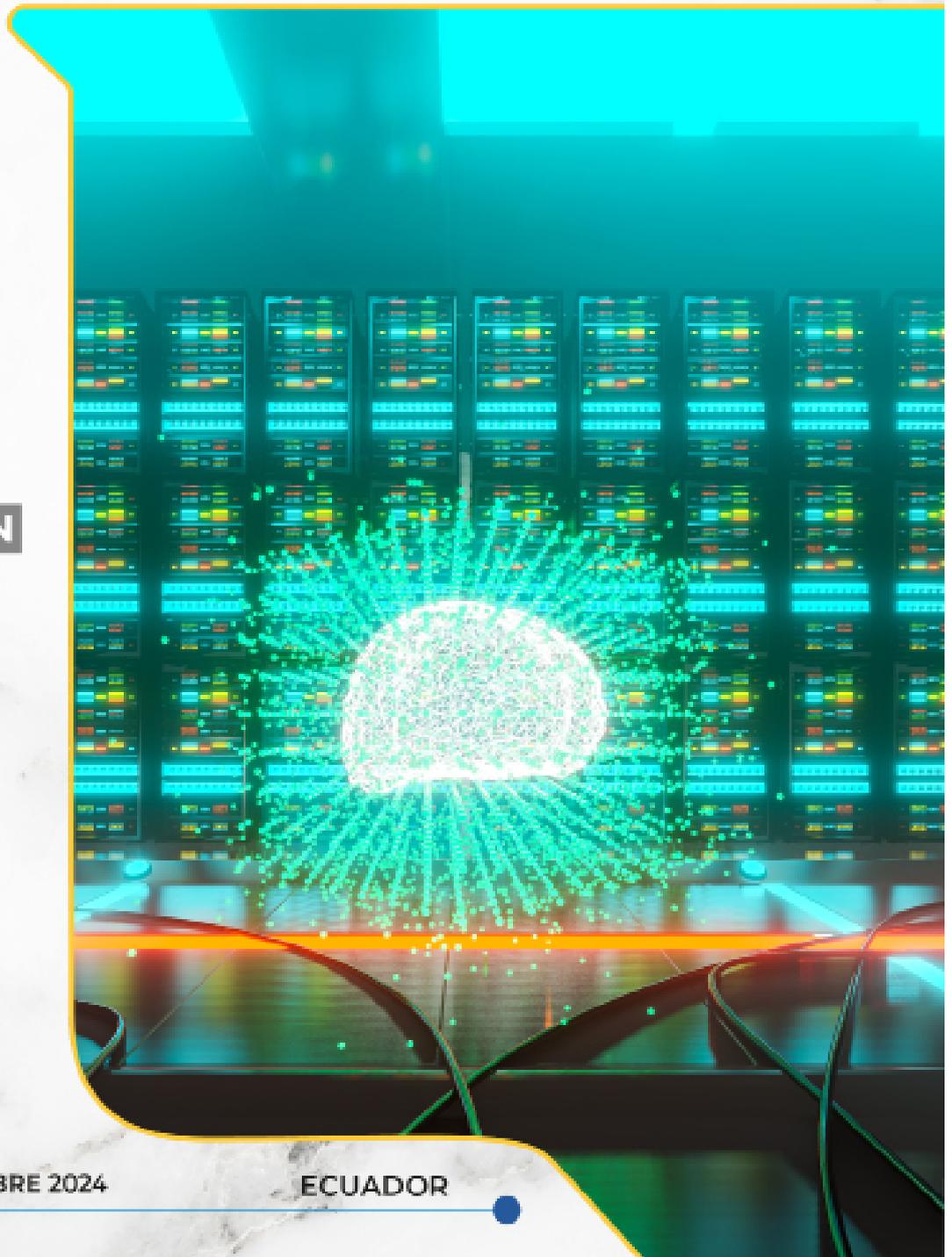


UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ
Fundada en 1962

8

VOLUMEN

Núm. 2



JULIO - DICIEMBRE 2024

ECUADOR

AUTORIDADES INSTITUCIONALES (INSTITUTIONAL AUTHORITIES)

Rector

Santiago Quiroz Fernández, Ph. D.

Vicerrectora Académica

Mara Molina de Lozano, Ph. D.

Director de Investigación

Alex Dueñas Rivadeneira, Ph. D.

Decana de la Facultad de Ciencias Informáticas

Leticia Vaca Cárdenas, Ph. D.

CONSEJO EDITORIAL (EDITORIAL BOARD)

Director de la Revista

(Editor in Chief)



Jorge Párraga Álava, Ph.D.



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

EDITORES (Editors)



Leticia Vaca Cárdenas, Ph. D.



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Lucia Rivadeneira Barreiro, Ph. D.



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Leonardo Chancay García, Ph. D



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Maricela Pinargote Ortega, Ph.D



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

CONSEJO DE REVISORES (REVIEWERS BOARD)

 **Ph.D. Alex Santamaría Philco** Universitat Politècnica de València

 **Ms. C. Enrique Macias Arias**
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 **Ph.D. José Puche**
INDRA, España

 **Ph.D. Santiago Ruiz Sánchez**
Universidad Politécnica de Valencia,
España

 **Ms. C. Wilmer Moreira Sánchez**
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 **Ms.C. Daniel Betancur Vásquez**
Institución Universitaria de Envigado,
Colombia

 **Ms.C. Mike Machuca Ávalos**
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,
Ecuador

CONSEJO CIENTÍFICO (ADVISORY BOARD)

 **Felipe Bello Robles, Ph. D.**
Universidad de Santiago de Chile, Chile

 **Manuel Villalobos Cid, Ph. D.**
Universidad de Santiago de Chile, Chile

 **Paulo Freitas de Oliveira Novais, Ph. D.**
Univerddidade do Minho, Portugal

 **Dalila Alves Durães, Ph. D.**
Univerddidade do Minho, Portugal

 **Edith Josefina Liccioni, Ph. D.**
Universidad de Chimborazo, Ecuador

 **Cristóbal Samaniego Alvarado, Ph. D.**
Barcelona Supercomputing Center, España

EQUIPO TÉCNICO (TECHNICAL TEAM)

Webmaster OJS

 **Ing. Víctor López Tuárez**
Instituto de Investigación,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Diseñador, Diagramación y Portada

 **Ing. Irving Cevallos Bumbila, Mg.**
Dirección de Comunicaciones,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

**Informática y Sistemas:
Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones
Volumen 8, Número 2
Julio – Diciembre 2024
e-ISSN: 2550-6730**

Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones (ISRTIC) es una publicación electrónica semestral de carácter científico, que edita la Facultad de Ciencias Informáticas de la Universidad Técnica de Manabí, orientada a la socialización de resultados de investigación, a través de artículos novedosos y de alto rigor científico, en las áreas asociadas a las tecnologías de la información y las comunicaciones. ISRTIC no efectúa cargos por concepto de costos de procesamiento, envío o publicación de artículos.

El proceso editorial de ISRTIC se gestiona a través del



ISRTIC es una publicación de acceso abierto con licencia



Los artículos de ISRTIC cuentan con código de identificación de objeto digital (DOI)



Los autores de ISRTIC usan un Identificador Abierto de Investigador y Colaborador (ORCID)



ISRTIC utiliza el sistema antiplagio



Las revista está indizada en



Los artículos de la presente edición se pueden obtener en
<https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2>

EDITORIAL

Estimadas/os lectoras/es,

Me complace presentar el Volumen 8, Número 2 de Julio-Diciembre 2024 de Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Información y Computación (ISRTIC). Esta edición refleja la creciente influencia de la inteligencia artificial y las tecnologías emergentes en diversos ámbitos de nuestra sociedad.

Abrimos este número con dos investigaciones significativas en el campo de la salud. El primer artículo, “Inteligencia artificial aplicada a la oftalmología: ResNet-50 y VGG-19 en el diagnóstico de catarata y glaucoma”, demuestra el potencial de las redes neuronales profundas en el diagnóstico oftalmológico. Le sigue “Integración de Inteligencia Artificial en Telemedicina: Desarrollo y Evaluación de Chatbot Especializado en Enfermedades Virales”, que explora las posibilidades de la IA en la atención médica remota.

En el ámbito tecnológico, presentamos “Mejores Prácticas en la Implementación del Edge Computing: Un Enfoque Basado en Casos de Éxito”, proporcionando valiosas lecciones sobre esta tecnología emergente. Complementando esta perspectiva técnica, “Evolución normativa de la protección de datos personales en Ecuador” ofrece un análisis histórico fundamental del marco regulatorio que rige nuestro entorno digital.

La aplicación de tecnologías en contextos educativos y culturales se explora en tres artículos subsiguientes. “La Robótica Educativa como Estrategia de Aprendizaje y Desarrollo de la Personalidad en Niños con Autismo” presenta innovadoras aproximaciones en educación especial, mientras que “Diseño y usabilidad en una App de realidad aumentada (R-A) para la difusión de piezas cerámicas de cultura PURUHÁ” demuestra el potencial de las tecnologías inmersivas en la preservación y difusión cultural. “La inteligencia artificial en la formación académica primaria y secundaria en el Ecuador” examina el papel transformador de la IA en nuestro sistema educativo.

Cerramos esta edición con “Especificación de Requisitos de Inteligencia Artificial en el Desarrollo de productos de Software”, que establece bases metodológicas fundamentales para la integración efectiva de la IA en el desarrollo de software, proporcionando un marco técnico esencial para futuros desarrollos.

Esta colección de artículos representa la diversidad y profundidad del campo tecnológico actual, donde la inteligencia artificial y las tecnologías emergentes continúan expandiendo las fronteras de lo posible en múltiples disciplinas. La variedad de temas abordados refleja la naturaleza interdisciplinaria de la tecnología moderna y su impacto en diversos aspectos de nuestra sociedad.

Agradezco profundamente a los autores por sus valiosas contribuciones, al equipo editorial por su dedicada labor de revisión, y a nuestros lectores por su continuo interés en nuestra publicación. Su compromiso con la excelencia académica y la innovación tecnológica fortalece nuestra misión de difundir conocimiento significativo en el campo de la informática y los sistemas.

Cordialmente,

Jorge Párraga Álava, Ph.D.

Director General

Informática y Sistemas:

Revista de Tecnologías de la Información y Computación

INDICE

Leonardo Paul Sanchez Davila, Ruth Evelyn Rogel Rivera, Joofre Antonio Honores Tapia, Wilmer Braulio Rivas Asanza

52-59

Inteligencia artificial aplicada a la oftalmología: ResNet-50 y VGG-19 en el diagnóstico de catarata y glaucoma

Artificial intelligence applied to ophthalmology: ResNet-50 and VGG-19 in cataract and glaucoma diagnosis

Alejandro Josafat Rodriguez Vargas, Sandra Verónica Falconí Peláez , Bertha Eugenia Mazón Olivo, Eduardo Alejandro Tusa Jumbo

60-69

Integración de Inteligencia Artificial en Telemedicina: Desarrollo y Evaluación de Chatbot Especializado en Enfermedades Virales

Integration of Artificial Intelligence in Telemedicine: Development and Evaluation of a Chatbot Specialized in Viral Diseases

Anderson Ivan Asanza Honores, Darwin Geovanny Chuchuca Vacacela , Mariuxi Paola Zea Ordoñez, Tania Yesminia Contreras Alonso

70-85

Mejores Prácticas en la Implementación del Edge Computing: Un Enfoque Basado en Casos de Éxito

Best Practices in the Implementation of Edge Computing: A Case Study Approach

Anniabel de la Caridad Cardet Sarduy, Jesennia del Pilar Cárdenas Cobo

86-101

Evolución normativa de la protección de datos personales en Ecuador: un análisis histórico

The normative evolution of personal data protection in Ecuador: A historical analysis

Cristhy Nataly Jiménez Graniz, Manuel Joaquín Machado Sotomayor

102-110

La Robótica Educativa como Estrategia de Aprendizaje y Desarrollo de la Personalidad en Niños con Autismo

Educational Robotics as a Learning Strategy and Personality Development for Children with Autism

INDICE

**Tatiana Janeth Bravo Cedeño, Edison Amador Miguez Gordillo,
Manuel David Isín Vilema, Geonatan Octavio Peñafiel Barros**

111-121

Diseño y usabilidad en una App de realidad aumentada (R-A) para la difusión de piezas cerámicas de cultura PURUHÁ

Design and Usability in an Augmented Reality (AR) App for the Dissemination of Ceramic Pieces from the PURUHÁ Culture

**Roberto Wellington Acuña Caicedo, Christian Ruperto Caicedo Plúa,
Antonietta del Carmen Rodríguez Gonzalez, Lenin Jonatan Pin Garcia**

122-133

La inteligencia artificial en la formación académica primaria y secundaria en el Ecuador

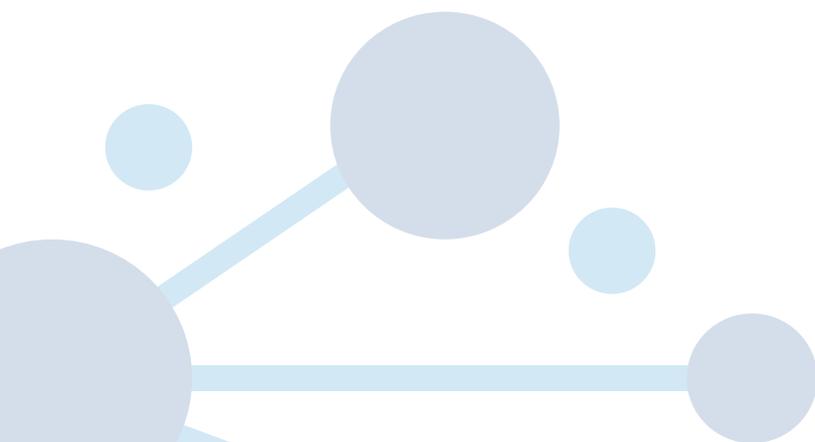
Artificial intelligence in primary and secondary education in Ecuador

Pablo Fernando Ordoñez Ordoñez, Yamilka Valeria Erazo Aleaga

134-146

Especificación de Requisitos de Inteligencia Artificial en el Desarrollo de productos de Software

Artificial Intelligence Requirements Specification in the Development of Software Products





Inteligencia artificial aplicada a la oftalmología: ResNet-50 y VGG-19 en el diagnóstico de catarata y glaucoma

Artificial intelligence applied to ophthalmology: ResNet-50 and VGG-19 in cataract and glaucoma diagnosis

Autores

✉ *Leonardo Paúl Sánchez Dávila



✉ Ruth Evelyn Rogel Rivera



✉ Joofre Antonio Honores Tapia



✉ Wilmer Braulio Rivas Asanza



Facultad de Ingeniería Civil, Universidad
Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

* Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Sánchez Dávila, L., Rogel Rivera, R., Honores Tapia, J. & Rivas Asanza, W. (2024). Inteligencia artificial aplicada a la oftalmología: ResNet-50 y VGG-19 en el diagnóstico de catarata y glaucoma. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(2), 52–59. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.6641>

Enviado: 17/04/2024

Aceptado: 13/06/2024

Publicado: 02/07/2024

Resumen

El auge tecnológico está produciendo importantes cambios a nivel mundial, sobre todo la inteligencia artificial. Actualmente las grandes compañías han emprendido acciones y destinan gran parte de sus recursos al desarrollo de tecnologías que permitan automatizar las actividades, entre ellas las del sector salud. En tal sentido, la oftalmología ha captado la atención del uso de las redes neuronales convolucionales, debido a que puede proveer suficientes datos para garantizar niveles altos de predicción en la detección de enfermedades/anomalías oculares. En esta investigación se rediseñaron veinticuatro algoritmos a partir de las estructuras ResNet-50 y VGG-19, modificando las entradas (conjuntos de 15, 25 y 35 imágenes) y los ciclos de propagación (20 y 25 épocas), con el objetivo de optimizar el nivel de precisión en el diagnóstico de catarata y glaucoma. Además, se utilizó el estadístico U de Mann Whitney para comparar los valores medios de los parámetros pérdida, precisión, rendimiento y tiempo, logrando identificar que solamente en este último las diferencias son estadísticamente significativas. Los resultados revelaron que el algoritmo más eficiente en el diagnóstico de catarata fue desarrollado a partir de la estructura VGG-19 con 25 imágenes tomadas como entrada con 20 épocas de entrenamiento; por su parte, no se lograron obtener niveles de precisión adecuados para el diagnóstico de glaucoma. El desarrollo de esta investigación implica esclarecer la practicidad de adoptar en el campo de la oftalmología las dos redes neuronales convolucionales que mayor rendimiento han tenido en materia de detección y diagnóstico.

Palabras clave: inteligencia artificial; oftalmología; redes neuronales convolucionales; catarata; glaucoma.

Abstract

The technological boom is bringing about important changes worldwide, especially artificial intelligence. Currently, large companies have taken action and are allocating a large part of their resources to the development of technologies that allow the automation of activities, including those in the healthcare sector. In this regard, ophthalmology has attracted the attention of a branch of artificial intelligence, convolutional neural networks, because it can be provided with sufficient data to guarantee high levels of prediction in the detection of ocular diseases/anomalies. In this research, twenty-four algorithms were redesigned from the ResNet-50 and VGG-19 structures, modifying the inputs (sets of 15, 25 and 35 images) and the propagation cycles (20 and 25 epochs), with the aim of optimizing the level of accuracy in the diagnosis of cataract and glaucoma. In addition, the Mann Whitney U statistic was used to compare the mean values of the parameters loss, precision, performance and time, identifying that only in the latter the differences are statistically significant. The results revealed that the most efficient algorithm in the diagnosis of cataract was developed from the VGG-19 structure with 25 images taken as input with 20 training epochs; on the other hand, it was not possible to obtain adequate levels of accuracy for the diagnosis of glaucoma. The development of this research involves clarifying the practicality of adopting in the field of ophthalmology the two convolutional neural networks that have had the best performance in terms of detection and diagnosis.

Keywords: artificial intelligence; ophthalmology; convolutional neural networks; cataract; glaucoma; glaucoma.



1. Introducción

La inteligencia artificial es el concepto en boga por excelencia de la actualidad. Las compañías más grandes del mundo, como Google o Amazon, están invirtiendo gran parte de sus recursos en el desarrollo de estas tecnologías (Magallanes et al., 2023). Por su parte, Estupiñán et al. (2021) manifiestan que la inteligencia artificial asemeja las funciones cognitivas del intelecto humano permitiendo automatizar distintos tipos de actividades. Por ello, las empresas han apuntado a su uso para un apalancamiento operativo (Borja et al., 2020). Indagando en el campo de la oftalmología, el uso de la inteligencia artificial ha permitido automatizar desde procesos básicos, como la gestión de turnos, hasta los más complejos, como aquellos operativos de diagnóstico de enfermedades oculares (Hernández, 2024). En las siguientes subsecciones se descompone y analiza a profundidad las ramas de la inteligencia artificial que permiten desarrollar software para diagnosticar enfermedades oculares, debido a que en este estudio se busca desarrollar, analizar y comparar distintas propuestas metodológicas que permitan detectar el glaucoma o la catarata.

El machine learning, o aprendizaje automático, es una rama de la inteligencia artificial que tiene como objeto modificar los parámetros predictivos del proceso, permitiendo que los sistemas aprendan a partir de la repetición. De esta manera, se puede obtener predicciones más confiables con los mismos datos introducidos al inicio de una misma operación (Zarranz-Ventura et al., 2023). El primer caso conocido donde se utilizó el aprendizaje automático es el algoritmo desarrollado por Arthur Samuel, el cual fue denominado Chinook, donde un software pudo vencer en una partida de damas al campeón mundial Gary Kasparov. Actualmente, los algoritmos de aprendizaje automático aprenden de los datos a través de la retroalimentación experimentada mediante varios entrenamientos. En la oftalmología, el aprendizaje automático puede mejorar la precisión del diagnóstico del glaucoma o la catarata a través del entrenamiento de un software.

A su vez, el deep learning, o aprendizaje profundo, es una forma de aprendizaje automático donde diferentes capas de algoritmos identifican automáticamente patrones y estructuras presentes en los conjuntos de datos (Perdomo-Charry et al., 2020). Las capas antes descritas tienden a replicar la conectividad de las neuronas, siendo la red neuronal convolucional aquella cuyas características son similares a la red neuronal que se encuentra presente en la corteza visual primaria (Guevara y Augusto, 2023). Retomando el estudio de Zarranz-Ventura et al. (2023), un software de aprendizaje profundo mediante el entrenamiento puede diferenciar una forma de otras, como por ejemplo, un guineo de otras frutas. Por lo tanto, la efectividad radica en el entrenamiento de

la red neuronal convolucional con diferentes imágenes de guineos. Al contrastar esto en el campo de la oftalmología, el aprendizaje profundo mediante las redes neuronales convolucionales podría identificar a través de fotografías oculares la presencia de glaucoma o catarata y optimizar sus resultados a partir del entrenamiento con una mayor cantidad y mejor calidad de imágenes.

El uso de la inteligencia artificial, puntualmente de las redes neuronales convolucionales, ha incrementado significativamente durante los últimos cinco años a modo que ha sido empleada para diferentes propósitos, destacando entre ellos el reconocimiento de especies y contabilización de animales salvajes en el campo de la biología (Cifuentes et al., 2019; Suing-Albito y Barba-Guaman, 2023), la detección de parásitos y enfermedades en los cultivos, estudios que corresponden a la fitopatología (Álvarez et al., 2023; Analuisa-Aroca et al., 2023; Costales et al., 2020; Lozada-Portilla et al., 2021). Y, en el ámbito de la salud en la identificación de patologías radicadas en los circuitos neuronales, como Alzheimer o Parkinson (Mera-Jiménez y Ochoa-Gómez, 2021), detección de tuberculosis a través de radiografías de tórax (Valero et al., 2021), o incluso para la detección de COVID-19 mediante imágenes rayos X (Guevara y Augusto, 2023).

Esto ha motivado a Zarranz-Ventura et al. (2023) a recomendar la adopción de la inteligencia artificial en la oftalmología destacando su practicidad debido al uso de una gran cantidad de imágenes, tanto del segmento anterior como posterior del ojo, reconociendo al menos seis pruebas y dos tipos de datos clínicos. Es decir, se dispone de una vasta cantidad de conjuntos de datos para entrenar redes neuronales convolucionales. La cantidad y calidad de los datos que provee la fotografía ocular justifica el desarrollo de esta propuesta metodológica y el análisis de la arquitectura de una red neuronal convolucional para la detección y/o diagnóstico del glaucoma y la catarata. En contraste con la literatura revisada, se enfatiza que la capacidad predictiva de estas enfermedades oftalmológicas debería ser alta y tender a mejorar con el entrenamiento.

En este estudio se realiza una comparación entre las estructuras de las redes ResNet-50 y VGG-19, utilizando un mismo conjunto de datos y ejecutándolas en igualdad de condiciones. Este es el punto de partida de la propuesta metodológica, la cual consiste en realizar dos modificaciones: 1) en la entrada, tomando diferentes conjuntos de pruebas de entrenamiento, ya sean 15, 25 y 35 imágenes, y 2) estableciendo diferentes ciclos de corrección de propagación de 20 y 25 épocas. De esta manera se pretende responder la siguiente pregunta de investigación ¿Qué tipo de estructura de red es más efectiva para el diagnóstico de glaucoma y catarata, y bajo qué

condiciones?

El objetivo que persigue esta investigación es optimizar el nivel de precisión en el diagnóstico de glaucoma y catarata mediante una propuesta metodológica con base en las redes ResNet-50 y VGG-19. Para alcanzar este objetivo se han utilizado códigos de libre acceso los cuales fueron modificados de la forma descrita en el párrafo anterior, y para el entrenamiento de la red neuronal convolucional se utilizó un conjunto de imágenes obtenido desde la plataforma Kaggle. Además, se implementa estadística descriptiva e inferencial para comparar las variaciones de los niveles de precisión y determinar si son significativas.

El desarrollo de esta investigación implica esclarecer la practicidad de adoptar las dos redes neuronales convolucionales que mayor rendimiento han tenido en materia de detección y diagnóstico, según la literatura revisada. Esto permite conocer si la adopción de la inteligencia artificial en la detección de glaucoma o catarata cumple con los dos aspectos fundamentales para el campo de la salud, los cuales son la precisión y el tiempo que tarda en realizarse un diagnóstico. Al relacionar el uso de redes neuronales convolucionales junto con las necesidades de un centro oftalmológico para el diagnóstico de enfermedades oculares se puede conocer si la inteligencia artificial tiene un nivel de eficiencia adecuado para utilizarla en la detección de catarata y glaucoma, y la practicidad implícita en el factor tiempo que podría permitir sustituir la mano de obra, aumentar una unidad de diagnóstico, etc. Es decir, si una clínica oftalmológica desea adoptar inteligencia artificial para la detección de catarata o glaucoma, esta investigación provee un análisis técnico que permite conocer las diferencias entre el rendimiento de las diferentes redes analizadas, y a partir de este hacer una evaluación de la inversión del proyecto y proyección de los costos y ventas.

2. Materiales y Métodos

En primera instancia se recurrió a una investigación exploratoria mediante la revisión bibliográfica de casos de estudio, tanto en oftalmología como de otras áreas, donde se han utilizado redes neuronales convolucionales para el diagnóstico de enfermedades a partir de piezas gráficas, siendo esta la forma en que se reconocieron la ResNet-50 y la VGG-19 como las dos principales. Posteriormente, se analizaron las propiedades de estas redes para identificar las posibles mejoras que se puedan implementar en su diseño, y una vez modificados los códigos se recopiló el conjunto de datos desde Kaggle. Después se procedió a realizar los entrenamientos y levantamiento de los datos de los resultados para finalmente realizar los análisis estadísticos que permitieron comparar y determinar si las variaciones de los niveles de precisión fueron significativas.

En la Figura 1 se resume el proceso metodológico. El desarrollo de esta investigación parte de la identificación del estudio de caso, en primera instancia porque los autores habían considerado desarrollar una propuesta de mejora para procedimientos

oftalmológicos a partir de la inteligencia artificial, logrando identificar a las redes neuronales convolucionales como una alternativa al diagnóstico de catarata y glaucoma. Luego, se realizó una revisión bibliográfica para desglosar y entender cómo la inteligencia artificial se ramifica, cuál es el principio y qué parte de la inteligencia artificial se encarga de la detección de patrones en imágenes, y cómo puede desarrollarse una propuesta metodológica para el diagnóstico de catarata y glaucoma. Después, se procedió a buscar una base de datos adecuada de pacientes con catarata, glaucoma, sanos, y con otras enfermedades, la misma que sirvió para el entrenamiento de las redes. Y, a partir de este punto se inició la codificación y ejecución de los entrenamientos, para posteriormente analizar los resultados obtenidos.

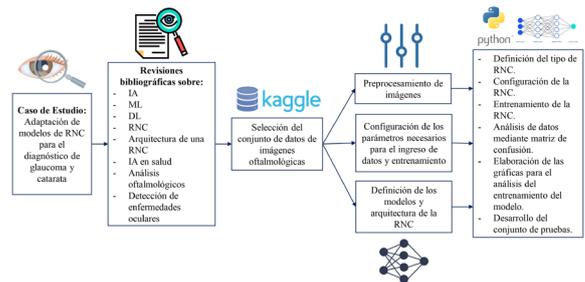


Figura 1. Resumen gráfico del proceso metodológico.

Fuente: Autores.

La base de datos¹ utilizada para entrenar las redes contiene fotografías a color del fondo del ojo derecho e izquierdo de 5000 pacientes. Las fotografías fueron recopiladas por la organización Shanggong Medical Technology Co., Ltd. y corresponden a pacientes sanos, o con diabetes, glaucoma, catarata, degeneración macular relacionada con la edad, hipertensión, miopía patológica y otras enfermedades/anomalías. Se utilizó Phyton como lenguaje de programación y los códigos fueron ejecutados en Jupyter Notebook de Anaconda Navigator.

En esta investigación se empleó el método no experimental, de corte transversal y de tipo cuantitativo. Para desarrollar la propuesta metodológica se comprendió la estructura de las redes ResNet-50 y VGG-19, y posteriormente se implementaron las mejoras en las entradas y ciclos de propagación. Esto implica el uso de los códigos de dos estructuras de red que han sido replicados en otros estudios. Por lo tanto, el aporte de esta investigación radica en el testeo de cada red en condiciones diferentes, su posterior análisis comparativo para determinar si existen diferencias significativas y finalmente recomendar con base en los resultados si es oportuno desarrollar un software para la detección de catarata y glaucoma.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta las características de las redes que se van a analizar, donde se presentan las enfermedades que se van a diagnosticar, la estructura de red implementada, así como el conjunto de imágenes y las épocas de entrenamiento.

La base de datos utilizada para entrenar las redes contiene fotografías a color del fondo del ojo derecho e izquierdo de 5000 pacientes. Las fotografías fueron recopiladas por la organización Shanggong Medical Technology Co., Ltd. y corresponden a

pacientes sanos, o con diabetes, glaucoma, catarata, degeneración macular relacionada con la edad, hipertensión, miopía patológica y otras enfermedades/anomalías. Se utilizó Phyton como lenguaje de programación y los códigos fueron ejecutados en Jupyter Notebook de Anaconda Navigator.

En esta investigación se empleó el método no experimental, de corte transversal y de tipo cuantitativo. Para desarrollar la propuesta metodológica se comprendió la estructura de las redes ResNet-50 y VGG-19, y posteriormente se implementaron las mejoras en las entradas y ciclos de propagación. Esto implica el uso de los códigos de dos estructuras de red que han sido replicados en otros estudios. Por lo tanto, el aporte de esta investigación radica en el testeo de cada red en condiciones diferentes, su posterior análisis comparativo para determinar si existen diferencias significativas y finalmente recomendar con base en los resultados si es oportuno desarrollar un software para la detección de catarata y glaucoma.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta las características de las redes que se van a analizar, donde se presentan las enfermedades que se van a diagnosticar, la estructura de red implementada, así como el conjunto de imágenes y las épocas de entrenamiento.

Para la operacionalización de las variables se realizan las siguientes consideraciones. La variable dependiente es el diagnóstico de la enfermedad ocular, a la cual corresponden cinco dimensiones: 1) El resultado, esta se encuentra sujeta a las categorías “Glaucoma” o “Catarata” para indicar la presencia de la anomalía o “Normal” para indicar su ausencia, 2) la pérdida, 3) la precisión, 4) el rendimiento, y 5) el tiempo. Se debe aclarar que las redes propuestas pueden predecir la presencia o ausencia de una sola enfermedad, no diferenciarlas. Es decir, si una red diseñada para detectar glaucoma analiza la imagen de un ojo con catarata, el resultado que entrega la salida es “Normal”, y viceversa. Por otra parte, las variables independientes son el conjunto de imágenes de entrada y las épocas de entrenamiento, pues estos son los parámetros de las redes que se van a modificar.

Luego de ejecutar el entrenamiento de las redes se recopilaron los resultados de los parámetros pérdida, precisión, rendimiento y tiempo. Estos datos fueron registrados en una hoja de cálculo y luego se dispusieron en el software IBM SPSS Statistics 27 para realizar los análisis estadísticos. En primer lugar, se hizo uso de la estadística descriptiva para comparar las dos estructuras de red, para ello se utilizó el coeficiente de variación el cual se obtuvo al relacionar los valores más altos obtenidos en cada parámetro. Este análisis permite conocer qué estructura de red y en qué condiciones presenta menor pérdida de datos, tiene mayor precisión en la predicción, mejor rendimiento en el procesamiento de las fotografías oculares, y mayor rapidez para realizar el diagnóstico. Después, se utilizó la estadística inferencial para determinar si la diferencia entre los diagnósticos

Tabla 1. Medidas de productos.
Fuente: Autores.

Enfermedad a diagnosticar	Estructura de red	Conjunto de imágenes	Épocas de entrenamiento	Red
Catarata	Res-Net-50	15	20	Red 1
			25	Red 2
		25	20	Red 3
			25	Red 4
			20	Red 5
	VGG-19	15	25	Red 6
			20	Red 7
		25	25	Red 8
			20	Red 9
			25	Red 10
Glaucoma	Res-Net-50	15	20	Red 11
			25	Red 12
		25	20	Red 13
			25	Red 14
			20	Red 15
	VGG-19	15	25	Red 16
			20	Red 17
		25	25	Red 18
			20	Red 19
			25	Red 20
VGG-19	25	20	Red 21	
		25	Red 22	
	35	20	Red 23	
		25	Red 24	

es estadísticamente significativa. Este análisis inició con la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si existe normalidad en la distribución de los resultados y posteriormente se hizo uso del estadístico U de Mann Whitney para determinar si la variación de las medias de estos resultados es significativa. Con esta prueba no paramétrica se puede reconocer en qué parámetro una red es más eficiente que otra.

3. Resultados y Discusión

Como primer punto se describen los resultados obtenidos del entrenamiento de cada estructura de red (ResNet-50 y VGG-19). Se observó que la red VGG-19 obtuvo menos falsos positivos que la ResNet-50 (Ver la Tabla 2). Con la estructura ResNet-50

cinco pacientes fueron diagnosticados con glaucoma, aunque no poseían ningún tipo de enfermedad/anomalía en sus ojos, mientras que dos casos con glaucoma fueron clasificados como sanos. Por otra parte, no hubo errores en la detección de catarata (Ver el Anexo 1). Respecto a la red VGG-19, esta diagnosticó catarata a un paciente sano, y viceversa, a un paciente con catarata lo clasificó como sano. Se observaron cuatro casos de pacientes sanos que fueron diagnosticados con glaucoma, pero ningún caso de glaucoma pasó desapercibido como caso normal (Ver el Anexo 2).

Tabla 2. Medidas de productos.
Fuente: Autores.

Estructura	Cataratas detectadas	Glaucomas detectadas	Ojos sanos detectados	Errores	Total
ResNet-50	34 casos	32 casos	47 casos	7 casos	120 casos
VGG-19	37 casos	32 casos	45 casos	6 casos	120 casos

A partir de este punto se realizó un análisis diferenciado por cada enfermedad, siendo la catarata la primera de la cual se va a exponer los resultados. Del grupo de redes ResNet-50, la Red 6 obtuvo el mayor rendimiento (0,98438), mientras que de la estructura VGG-19 lo fue la Red 9 (0,99160). Según la variación de 0,73%, la Red 9 (Modelo propuesto a partir de la estructura VGG-19) tiene un mejor rendimiento que la Red 2 (Modelo propuesto a partir de la estructura ResNet-50), sin embargo, esta ventaja representó una tardanza de 30 minutos adicionales para culminar el ciclo de entrenamiento. A continuación, en la Figura 2 se presenta un gráfico de líneas donde se muestran los niveles de precisión de las redes.

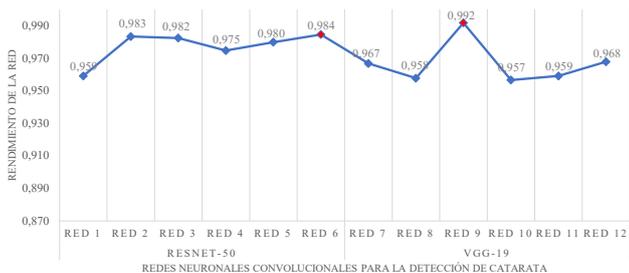


Figura 2. Niveles de rendimiento de las redes en el diagnóstico de catarata.

Fuente: Autores.

Por otra parte, la Red 9 (Modelo propuesto a partir de la estructura VGG-19) es la que menor pérdida presentó entre las demás (6,28%), y también la que más precisión obtuvo al final de la ejecución (99,08%). En contraste con el rendimiento, la Red 6 (Modelo propuesto a partir de la estructura ResNet-50) presentó 4,97% más de errores y 0,01% menos de precisión en el diagnóstico de catarata. Es decir, la Red 9 que utiliza como base de su estructura el modelo VGG-19 es la más eficiente al momento

de reconocer catarata en fotografías a color del fondo del ojo derecho e izquierdo.

Respecto al glaucoma, la Red 14 del grupo de redes ResNet-50 obtuvo el mayor indicador de rendimiento (0,92029) y del grupo VGG-19 fue la Red 22 (0,91729). La variación del rendimiento entre estas redes fue de 0,33% a favor de la Red 14 (Modelo propuesto a partir de la estructura ResNet-50) e incluso el tiempo de ejecución fue de 45 minutos menos, pues la Red 22 tardó 75 minutos. A continuación, en la Figura 3 se presenta un gráfico de líneas con los niveles de precisión de todas las redes.

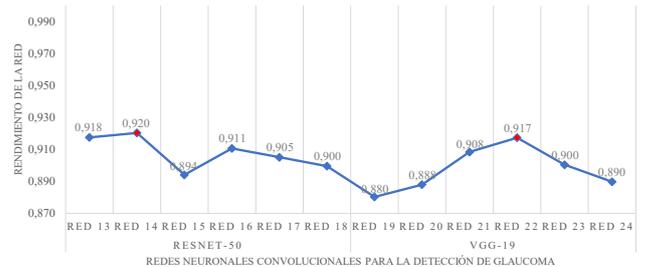


Figura 3. Niveles de rendimiento de las redes en el diagnóstico de glaucoma.

Fuente: Autores.

Las dos redes de mayor rendimiento, presentaron un mismo nivel de precisión de 90,14%, pero diferentes valores de pérdida, pues el de la Red 14 (48,22%) fue 27,89% menor al de la Red 22 (76,11). Con base en estos resultados se considera que la Red 14, la cual utiliza como base de su estructura el modelo ResNet-50, es la más eficiente diagnosticando glaucoma a partir de fotografías a color del fondo del ojo derecho e izquierdo.

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar el cumplimiento del supuesto de normalidad de la estadística paramétrica. Para ello, se relacionaron el rendimiento, la pérdida, la precisión y el tiempo, con los factores a comparar los cuales fueron las redes ResNet-50 y VGG-19. Según los resultados expuestos en la Tabla 3, solamente se cumple la normalidad para el grupo ResNet-50 en los parámetros precisión y rendimiento; por lo tanto, se deberá utilizar el estadístico U de Mann Whitney.

Tabla 3. Prueba de normalidad para muestras menores a 30 observaciones por grupo.

Fuente: Autores.

Factores	Estructura	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Pérdida	ResNet-50	0,926	12	0,344
	VGG-19	0,956	12	0,732
Precisión	ResNet-50	0,810	12	0,012
	VGG-19	0,884	12	0,098
Rendimiento	ResNet-50	0,826	12	0,019
	VGG-19	0,898	12	0,148
Tiempo	ResNet-50	0,924	12	0,321
	VGG-19	0,923	12	0,314



En la Tabla 4 se observa que, de acuerdo al estadístico U de Mann Whitney ($p < 0,01$), solamente existe flexibilidad entre el tiempo de ejecución que tardaron en entrenarse las redes. En otros términos, el tiempo es el único parámetro donde las diferencias son significativas, esto quiere decir que éste es el único criterio de exclusión para determinar cuál modelo de entre los propuestos es el más eficiente en la detección de glaucoma o catarata. Por lo tanto, las redes cuya ejecución tarde menos que el valor medio, serán consideradas las más adecuadas.

Tabla 4. Comparación de medias para dos muestras independientes.

Fuente: Resultados del entrenamiento de las redes.

Estadística	Pérdida	Precisión	Ren- dimiento	Tiempo
U de Mann-Whitney	53,000	54,000	53,500	0,000
W de Wilcoxon	131,000	132,000	131,500	78,000
Z	-1,097	-1,043	-1,068	-4,168
Sig. asin. (bilateral)	0,273	0,297	0,285	0,000
Significación exacta [2*(sig. unilaterial)]	,291 ^b	,319 ^b	,291 ^b	,000 ^b

Las redes basadas en la estructura ResNet-50 tardaron en promedio 27 minutos con 50 segundos en diagnosticar catarata y 26 minutos con 50 segundos para diagnosticar glaucoma; por otra parte, las redes basadas en la estructura VGG-19 tardaron en promedio 65 minutos con 10 segundos en diagnosticar catarata y 66 minutos con 30 segundos para diagnosticar glaucoma. Considerando el criterio de exclusión del tiempo, la estructura ResNet-50 es más eficiente que la VGG-19 en el diagnóstico de catarata y glaucoma.

Adhiriendo al parámetro tiempo, y confirmando lo establecido por Cifuentes et al. (2019), quienes afirman que la eficiencia de las RNC reside en la capacidad de extraer los patrones de las imágenes, la Red 9 (Modelo propuesto a partir de la estructura VGG-19) es la única que cumple con ambos criterios de eficiencia. Aunque la precisión del diagnóstico es una prioridad inminente en el campo de la salud, el tiempo también es un factor crucial para la detección de ciertas enfermedades/anomalías; por ende, desde la operatividad se podría valorar la adopción de esta inteligencia artificial en centros oftalmológicos de alta demanda

o en aquellos donde el especialista tarde más de 62 minutos en diagnosticar catarata.

De las propuestas metodológicas que utilizaron las mismas estructuras de red se contrasta lo siguiente, Suing-Albito y Barba-Guaman (2023) obtuvieron el mayor nivel de predicción utilizando la VGG-19. Sin embargo, los demás algoritmos entregaron un resultado superior al 98% y los demás por encima del 99%. Los resultados para el diagnóstico del glaucoma no son satisfactorios puesto que ninguno de los algoritmos logró alcanzar el 91% de precisión. Por otra parte, para la detección de catarata una red basada en la estructura VGG-19 sí logro superar el 99% de precisión, además, el rendimiento, pérdida y tiempo de ejecución refuerzan la afirmación de que este modelo es más eficiente que el ResNet-50.

Así mismo, se concuerda con Perdomo-Charry et al. (2020) respecto a que los modelos de redes neuronales convolucionales no aprovechan toda la información provista en los datos oftalmológicos debido a que se recurre únicamente a la valoración del fondo del ojo, cuando existen datos clínicos y reportes diagnósticos que pueden ser cruciales en la detección de catarata, como la agudeza visual (Carron et al., 2021), o del glaucoma, como el lagrimeo o la presencia de megalocórnea (Urióstegui-Rojas et al., 2023). Se sugiere que las nuevas propuestas metodológicas adquieran un carácter integral para el desarrollo de sistemas multimodales.

Los resultados obtenidos en los factores rendimiento y tiempo son concluyentes en determinar que la Red 9 es la red neuronal convolucional más apropiada para detectar catarata, y que ninguna de las redes propuestas es apropiada para la detección de glaucoma. Así mismo, estos resultados demostraron que durante los entrenamientos la estructura de red VGG-19 procesa mejor la información contenida en las fotografías oculares. Es decir, las capas convolucionales afectan la toma de información de las fotografías oculares, pero se descarta la teoría de que a más etapas de entrenamiento se obtienen mejores predicciones.

3. Resultados y Discusión

Uno de los hallazgos más importantes de esta investigación fue que el rendimiento de las redes neuronales convolucionales está directamente relacionado con los indicadores de pérdida y precisión, pues en los casos donde las redes demostraron un mayor rendimiento consecuentemente obtenían una menor pérdida de datos y mayor precisión en sus predicciones. Esto nos lleva a concluir que las mejoras resultantes de las modificaciones que se realizan en la cantidad de datos de las entradas y en los ciclos de propagación tienen comportamientos similares en estos tres parámetros. Por otra parte, la variable tiempo actuó de manera inusual ante el rendimiento; caso contrario a lo sucedido con las épocas, pues a más ciclos de propagación se tardó más en culminar el entrenamiento (Excepto en el diagnóstico de glaucoma con ResNet-50 utilizando 25 imágenes de entrada). Se concluye

que el rendimiento y el tiempo son los principales criterios de exclusión para que los centros especializados en oftalmología puedan decidir adoptar una determinada inteligencia artificial para el diagnóstico automatizado de glaucoma o catarata. La Red 9 propuesta en este estudio es la única que se recomienda analizar, utilizar o comparar en futuras investigaciones, además, los resultados obtenidos en los factores rendimiento y tiempo permiten responder la pregunta de investigación ¿Qué tipo de estructura de red es más efectiva para el diagnóstico de glaucoma y catarata, y bajo qué condiciones? La estructura VGG-19 analizando 25 imágenes en la entrada con 20 épocas de entrenamiento es la mejor red neuronal convolucional para el diagnóstico de catarata (Ver los Anexos 3 y 4).

Se insta a los futuros investigadores replicar esta propuesta metodológica en otras estructuras de red y comparar con las ResNet-50 y VGG-19 para determinar si el comportamiento del rendimiento logra establecer una relación con la variable tiempo. Así mismo, se propone desarrollar propuestas metodológicas diferentes a la reestructuración de las entradas y épocas de entrenamiento para determinar si persiste la relación entre el rendimiento con la pérdida y la precisión. Además, existen casos de doble presencia de catarata y glaucoma, aunque no son comunes (García et al., 2020), siendo este el punto de partida para el desarrollo de otras propuestas metodológicas de clasificación multiclase como la de Guevara y Augusto (2023). En un principio se consideró crear una base de datos propia de fotografías oculares, sin embargo, al revisar otros casos de estudio se conoció que se requería una muestra de más de 500 personas con cada enfermedad y más de 500 personas sanas. Es aquí donde surgió la limitación de esta investigación, pues crear esta base de datos requería de más tiempo, un presupuesto elevado, y el despliegue logístico con el que no contaban los autores. Sin embargo, al buscar en diferentes plataformas se pudo encontrar a Kaggle, un proveedor de bases de datos para uso y de relevancia académica, quien pudo suplir esta necesidad.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros tutores de revisión y edición del artículo, pertenecientes a la Universidad Técnica de Machala, por su invaluable ayuda y orientación en este proyecto de investigación. Además, extendemos nuestro agradecimiento a los familiares de los autores de este trabajo, cuyo apoyo indirecto ha sido fundamental para su desarrollo y ejecución. Su respaldo ha sido una fuente de fortaleza y motivación en todo momento.

Contribución de los autores

Leonardo Paúl Sánchez Dávila: Administración del proyecto, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo. **Ruth Evelyn Rogel Rivera:** Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo. **Joofre Antonio Honores Tapia:** Conceptualización, Investigación, Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo. **Wilmer Braulio Rivas Asanza:**

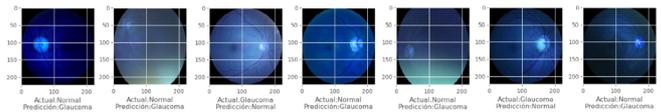
Investigación, Metodología, Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

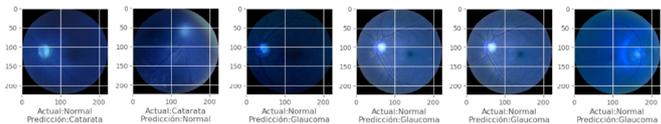
Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Anexos

A.1. Elementos del conjunto de datos detectados como falsos positivos por la red ResNet-50.



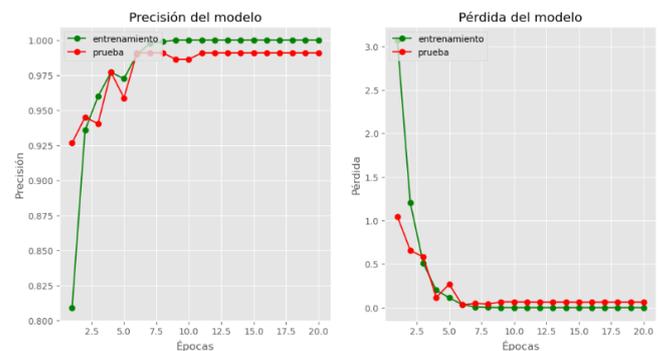
A.2. Elementos del conjunto de datos detectados como falsos positivos por la red VGG-19.



A.3. Métricas de clasificación de la Red 9.

	pre- cisión	retirada	puntuación f1	soporte
0	1,00	0,98	0,99	100
1	0,98	1,00	0,99	118
precisión			0,99	218
media macro	0,99	0,99	0,99	218
media pon- derada	0,99	0,99	0,99	218

A.4. Gráfico de curvas de entrenamiento y validación de la precisión y pérdida de la Red 9 para el diagnóstico de catarata.





Referencias bibliográficas

- Álvarez, D., Arévalo, A., Benavides, I., Salazar, C., & Betancourth, C. (2023). Use of Trained Convolutional Neural Networks for Analysis of Symptoms Caused by Botrytis fabae Sard. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 40(1), 1-13. <https://doi.org/10.22267/rcia.20234001.198>
- Analuisa-Aroca, I., Vergara-Romero, A., & Pérez, I. (2023). Redes neuronales convolucionales ResNet-50 para la detección de gorgojo en granos de maíz. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 385-394. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.034>
- Borja, M., Pérez, M., & Luna, R. (2020). Beneficios ofrecidos por la gestión del Big Data en las instituciones gubernamentales en la era de la digitalización. *Revista La Propiedad Inmaterial*(30). <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA648058028&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16571959&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E-f426e03f&aty=open-web-entry>
- Carron, A., Araujo, D., Medve, G., Torres, J., & Arrúa, M. (2021). Exactitud de las fórmulas de cálculo del poder de Lente Intraocular en Cirugía de Cataratas. Comparación de 8 fórmulas. *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas (Asunción)*, 54(2), 25-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.18004/anales/2021.054.02.25>
- Cifuentes, A., Mendoza, E., Lizcano, M., Santrich, A., & Moreno-Trillos, S. (2019). Desarrollo de una red neuronal convolucional para reconocer patrones en imágenes. *Investigación y Desarrollo en TIC*, 10(2), 7-17. <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identific/article/view/4007/4359>
- Costales, H., Callejo-Arruejo2, A., & Rafanan, N. (2020). Development of a Prototype Application for Rice Disease Detection Using Convolutional Neural Networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7076-7081. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/708102020>
- Estupiñán, J., Leyva, M., Peñafiel, A., & El Assafiri, Y. (2021). Inteligencia artificial y propiedad intelectual. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S3), 362-368. <https://rus.ucf.edu.ec/index.php/rus/article/download/2490/2445/>
- García, K., Vélez, V., Narváez, O., & Trujillo, M. (2020). Hallazgos clínicos en retinosis pigmentaria por examen visual, campimetría y retinografía en Colombia. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 18(2), 55-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.19052/sv.vol18.iss2.6>
- Guevara, R., & Augusto, C. (2023). Aplicación de redes neuronales densas y convolucionales para detección de COVID_19 en imágenes de rayos X. *Revista Conectividad*, 4(2), 19-32. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v4i2.78>
- Hernández, I. (2024). La inteligencia artificial y su impacto en la atención oftalmológica. *Revista Cubana de Oftalmología*, 37, 1-3. <https://revofthalmologia.sld.cu/index.php/oftalmologia/article/view/1844/pdfq>
- Lozada-Portilla, W., Suarez-Barón, M., & Avendaño-Fernández, E. (2021). Aplicación de redes neuronales convolucionales para la detección del tizón tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2), 1-9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1917>
- Magallanes, K., Plúas, L., Aguas, J., & Freire, R. (2023). La inteligencia artificial aplicada en la innovación educativa en el proceso de enseñanza y aprendizaje. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, IV(2), 1597-1613. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.706>
- Mera-Jiménez, L., & Ochoa-Gómez, J. (2021). Redes neuronales convolucionales para la clasificación de componentes independientes de rs-fMRI. *TecnoLógicas*, 24(50), 1-20. <https://doi.org/10.22430/22565337.1626>
- Perdomo-Charry, O., Pérez, A., de-la-Pava-Rodríguez, M., Ríos-Calixto, H., Arias-Vanegas, V., Lara-Ramírez, J., . . . González-Osorio, F. (2020). SOPHIA: System for Ophthalmic Image Acquisition, Transmission, and Intelligent Analysis. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(54), 1-15. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.11769>
- Suing-Albito, G., & Barba-Guaman, L. (2023). Aplicación de métodos de deep learning en la identificación y conteo automático de animales salvajes. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E56, 303-316. <https://www.proquest.com/openview/7c46b95f421cc4491149edd9092ca5f9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Urióstegui-Rojas, A., López-García-Tinajero, A., Cortés-López, P., Mata-Hofmann, R., Mata-Flores, F., & Hofmann-Blancas, M. (2023). Epidemiología del glaucoma congénito primario durante 2008-2018 en el Instituto de Oftalmología "Fundación de Asistencia Privada Conde de Valenciana, IAP". *Revista mexicana de oftalmología*, 96(6), 241-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.24875/rmo.m22000246>
- Valero, J., Zúñiga, A., & Clares, J. (2021). Detección de la tuberculosis con algoritmos de Deep Learning en imágenes de radiografías del tórax. *VIVE. Revista de Investigación en Salud*, 4(12), 624-633. <https://doi.org/10.33996/revistavive.v4i12.119>
- Zarranz-Ventura, J., Romero-Aroca, P., & Zapata, M. (2023). Inteligencia artificial en oftalmología. *Annals d'Oftalmologia*, 1(4), 166-169. https://www.scoft.cat/pdfs/Revista-Annals-Oftalmologia_CDS_2023_low.pdf



Integración de Inteligencia Artificial en Telemedicina: Desarrollo y Evaluación de Chatbot Especializado en Enfermedades Virales

Integration of Artificial Intelligence in Telemedicine: Development and Evaluation of a Chatbot Specialized in Viral Diseases

Autores

- ✉¹Alejandro Josafat Rodríguez Vargas
- ✉²Sandra Verónica Falconí Peláez
- ✉¹Bertha Eugenia Mazón Olivo
- ✉¹Eduardo Alejandro Tusa Jumbo

¹ Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Ecuador, Machala.

² Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Ecuador, Machala.

* Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Rodríguez Vargas, A.J., Falconí Peláez, S.V., Mazón Olivo, B.E. & Tusa Jumbo, E.A. (2024). Integración de Inteligencia Artificial en Telemedicina: Desarrollo y Evaluación de Chatbot Especializado en Enfermedades Virales. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*. 8(2), pp. 60-69. DOI: <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.6840>

Enviado: 16/07/2024
Aceptado: 09/09/2024
Publicado: 16/09/2024

Resumen

Este estudio evalúa la efectividad y precisión de respuestas de un chatbot integrado en la telemedicina, diseñado específicamente para pacientes con enfermedades virales. El objetivo era desarrollar y validar una herramienta basada en procesamiento de lenguaje natural (PLN) que mejore la comunicación entre pacientes y proveedores de salud, ofreciendo respuestas rápidas, precisas y personalizadas. Utilizando una metodología que incorpora tecnologías avanzadas de PLN, el chatbot fue programado para responder consultas relacionadas con síntomas, prevención y manejo de enfermedades virales. La evaluación del sistema se realizó a través de simulación de escenarios reales basados en comparaciones con respuestas de expertos médicos. Los resultados indican que el chatbot alcanza una alta similitud con las respuestas de expertos, con un promedio de similitud por coseno de 0.913 y una distancia euclidiana media de 0.405, demostrando la relevancia y precisión de las respuestas generadas. Finalmente, el estudio muestra que los chatbots pueden desempeñar un papel vital en la telemedicina, facilitando un acceso más rápido y efectivo a la información médica y mejorando la gestión del cuidado de pacientes con enfermedades virales. Esta investigación destaca la importancia de integrar PLN en la salud digital, subrayando el potencial de los chatbots para revolucionar el cuidado de la salud y ofrecer soluciones accesibles y personalizadas para los retos actuales de las enfermedades virales en el campo biomédico.

Palabras clave: ChatBot; telecuidado; Enfermedades virales; Inteligencia Artificial; Procesamiento de lenguaje natural

Abstract

This study evaluates the implementation and effectiveness of an integrated chatbot within telemedicine, specifically designed for patients with viral diseases. The objective was to develop and validate a natural language processing (NLP)-based tool to enhance communication between patients and healthcare providers, offering rapid, accurate, and personalized responses. Utilizing a methodology that incorporates advanced NLP technologies, the chatbot was programmed to respond to queries related to symptoms, prevention, and management of viral diseases. The system's evaluation was conducted through the simulation of real-world scenarios, comparing the chatbot's responses with those of medical experts. The results indicate that the chatbot achieves a high similarity to expert responses, with an average cosine similarity of 0.913 and a mean Euclidean distance of 0.405, demonstrating the relevance and accuracy of the generated answers. Conclusively, the study shows that chatbots can play a vital role in telemedicine, facilitating quicker and more effective access to medical information and improving the management of patient care for viral diseases. This research highlights the importance of integrating NLP in digital health, underscoring the potential of chatbots to revolutionize healthcare by offering accessible and personalized solutions to current challenges in viral disease management within the biomedical field.

Keywords: Chatbot, Telecare, Viral diseases, Artificial Intelligence, Natural Language Processing



1. Introducción

La evolución de la salud digital, impulsada por avances tecnológicos significativos y la creciente demanda de soluciones innovadoras, ha situado a los chatbots en un lugar destacado dentro de este campo emergente. Estas herramientas, basadas en inteligencia artificial, emergen con el potencial de revolucionar las interacciones entre profesionales de la salud y pacientes, ofreciendo respuestas en tiempo real y soporte continuo. En particular, la pandemia de COVID-19 ha acelerado la adopción de tecnologías de salud digital, destacando la importancia de los chatbots en la diseminación de información, autoevaluación y diagnóstico, y conexión con centros de salud (Mahdavi et al., 2023). Además, la capacidad de los chatbots basados en IA para facilitar interacciones más efectivas y frecuentes con pacientes que sufren de enfermedades crónicas subraya su relevancia no solo en contextos pandémicos sino también en el manejo continuo de la salud (Schachner et al., 2020). Nuestra investigación se inspira en estos avances y se centra en el desarrollo de un chatbot eficiente, diseñado para brindar telecuidado y soporte en el diagnóstico de enfermedades virales, aprovechando técnicas avanzadas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) para ofrecer una solución innovadora a los desafíos de la atención precisa y efectiva en consultas relacionadas con enfermedades virales. Este enfoque se alinea con estudios recientes que han demostrado la aceptabilidad y el potencial de los agentes virtuales autónomos en el apoyo al autodiagnóstico de pacientes con condiciones a largo plazo, resaltando la importancia de la personalización y la aceptabilidad en el desarrollo de soluciones de telecuidado (Easton et al., 2019).

Los chatbots están redefiniendo la salud digital y la mHealth, mejorando el compromiso del paciente, la educación, el soporte, y ofreciendo intervenciones para diversas condiciones de salud. Su uso en el auto manejo, monitoreo remoto, y entrenamiento personalizado ha mostrado mejoras en la adherencia del paciente y reducción de reingresos hospitalarios, aunque enfrentan desafíos como la privacidad de datos y la necesidad de algoritmos avanzados de PLN (Chowdhury et al., 2023). La telemedicina, potenciada por IA, ha transformado las consultas presenciales en remotas, evidenciado por el desarrollo de Bots Conversacionales Multilingües que ofrecen educación sanitaria y asesoramiento, superando la brecha entre la demanda y oferta de atención médica (Bharti et al., 2020). La introducción de chatbots ha mejorado significativamente la accesibilidad y personalización en la atención médica, especialmente en salud mental y durante crisis como la pandemia de COVID-19, facilitando la continuidad de servicios médicos esenciales como se discute en (Koulaouzidis et al., 2020). Sin embargo según (Song et

al., 2021) se requiere atención a desafíos como la seguridad de datos y regulaciones legales para aprovechar plenamente su potencial en telemedicina.

Los chatbots han emergido como herramientas clave para mejorar el acceso a la información de salud y facilitar el diagnóstico de síntomas, demostrando ser especialmente valiosos durante la pandemia de COVID-19. (Vasileiou & Maglogiannis, 2022) destacan el desarrollo de un chatbot de salud que utiliza tecnología de procesamiento de lenguaje natural para analizar y clasificar los datos de entrada de texto libre y voz en síntomas, entrenando modelos de inteligencia artificial para predecir la probabilidad de que un paciente padezca una enfermedad específica con una precisión notable en casos de COVID-19 y enfermedades cardíacas. Este enfoque no solo mejora la interacción del paciente con el sistema de atención médica sino que también actúa como un agente virtual médico, ofreciendo evaluaciones médicas y facilitando citas con doctores. Además, estudios como el de (Branley-Bell et al., 2023) exploran el potencial de los chatbots médicos para proporcionar acceso oportuno a información de salud y fomentar la búsqueda de consultas iniciales para condiciones embarazosas o estigmatizantes, sugiriendo que los chatbots podrían alentar a los usuarios a buscar consejo médico de manera más temprana para síntomas sexuales embarazosos en comparación con otros tipos de síntomas. También estudios como (Khairat et al., 2023) proporcionan recomendaciones basadas en la experiencia de pacientes y proveedores para mejorar la experiencia de usuario en telemedicina, destacando la importancia de innovaciones que soporten la usabilidad y alivien la carga del médico, lo que sugiere caminos para una telemedicina más equitativa y efectiva. Estos avances subrayan la importancia de los chatbots en la telemedicina, no solo como herramientas de cribado y monitoreo sino también como facilitadores de un acceso más rápido y conveniente a la atención médica, abordando tanto condiciones comunes como aquellas percibidas como estigmatizantes o embarazosas por los pacientes.

La integración de chatbots en telemedicina, potenciada por la inteligencia artificial, ha marcado un hito en la mejora del acceso a la atención médica y la reducción de costos, especialmente evidente durante la pandemia de COVID-19. Estas herramientas no solo han facilitado el monitoreo de la salud y el autocuidado inicial, sino que también han demostrado ser cruciales en áreas como el cuidado paliativo, donde la comunicación y la intimidad son fundamentales. (Chen, 2020; Ritchey et al., 2020) destacan cómo los chatbots contribuyen a una atención más personalizada y eficiente, reflejando un interés creciente en su aplicación regulada. Además, la necesidad de minimizar el contacto físico ha impulsado la adopción de estas tecnologías, con estudios como

el de (Amjad et al., 2023) ,(Burrell, 2023) subrayando cómo la IA mejora la toma de decisiones clínicas y la necesidad de evaluaciones dinámicas para asegurar su eficacia y seguridad. Estos desarrollos resaltan el papel transformador de los chatbots y la IA en telemedicina, enfatizando la importancia de adaptar las prácticas de evaluación a las innovaciones tecnológicas en la atención médica.

Ante el panorama actual y con el propósito de avanzar en la telemedicina mediante la integración de tecnologías de inteligencia artificial, esta investigación se centra en desarrollar un chatbot avanzado para telemedicina, utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural. Este chatbot apunta a ofrecer respuestas precisas en salud, especialmente en telecuidado y manejo de enfermedades virales, buscando mejorar la interacción usuario-sistema y la calidad de la telemedicina. Los objetivos incluyen revisar la literatura sobre chatbots y PLN, diseñar una arquitectura eficiente que integre tecnologías y algoritmos de PLN, y desarrollar un prototipo funcional. La evaluación del chatbot se basará en una comparativa estadística para medir precisión y eficacia, identificando oportunidades de mejora. Este enfoque busca enriquecer la salud digital, demostrando cómo los chatbots pueden optimizarse para apoyar efectivamente a pacientes y profesionales, enfrentando los retos actuales de la salud.

2. Materiales y Métodos

En primera instancia, se realizó una investigación exploratoria mediante la revisión bibliográfica de estudios relacionados con la implementación de chatbots en telemedicina y procesamiento de lenguaje natural (PLN). Esto permitió identificar las

metodologías y arquitecturas más efectivas para el desarrollo de chatbots en el sector salud, con un enfoque especial en el manejo de enfermedades virales. La Tabla I presenta un resumen de las aplicaciones de chatbots y estudios en telemedicina revisados durante esta fase.

3. Diseño y Desarrollo del Prototipo

El diseño técnico del chatbot se centró en la arquitectura, el flujo de conversación y la integración con bases de datos médicas. La metodología de Generación Aumentada por Recuperación (RAG) se utilizó para combinar técnicas de recuperación de

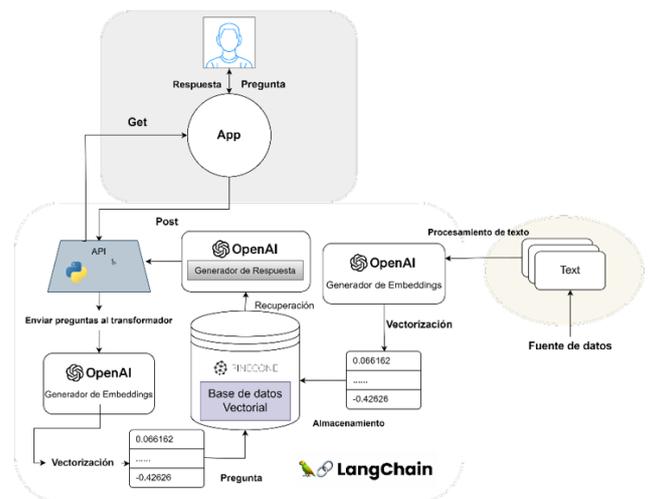


Figura 1. Arquitectura del Chatbot.
Fuente: Los autores

Tabla 1. Otros estudios de chatbot y su relación con este artículo.
Fuente: Los autores.

Descripción del Artículo	Área y enfoque en medicina	Aplicación en la atención sanitaria	Relación con este estudio
Sistema de Diálogo Inteligente para Soporte Remoto mediante Chatbots en Salud	Salud general, COVID-19 y enfermedades cardíacas	Emplea PNL para el cribado de síntomas y la predicción de enfermedades, actuando como un asistente médico virtual (Vasileiou & Maglogiannis, 2022).	Directa - Ilustra el potencial de la PNL en el diagnóstico y en la provisión de recomendaciones de cuidado.
Uso de Chatbots para Condiciones Estigmatizantes y Embarazosas	Salud mental y condiciones estigmatizantes	Ayuda a proporcionar información de salud y fomenta consultas médicas tempranas para condiciones sensibles (Branley-Bell et al., 2023).	Indirecta - Destaca el papel de los chatbots en facilitar el acceso al consejo médico para condiciones estigmatizantes.
Mejoras en la Experiencia del Usuario en Telemedicina: Estudio Cualitativo Multicéntrico	Atención primaria	Mejora la experiencia del usuario en telemedicina basándose en la retroalimentación de pacientes y proveedores (Khairat et al., 2023).	Indirecta - Destaca el papel de los chatbots en facilitar el acceso al consejo médico para condiciones estigmatizantes.
Innovación en Telemedicina mediante Inteligencia Artificial	Telemedicina general	Discute el papel de la IA en telehealth para el monitoreo de pacientes y ayuda diagnóstica (Amjad et al., 2023)	Indirecta - Proporciona contexto sobre el impacto de la IA en telecuidado relevante para el desarrollo de chatbots.
Evaluación Dinámica de Tecnologías de Telemedicina y Aplicaciones de IA	Cuidados paliativos	Integra telehealth y IA para cuidados paliativos, enfatizando la necesidad de evaluación (Burrell, 2023)	Indirecta - Subraya la importancia de evaluar tecnologías de telecuidado, pertinente para la evaluación de chatbots.
IA Conversacional para Mejorar la Administración y Prácticas en Salud	Administración de la atención sanitaria	Aborda los desafíos de la administración sanitaria mediante IA conversacional (Singh et al., 2023)	Indirecta - Demuestra la utilidad de la IA conversacional en la atención sanitaria, relevante para la mejora de la funcionalidad de los chatbots.

información y generación de contenido, permitiendo al chatbot ofrecer respuestas más precisas y contextualizadas. La figura 1 muestra el diagrama de la arquitectura del chatbot aplicando RAG sobre el framework LangChain.

El componente de recuperación se centra en la habilidad de buscar y encontrar información relevante a partir de una gran base de datos o conocimiento preexistente, utilizando técnicas avanzadas de PLN (Gao et al., 2023). Esta metodología permite a los chatbots responder a consultas específicas de los usuarios mediante la identificación y selección de la información más pertinente, sin generar contenido nuevo (Levonian et al., 2023). El componente generativo utiliza modelos de inteligencia artificial y PLN para crear respuestas nuevas y contextualmente ricas, facilitando interacciones más naturales y efectivas con los usuarios. Este enfoque se implementa mediante OpenAI Embeddings modelo 'text-embedding-ada-002' (OpenAI, 2024a) y LangChain, que orquesta la interacción entre los componentes de recuperación y generación de respuestas. La figura 2 ilustra el proceso operativo de Embeddings sobre el framework de LangChain.

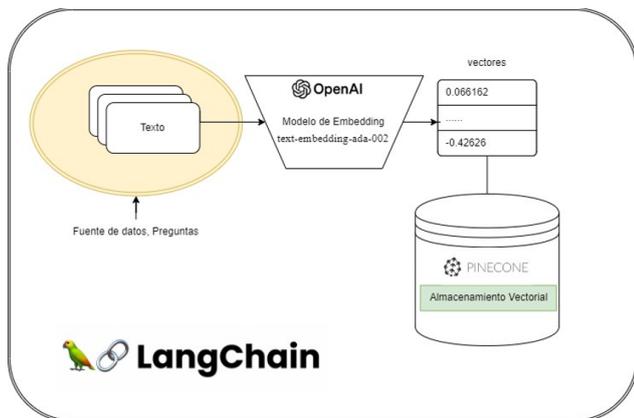


Figura 2. Proceso de Embeddings en el framework
Fuente: Los autores.

Se desarrolló una base de datos vectorial desde cero utilizando información relevante de organismos internacionales de salud como la OMS y OPS (García Saiso et al., 2021; Saigí-Rubió, 2023). Esta base de datos se almacenó en Pinecone, facilitando la gestión eficiente de Embeddings de texto y permitiendo búsquedas semánticas rápidas y precisas (Ver Anexo 1).

El desarrollo del modelo del chatbot se realizó utilizando LangChain y el modelo gpt-3.5-turbo-0125 de OpenAI (OpenAI, 2024b). Este modelo se integró con la base de datos vectorial para asegurar que el chatbot pudiera recuperar y generar respuestas de manera efectiva y contextualizada. Las pruebas iniciales se realizaron utilizando Insomnia (Insomnia, 2021) para asegurar la

funcionalidad del modelo y ajustar cualquier discrepancia.

Para la interfaz del servidor del chatbot, se optó por Flask (Flask, 2024), un microframework de Python que facilita la creación de aplicaciones web y la gestión de solicitudes de origen cruzado mediante Flask-CORS. Esto asegura que el chatbot pueda ser fácilmente integrado en diversas plataformas y aplicaciones web, mejorando su accesibilidad y usabilidad.

La interfaz de usuario del chatbot fue desarrollada utilizando Angular (Angular, 2024), un framework de desarrollo web moderno y potente. Esta elección se basó en la necesidad de ofrecer a los usuarios una experiencia fluida y sin complicaciones, permitiéndoles interactuar con el chatbot de manera eficiente y agradable. La interfaz de usuario está diseñada para ser minimalista, centrándose en la funcionalidad esencial sin sobrecargar al usuario con opciones innecesarias. La figura 3 muestra la interfaz del chatbot.

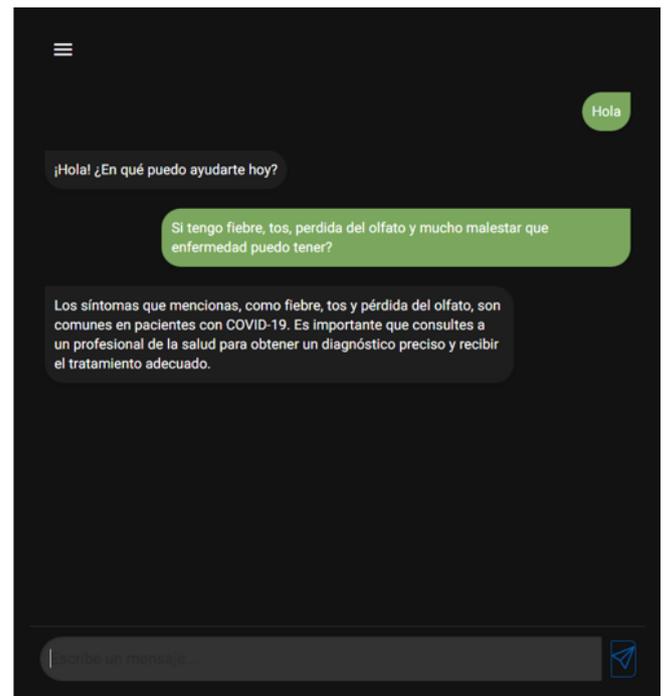


Figura 3. Interfaz de la aplicación del chatbot
Fuente: Los autores.

Finalmente, se procedió con el hosting del modelo y la aplicación. El modelo del chatbot fue alojado en un servidor utilizando Flask, asegurando su disponibilidad y rendimiento. La aplicación web desarrollada con Angular fue alojada en Firebase (Google, 2022), proporcionando una plataforma estable y escalable para la interacción del usuario con el chatbot.

Para evaluar el rendimiento del chatbot, se implementó un enfoque sistemático basado en la generación de embeddings y el uso de métricas de similitud. Se seleccionó un conjunto de preguntas relevantes relacionadas con enfermedades virales, basadas en literatura existente y consultas frecuentes en el ámbito clínico. Para cada pregunta, se obtuvo una respuesta precisa y detallada de un experto en el tema, siguiendo las mejores prácticas de consulta médica y referencias académicas actuales. Las mismas preguntas fueron introducidas al chatbot para generar sus respectivas respuestas, evaluando la coherencia y la precisión de estas en comparación con las de los expertos.

Se utilizó la API de OpenAI y el modelo 'text-embedding-ada-002' para generar embeddings de las respuestas tanto del experto como del chatbot. Los embeddings permiten una representación numérica de los textos que facilita el análisis cuantitativo y la comparación de similitudes. La similitud entre los vectores de embeddings se calculó usando la función de similitud por coseno, que calcula el coseno del ángulo formado entre dos vectores en un espacio de múltiples dimensiones. Esta medida es útil para evaluar la similitud semántica entre textos. También se midió la distancia entre los vectores de embeddings usando la función de distancia euclidiana, que calcula la longitud del segmento de línea recta entre dos puntos en un espacio euclidiano.

Los valores de similitud y distancia obtenidos se clasificaron en categorías específicas para facilitar la interpretación de los resultados. Se definieron umbrales específicos para determinar cuándo una respuesta del chatbot se considera similar a la del experto. Las medidas de similitud por coseno y distancia euclidiana se utilizaron para interpretar y evaluar la precisión del chatbot, considerando que valores de similitud por coseno cercanos a 1 y valores de distancia euclidiana cercanos a 0 indicaban una alta similitud y precisión en las respuestas del chatbot. Para refinar aún más la metodología de evaluación, se introdujeron cuartiles para clasificar los puntajes de similitud y distancia, permitiendo un análisis más matizado del rendimiento del chatbot en diferentes niveles de similitud y distancia.

3. Resultados y Discusión

La evaluación del chatbot especializado en enfermedades virales se llevó a cabo utilizando el proceso descrito anteriormente. En total, se realizaron 100 preguntas simulando casos reales que podrían ser consultados por pacientes. Estas preguntas fueron respondidas tanto por un experto en salud como por el chatbot, y las respuestas del chatbot fueron comparadas con las del experto utilizando técnicas de similitud por coseno y distancia euclidiana. Todo el proceso fue realizado manualmente para asegurar la precisión y exactitud en la evaluación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos y su interpretación.

El análisis de los cuartiles de similitudes de coseno y distancias euclidianas es una metodología ampliamente utilizada en la

literatura científica para evaluar la similitud entre vectores de datos. Estudios como los de (Mukherjee & Sonal, 2023; Yamaguchi et al., 2007) han demostrado la aplicabilidad de estas métricas en diversos contextos, desde la toma de decisiones hasta la recuperación de información. Siguiendo este enfoque, se procedió a analizar la distribución de los datos utilizando cuartiles, los cuales dividen los datos en cuatro partes iguales, como se muestra en las Tablas 2 y 3, permitiendo una interpretación más clara de la dispersión y centralización de los valores.

Tabla 2. Rango de cuartiles en similitud por coseno.
Fuente: Los autores.

Cuartil	Rango
Q1 (baja Similitud)	(0.8342, 0.8771)
Q2/Q3 (Similitud Moderada - Baja)	(0.8771, 0.91105)
Q3/Q4 (Similitud Moderada - Alta)	(0.91105, 0.94615)
Q4 (Alta Similitud)	(0.94615, 0.9941)

Q1 (baja Similitud): Este rango representa el primer cuartil, donde el 25% de las respuestas tienen una similitud de coseno entre 0.8342 y 0.8771. Estos valores se consideran bajos, indicando menor similitud con las respuestas del experto. Q2/Q3 (Similitud Moderada - Baja): En este rango, que cubre del segundo al tercer cuartil, el 50% de las respuestas tienen una similitud entre 0.8771 y 0.91105. Estos valores son moderados y representan una similitud aceptable. Q3/Q4 (Similitud Moderada - Alta): Este rango incluye el tercer cuartil y parte del cuarto, con valores entre 0.91105 y 0.94615. Estas respuestas son altamente similares a las del experto. Q4 (Alta Similitud): El último cuartil contiene las respuestas con mayor similitud, entre 0.94615 y 0.9941. Estos valores indican una similitud muy alta, sugiriendo que las respuestas del chatbot son casi idénticas a las del experto.

Tabla 2. Rango de cuartiles en distancia euclidiana.
Fuente: Los autores.

Cuartil	Rango
Q1 (Alta Similitud)	(0.1084, 0.328075)
Q2/Q3 (Similitud Moderada - Alta)	(0.328075, 0.42185)
Q3/Q4 (Similitud Moderada - Baja)	(0.42185, 0.495725)
Q4 (Baja Similitud)	(0.495725, 0.5759)

Q1 (Alta Similitud): En este caso, el primer cuartil representa los valores de distancia euclidiana más bajos, entre 0.1084 y 0.328075. Una distancia euclidiana baja indica una mayor similitud, lo que



significa que estas respuestas del chatbot están muy cerca de las respuestas del experto. Q2/Q3 (Similitud Moderada - Alta): En este rango intermedio, la distancia euclidiana varía entre 0.328075 y 0.42185, sugiriendo similitudes moderadas. Q3/Q4 (Similitud Moderada - Baja): Este rango incluye valores de distancia entre 0.42185 y 0.495725, indicando una similitud menor. Q4 (Baja Similitud) El último cuartil contiene las distancias euclidianas más altas, entre 0.495725 y 0.5759. Estos valores indican una similitud muy baja, sugiriendo que las respuestas del chatbot difieren significativamente de las respuestas del experto.

Los gráficos de caja y bigotes (boxplots) ilustran la distribución de los valores de similitud de coseno y distancia euclidiana, mostrando los rangos de los cuartiles y destacando la mediana y los valores atípicos.

En la Figura 4, el boxplot de similitud de coseno muestra que la mayoría de los valores están en los cuartiles Q2/Q3 y Q3/Q4, indicando que las respuestas del chatbot son generalmente bastante similares a las del experto. La mediana está en el rango moderado-alto, sugiriendo que la similitud típica es alta.

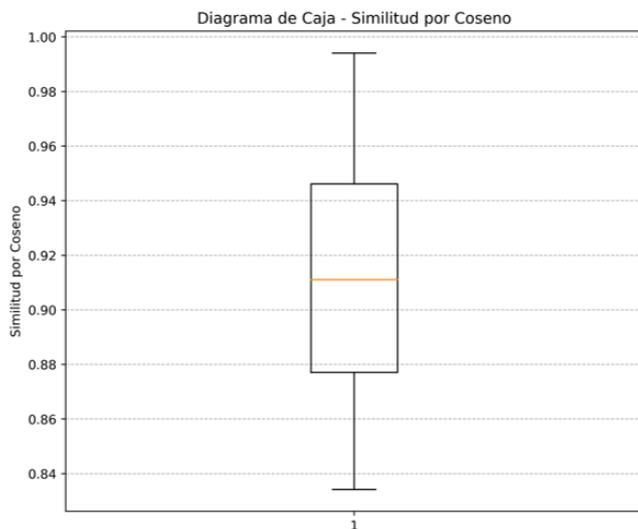


Figura 4. Diagrama de caja similitud por coseno.
Fuente: Los autores.

En la Figura 5, el boxplot de similitud de distancia euclidiana muestra que la mayoría de los valores están en los cuartiles Q1 y Q2/Q3, indicando que las respuestas del chatbot están generalmente muy cerca de las respuestas del experto. La mediana está en el rango bajo-moderado, sugiriendo una alta similitud en términos de distancia euclidiana.

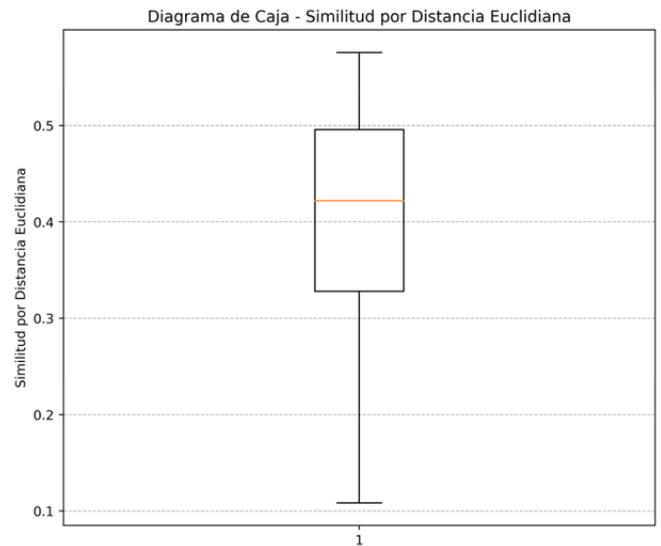


Figura 5. Diagrama de caja distancia euclidiana.
Fuente: Los autores.

La similitud promedio de coseno fue de 0.913. Este valor promedio indica que las respuestas del chatbot son “Similitud Moderada - Alta” a las del experto, sugiriendo un alto grado de precisión en la mayoría de los casos. Esta alta similitud implica que el chatbot puede ser una herramienta útil y confiable para proporcionar información sobre enfermedades virales.

La distancia euclidiana promedio fue de 0.405. Un valor promedio de 0.405 indica que las respuestas del chatbot son “Similitud Moderada - Alta” a las respuestas del experto, con una proximidad considerablemente alta. Esto sugiere que, en términos de contenido, las respuestas del chatbot están muy cerca de las proporcionadas por los expertos.

La mayoría de los valores de similitud de coseno oscilaron entre 0.9 y 1.0, indicando que en la mayoría de los casos, las respuestas del chatbot son muy similares a las respuestas del experto. Esta consistencia es crucial para aplicaciones en el campo de la salud, donde la precisión de la información es esencial para el bienestar del paciente.

La mayoría de los valores de distancia euclidiana oscilaron entre 0.2 y 0.4, sugiriendo que las respuestas del chatbot están generalmente muy cerca de las respuestas del experto en términos de contenido. La distancia euclidiana refuerza la confianza en el chatbot como una herramienta viable para consultas médicas iniciales.

En general, el chatbot demostró un rendimiento sólido con un alto grado de similitud en la mayoría de las preguntas. Esta capacidad es fundamental para su implementación en entornos clínicos y de salud pública. La alta similitud de coseno y la baja

distancia euclidiana en muchos casos sugieren que el chatbot proporciona respuestas precisas y relevantes. Esta precisión es esencial para mantener la confianza del usuario y asegurar la utilidad del chatbot en aplicaciones de salud.

Sin embargo, las preguntas que requieren respuestas detalladas sobre síntomas específicos mostraron una menor similitud. Mejorar la capacidad del chatbot para manejar estas preguntas puede aumentar su precisión. Integrar más datos clínicos y ajustar los algoritmos de procesamiento de lenguaje natural podrían abordar estas deficiencias.

Es crucial especificar detalladamente los síntomas en las preguntas para obtener respuestas más precisas. Entrenar al chatbot con datos adicionales sobre síntomas y mejorar su capacidad para entender contextos más complejos podrían ser enfoques efectivos para mejorar su rendimiento.

Los resultados obtenidos han demostrado que el chatbot es una herramienta prometedora para mejorar la interacción y el acceso a información médica verificada en el ámbito de la telemedicina. Con ajustes y mejoras continuas, puede convertirse en una solución eficaz para la atención médica digital no supervisada.

Consideraciones sobre Seguridad y Protección de Datos

La seguridad y protección de los datos médicos es una prioridad fundamental en cualquier sistema de salud digital. En el desarrollo del chatbot especializado en enfermedades virales, se ha asegurado que todas las comunicaciones entre el usuario y el chatbot estén cifradas, utilizando APIs que protegen los mensajes transmitidos contra accesos no autorizados. Es importante destacar que este chatbot no almacena las conversaciones ni genera historiales de chat. Además, no se solicita ni se almacena información personal identificable de los pacientes, como nombres u otros datos sensibles.

Esta implementación asegura que la interacción del usuario con el chatbot sea segura y que la privacidad del paciente esté protegida en todo momento. Aunque no es el enfoque principal de este estudio, estas medidas subrayan el compromiso con la confidencialidad y seguridad en el uso de tecnologías de salud digital.

4. Conclusiones

Este estudio demuestra que el chatbot especializado en enfermedades virales puede ser una herramienta efectiva y confiable para mejorar el acceso a información médica precisa y verificada en el ámbito de la telemedicina. La evaluación basada en similitudes de coseno y distancias euclidianas revela que el chatbot ofrece respuestas altamente similares a las proporcionadas por expertos, con una similitud promedio de coseno de 0.913 y una distancia euclidiana promedio de 0.405. Estos resultados subrayan la precisión y relevancia de las respuestas del chatbot, destacando su potencial para ser utilizado en consultas médicas iniciales y como apoyo en la toma de decisiones clínicas.

El análisis detallado de los cuartiles muestra que la mayoría de las respuestas del chatbot se encuentran en rangos de similitud alta y muy alta, lo que refuerza su utilidad en el campo de la salud. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, especialmente en la capacidad del chatbot para manejar preguntas que requieren respuestas detalladas sobre síntomas específicos. La integración de más datos clínicos y el ajuste de los algoritmos de procesamiento de lenguaje natural podrían aumentar aún más la precisión y efectividad del chatbot.

Es importante destacar que el desarrollo e implementación de chatbots como este no pretenden sustituir el trabajo del médico. En lugar de ello, estos sistemas están diseñados para servir como herramientas de apoyo que ofrecen ventajas significativas, como la capacidad de atender a un mayor número de pacientes y permitir a los médicos centrarse en casos más serios o específicos que requieren atención directa. De este modo, los chatbots pueden mejorar la eficiencia en la atención médica, facilitando una relación más efectiva entre el médico y el paciente.

En general, este estudio valida la eficacia del chatbot en el contexto de la telemedicina y sugiere que, con mejoras continuas, puede desempeñar un papel crucial en la atención médica digital. Las implicaciones para futuras investigaciones incluyen la exploración de técnicas avanzadas de procesamiento de lenguaje natural y el uso de datos clínicos más extensos para refinar aún más las capacidades del chatbot. Además, se recomienda evaluar el impacto del chatbot en diferentes entornos clínicos y su aceptación por parte de los profesionales de la salud y los pacientes, lo que contribuirá a su desarrollo y adopción generalizados.

Contribución de los autores

Alejandro Josafat Rodríguez Vargas: Administración del proyecto, Metodología, Investigación, Redacción Conceptualización, Software, Redacción- borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo. **Sandra Verónica Falconí Peláez:** Curación de datos, Investigación, Supervisión, Validación Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo. **Bertha Eugenia Mazón Olivo:** Investigación, Metodología, Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo. **Eduardo Alejandro Tusa Jumbo:** Investigación, supervisión, Redacción – borrador original del artículo, Revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Anexos

A.1 Uso de Pinecone para el Almacenamiento y Recuperación de Datos en el Chatbot



ID	VALUES	SCORE	METADATA
1 a0a63062-3...	-0.0264511909, 0.00731144706, 0.00721396087, -0.0234096274, -0.00502377655, 0.0301036648, -0.0215508956, 0.0132840862, -0.027400054, -0...	-0.0316	source: "/content/Data/Enfermedadesp1.txt" text: "Dengue\nSintomas:\nEl dengue se presenta con fiebre alta acompañada de cefalea, mialgias y artralgias intensas. Los pacientes pueden experimentar dolor abdominal, hipovolemia y divers...
2 4e5d1d2d-1e...	-0.0177685414, -0.00649187248, 0.017058298, -0.0435865074, 0.00031657223, 0.012092826, -0.0295810066, -0.000105329382, -0.0213820599, 0...	-0.0343	text: "Los síntomas más comunes de la COVID-19 son los siguientes: fiebre, escalofríos, dolor de garganta. Otros síntomas que son menos comunes y pueden afectar a algunos pacientes incluyen: ...
3 5cdab979-f6...	0.00995329116, 0.00958028808, 0.0191998389, -0.0258222781, 0.006648615, 0.0349444933, -0.00747969188, -0.0095148487, 0.0104375407, -0.0...	-0.0360	text: "Aprenda cómo prevenir caídas. Retire los cables o alambres sueltos de áreas por donde pasa para ir de un cuarto a otro. Retire las alfombras sueltas. No tenga mascotas pequeñas en su ca...
4 1c3bf44c-3d...	-0.00043384108, -0.0178311486, 0.0283555016, -0.0251251273, 0.000218723202, 0.0227536224, -0.0260609109, 0.00136762089, -0.0273812618, ...	-0.0361	source: "/content/Data/Enfermedadesp1.txt" text: "(Síndrome Respiratorio Agudo Severo)\nSintomas:\nEl SARS se manifiesta con fiebre alta (> 38°C), tos, dificultad respiratoria, vómito o diarrea persistentes y trastornos del estado de conci...

Este modelo no sigue un proceso de entrenamiento convencional basado en un conjunto predefinido de preguntas y respuestas. En su lugar, el chatbot utiliza una base de datos vectorial alojada en Pinecone, la cual contiene representaciones de texto en forma de vectores.

Proceso de Funcionamiento:

- Base de Datos Vectorial:** Pinecone almacena los vectores generados a partir de textos médicos y respuestas de expertos.
- Recuperación de Información:** Cuando el chatbot recibe una consulta, convierte la pregunta en un vector utilizando modelos de embeddings (por ejemplo, 'text-embedding-ada-002' de OpenAI).
- Comparación y Selección:** El vector de la consulta es comparado con los vectores almacenados en Pinecone para identificar las respuestas más relevantes.
- Generación de Respuesta:** Finalmente, el chatbot genera una respuesta basándose en la información recuperada, ajustada al contexto de la pregunta.

Este enfoque permite al chatbot responder con precisión sin necesidad de un entrenamiento constante, ya que la base de datos vectorial está continuamente disponible para la recuperación de información.

Ejemplos de Consultas:

Aunque el modelo no se entrena con preguntas específicas, a continuación se presentan ejemplos de cómo se formulan las consultas y cómo se generan las respuestas utilizando la base de datos vectorial:

- **Consulta del Usuario:** "¿Qué es el virus del papiloma humano (VPH)?"
- **Proceso de Recuperación:** El modelo convierte la consulta en un vector y la compara con los vectores en Pinecone.
- **Respuesta del Chatbot:** "El VPH es un grupo de virus que puede causar verrugas y está asociado con varios tipos de cáncer, incluido el cáncer cervical."

Este proceso se repite para cada consulta, utilizando la información almacenada para generar respuestas precisas y contextualizadas.

Referencias bibliográficas

- Amjad, A., Kordel, P., & Fernandes, G. (2023). A Review on Innovation in Healthcare Sector (Telehealth) through Artificial Intelligence. *Sustainability*, 15(8), 6655. <https://doi.org/10.3390/su15086655>
- Angular. (2024). Angular - Official Documentation. Angular. <https://angular.io/>
- Bharti, U., Bajaj, D., Batra, H., Lalit, S., Lalit, S., & Gangwani, A. (2020). Medbot: Conversational Artificial Intelligence Powered Chatbot for Delivering Tele-Health after COVID-19. 2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), 870–875. <https://doi.org/10.1109/ICCES48766.2020.9137944>
- Branley-Bell, D., Brown, R., Coventry, L., & Sillence, E. (2023). Chatbots for embarrassing and stigmatizing conditions: could chatbots encourage users to seek medical advice? *Frontiers in Communication*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2023.1275127>
- Burrell, D. N. (2023). Dynamic Evaluation Approaches to Telehealth Technologies and Artificial Intelligence (AI) Telemedicine Applications in Healthcare and Biotechnology Organizations. *Merits*, 3(4), 700–721. <https://doi.org/10.3390/merits3040042>
- Chen, E. T. (2020). Improving Patient Care With Telemedicine Technology (pp. 1–18). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0047-7.ch001>
- Chowdhury, M. N.-U.-R., Haque, A., & Soliman, H. (2023). Chatbots: A Game Changer in mHealth. 2023 Sixth International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), 362–366. <https://doi.org/10.1109/IS3C57901.2023.00103>
- Easton, K., Potter, S., Bec, R., Bennion, M., Christensen, H., Grindell, C., Mirheidari, B., Weich, S., de Witte, L., Wolstenholme, D., & Hawley, M. S. (2019). A Virtual Agent to Support Individuals Living With Physical and Mental Comorbidities: Co-Design and Acceptability Testing. *Journal of Medical Internet Research*, 21(5), e12996. <https://doi.org/10.2196/12996>
- Flask. (2024). Welcome to Flask — Flask Documentation (3.0.x). <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>
- Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Guo, Q., Wang, M., & Wang, H. (2023). Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10997>
- García Saiso, S., Martí, M. C., Malek Pascha, V., Pacheco, A., Luna, D., Plazzotta, F., Nelson, J., Tejerina, L., Bagolle, A., Savignano, M. C., Baum, A., Orefice, P. J., Haddad, A. E., Messina, L. A., Lopes, P., Rubió, F. S., Oztzyo, D., Curioso, W. H., Luna, A., ... D'Agostino, M. (2021). Barreras y facilitadores a la implementación de la telemedicina en las Américas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.131>
- Google. (2022). Firebase. <https://firebase.google.com/?hl=es-419>
- Insomnia. (2021). Insomnia Docs. <https://docs.insomnia.rest/>
- Khairat, S., Chourasia, P., Muellers, K. A., Andreadis, K., Lin, J. J., & Ancker, J. S. (2023). Patient and Provider Recommendations for Improved Telemedicine User Experience in Primary Care: A Multi-Center Qualitative Study. *Telemedicine Reports*, 4(1), 21–29. <https://doi.org/10.1089/tmr.2023.0002>
- Koulaouzidis, G., Charisopoulou, D., Wojakowski, W., Koulaouzidis, A., Marlicz, W., & Jadczyk, T. (2020). Telemedicine in cardiology in the time of coronavirus disease 2019: a friend that everybody needs. *Polish Archives of Internal Medicine*. <https://doi.org/10.20452/pamw.15432>
- Levonian, Z., Li, C., Zhu, W., Gade, A., Henkel, O., Postle, M.-E., & Xing, W. (2023). Retrieval-augmented Generation to Improve Math Question-Answering: Trade-offs Between Groundedness and Human Preference. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.03184>
- Mahdavi, A., Amanzadeh, M., Hamedan, M., & Naemi, R. (2023). Artificial Intelligence-Based Chatbots to Combat COVID-19 Pandemic: A Scoping Review. *Shiraz E-Medical Journal*, 24(11). <https://doi.org/10.5812/semj-139627>
- Mukherjee, S., & Sonal, R. (2023). A reconciliation between cosine similarity and Euclidean distance in individual decision-making problems. *Indian Economic Review*, 58(2), 427–431. <https://doi.org/10.1007/s41775-023-00206-8>
- OpenAI. (2024a). OpenAI Embeddings. 2024. <https://platform.openai.com/docs/guides/embeddings>
- OpenAI. (2024b). OpenAI Text Generation Models. 2024. <https://platform.openai.com/docs/guides/text-generation>
- Ritchey, K. C., Foy, A., McArdel, E., & Gruenewald, D. A. (2020). Reinventing Palliative Care Delivery in the Era of COVID-19: How Telemedicine Can Support End of Life Care. *American Journal of Hospice and Palliative Medicine®*, 37(11), 992–997. <https://doi.org/10.1177/1049909120948235>
- Saigí-Rubió, F. (2023). Promoting telemedicine in Latin America in light of COVID-19. *Revista Panamericana*



- de Salud Pública, 47, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.17>
- Schachner, T., Keller, R., & v Wangenheim, F. (2020). Artificial Intelligence-Based Conversational Agents for Chronic Conditions: Systematic Literature Review. *Journal of Medical Internet Research*, 22(9), e20701. <https://doi.org/10.2196/20701>
- Singh, A., Joshi, S., & Domb, M. (2023). Embedded Conversational AI, Chatbots, and NLP to Improve Healthcare Administration and Practices. 2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS), 38–45. <https://doi.org/10.1109/ICACRS58579.2023.10404985>
- Song, Y., Bernard, L., Jorgensen, C., Dusfour, G., & Pers, Y.-M. (2021). The Challenges of Telemedicine in Rheumatology. *Frontiers in Medicine*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.746219>
- Vasileiou, M. V., & Maglogiannis, I. G. (2022). The Health ChatBots in Telemedicine: Intelligent Dialog System for Remote Support. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/4876512>
- Yamaguchi, D., Li, G.-D., & Nagai, M. (2007). A grey-based rough approximation model for interval data processing. *Information Sciences*, 177(21), 4727–4744. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.05.022>



Mejores Prácticas en la Implementación del Edge Computing: Un Enfoque Basado en Casos de Éxito

Best Practices in the Implementation of Edge Computing: A Case Study Approach

Autores

- ✉ **Anderson Ivan Asanza Honores*
- ✉ *Darwin Geovanny Chuchuca Vacacela*
- ✉ *Mariuxi Paola Zea Ordoñez*
- ✉ *Tania Yesminia Contreras Alonso*

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad
Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

* Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Asanza Honores, A.I., Chuchuca Vacacela, D.G., Zea Ordoñez, M.P. & Contreras Alonso, T.Y. (2024). Mejores Prácticas en la Implementación del Edge Computing: Un Enfoque Basado en Casos de Éxito. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(1), pp. 70–85. DOI: <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i1.6879>

Enviado: 01/08/2024
Aceptado: 25/09/2024
Publicado: 30/09/2024

Resumen

iD El Edge Computing ha emergido como una tecnología clave para transformar diversos sectores industriales, ofreciendo capacidades avanzadas de procesamiento y almacenamiento de datos cerca del punto de generación. Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura sobre la implementación de esta tecnología en videovigilancia, agricultura y atención médica, con el objetivo de identificar mejores prácticas a partir de casos de éxito utilizando la metodología PRISMA. Se analizaron 42 estudios publicados entre 2020 y 2024, evaluando aspectos como seguridad, interoperabilidad, eficiencia operativa y escalabilidad. Los resultados revelan un alto cumplimiento en eficiencia operativa, requisitos específicos del negocio y rendimiento de puntos finales. Sin embargo, se identificaron desafíos en seguridad, resiliencia e integración de middleware. Basados en estos hallazgos, se propone un conjunto de mejores prácticas que abordan estos aspectos críticos, incluyendo adaptabilidad e intercambio de datos. Esta propuesta busca proporcionar un marco de referencia para la implementación potencial en sectores clave, ayudando a las organizaciones a optimizar sus procesos y aprovechar los beneficios de esta innovación de manera más efectiva.

Palabras clave: Edge Computing; mejores prácticas; videovigilancia; agricultura; atención médica.

Abstract

Edge computing has emerged as a key technology for transforming various industrial sectors, offering advanced data processing and storage capabilities near the point of generation. This study presents a systematic literature review on the implementation of this technology in video surveillance, agriculture, and healthcare, aiming to identify best practices from success cases using the PRISMA methodology. We analyzed 42 studies published between 2020 and 2024, evaluating aspects such as security, interoperability, operational efficiency, and scalability. The results reveal high compliance in operational efficiency, specific business requirements, and endpoint performance. However, challenges were identified in security, resilience, and middleware integration. Based on these findings, we propose a comprehensive set of best practices addressing these critical aspects, including adaptability and data exchange. This proposal seeks to provide a reference framework for potential implementation in key sectors, helping organizations optimize their processes and leverage the benefits of this innovation more effectively. The study contributes to the growing body of knowledge on edge computing applications across diverse industries.

Keywords: Edge Computing; best practices; video surveillance; agriculture; healthcare.





1. Introducción

El Edge Computing emerge como un paradigma transformador en diversos sectores (Zhang et al., 2021), permitiendo el procesamiento y almacenamiento de datos cerca del punto de generación. Esta investigación se centra en su aplicación en videovigilancia, agricultura y atención médica, áreas seleccionadas por su impacto en seguridad, producción alimentaria y salud. Este enfoque promete abordar desafíos específicos en estos campos, como latencia, seguridad y eficiencia en la gestión de datos en tiempo real.

Diversos estudios han realizado revisiones sistemáticas sobre el impacto transformador del Edge Computing en distintos sectores. Por ejemplo, en su revisión sobre procesamiento de datos en tiempo real y análisis, (Oluwole Temidayo Modupe et al., 2024) destacan que “Edge Computing ha revolucionado la forma en que las organizaciones manejan los datos en tiempo real, habilitando la toma de decisiones autónoma y análisis predictivos al procesar los datos en el punto de generación”. Esta revisión proporciona una visión integral sobre cómo la computación en el borde facilita la optimización operativa, mejora la seguridad y promueve la creación de valor en sectores como la atención médica, la manufactura y las ciudades inteligentes (Oluwole Temidayo Modupe et al., 2024).

En el ámbito de la atención médica, la importancia de este paradigma computacional ha sido objeto de extenso debate académico. Chen et al. (2021) menciona en su investigación que el uso de este paradigma puede reducir los retrasos en la transmisión de datos, mejorar la seguridad al evitar la transferencia de datos sensibles a través de largas distancias y optimizar el uso de los recursos computacionales distribuidos. Esto es particularmente importante en aplicaciones de telemedicina, donde la toma de decisiones en tiempo real es crucial. Asimismo, la privacidad y la seguridad de los datos se consideran aspectos críticos en los sistemas basados en Edge Computing. Según (Alzu'bi et al., 2024), quienes realizaron una revisión sistemática sobre la privacidad y seguridad en sistemas de salud inteligentes basados en Edge Computing, “el crecimiento de modelos de computación en la nube, IoT y Edge Computing presenta preocupaciones severas sobre la privacidad de los datos, especialmente en el sector salud”. Los autores subrayan que aún se carece de soluciones de privacidad adecuadas para el sector, destacando la necesidad de nuevas investigaciones que aborden estos desafíos. Esta revisión identifica estrategias comunes para preservar la privacidad en las aplicaciones de salud basadas en Edge, proporcionando valiosas perspectivas para futuras investigaciones.

La aplicación de este enfoque de procesamiento de datos

resulta igualmente crucial en la agricultura. En este sector, el aprendizaje federado emerge como una técnica clave. Según Abreha et al. (2022), esta metodología “se desarrolló para abordar problemas de privacidad, costos de comunicación y legalización”. Permitiendo entrenar modelos en dispositivos finales sin compartir datos locales, lo cual es especialmente relevante en el contexto agrícola, donde la protección de información sensible y la optimización de costos de comunicación son primordiales.

La videovigilancia se beneficia enormemente de esta tecnología, que facilita el procesamiento y análisis de video en tiempo real en proximidad a los puntos de captura. (Bai et al., 2020) demostraron que los sistemas de computación en el borde pueden reducir sustancialmente el tiempo de procesamiento computacional, lo cual mejora la capacidad de respuesta ante eventos críticos. Debido a la capacidad de procesamiento en el borde de la tecnología de computación en la niebla, tiene varias funcionalidades en aplicaciones inteligentes, como el sistema de atención médica inteligente como lo menciona (Alwakeel, 2021). Esta misma capacidad de procesamiento en el borde puede aplicarse en sistemas de videovigilancia para detectar y responder rápidamente a incidentes de seguridad.

Con esto, se evidencia que existe una base significativa de estudios que revisan los impactos y beneficios generales de la computación en el borde. Sin embargo, ante la ausencia de una guía integral de mejores prácticas para la implementación del Edge Computing, esta investigación busca desarrollarlas para videovigilancia, agricultura y atención médica. Mediante una revisión sistemática de literatura basada en la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), se analizarán implementaciones existentes y proyectos piloto, utilizando las normas ISO/IEC 30161-1:2020, 30141:2018 y 21823-2:2020 relevantes como marco de referencia. Se evaluarán aspectos como seguridad, interoperabilidad, eficiencia operativa, rendimiento de los puntos finales, intercambio de datos, cumplimiento de requisitos específicos del negocio, adaptabilidad, escalabilidad, resiliencia e integración de middleware. El objetivo de este trabajo investigativo es proporcionar una propuesta que facilite la adopción y el escalamiento del Edge Computing en estas áreas críticas, abordando desafíos actuales y aprovechando su potencial transformador.

2. Materiales y Métodos

2.1 Palabras Clave y Cadenas de Búsqueda

Esta revisión sistemática de literatura se centra en tres preguntas de investigación (research question) sobre la implementación de

Edge Computing en agricultura, salud y videovigilancia:

• RQ1: ¿Cuáles son las principales barreras tecnológicas para la adopción de Edge Computing en los sectores agrícolas? Esta pregunta busca identificar y analizar las barreras tecnológicas que dificultan la adopción de Edge Computing en este sector. Comprender estas barreras es crucial para desarrollar estrategias efectivas que permitan superar los desafíos y promover la implementación de Edge Computing, mejorando así la eficiencia y competitividad en los sectores agrícolas mediante soluciones tecnológicas.

• RQ2: ¿Qué mejores prácticas pueden maximizar la seguridad en la implementación de Edge Computing en el sector salud? La finalidad de esta pregunta es investigar y definir mejores prácticas que puedan maximizar la seguridad en la implementación de Edge Computing en el sector salud. Dada la sensibilidad de los datos en este sector, es crucial garantizar la seguridad y privacidad de la información.

• RQ3: ¿Cómo puede la implementación de Edge Computing mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de seguridad basados en cámaras de vigilancia? Esta pregunta se centra en explorar cómo la implementación de Edge Computing puede mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de seguridad que utilizan cámaras de vigilancia. El objetivo es demostrar que la computación en el borde puede procesar datos de video en tiempo real, reduciendo la latencia y mejorando la capacidad de respuesta ante incidentes de seguridad.

Se crearon cadenas de búsqueda con palabras clave y operadores booleanos para abordar las preguntas de investigación.

• Para RQ1: (Adoption OR Implementation) AND (Edge Computing) AND (Agriculture).

• Para RQ2: (Integration) AND (Edge Computing) AND (Health).

• Para RQ3: (Operational efficiency) AND (Adoption OR Implementation) AND (Edge Computing) AND (Video surveillance).

Estas combinaciones permiten una búsqueda focalizada en bases de datos, facilitando la identificación de estudios pertinentes para cada sector y temática, y contribuyendo a una revisión sistemática robusta. El uso de preguntas de investigación específicas para guiar una revisión sistemática es una práctica común y efectiva en la literatura científica. Por ejemplo, los autores (Baktayan et al., 2024) llevaron a cabo una revisión sistemática sobre computación de borde habilitada por UAV (Unmanned Aerial Vehicles, Vehículos Aéreos No Tripulados) con el objetivo de explorar y categorizar la investigación existente en este campo emergente. Su estudio se justifica por la necesidad de comprender mejor las tendencias de investigación, los escenarios de uso, las arquitecturas propuestas, las técnicas exploradas y los desafíos abiertos en la integración de UAV y computación de borde. En su trabajo, utilizaron siete preguntas de investigación clave para estructurar su análisis, lo que les permitió proporcionar una visión comprehensiva y detallada del estado del arte y las áreas que requieren más atención en futuras investigaciones.

2.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

Para delimitar el alcance de esta revisión sistemática, se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Tabla 1. Criterios de Inclusión y Exclusión.

Criterios	Inclusión	Exclusión
Tipo de documento	Artículos	Tesis
Año de publicación	Últimos cuatro años (2020-2024)	Antes de 2020
Tema relacionado con Edge Computing	Sí	No
Enfoque en sectores específicos	Sí (agricultura, salud, seguridad en videovigilancia)	No
Artículos escritos en idioma accesible	Español, inglés	Otros idiomas
Acceso gratuito	Sí	No

Fuente: Los autores.

2.3 Bases de Datos Utilizadas

Para la búsqueda de artículos sobre las mejores prácticas en la implementación del Edge Computing se utilizaron cuatro bases:

- MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)
- ScienceDirect
- DOAJ (Directory of Open Access Journals)
- PubMed

Estas bases de datos fueron seleccionadas por su cobertura complementaria en el campo del Edge Computing, siguiendo el enfoque de revisión sistemática de la literatura propuesto por (Sanguino Reyes, 2020) para tecnologías de la información. MDPI ofrece publicaciones multidisciplinarias de acceso abierto en tecnologías emergentes, mientras que ScienceDirect proporciona acceso a literatura científica de alto impacto en informática e ingeniería. DOAJ asegura la inclusión de investigaciones revisadas por pares de acceso abierto, ampliando la accesibilidad. PubMed, aunque centrada en ciencias de la salud, es crucial para explorar aplicaciones del Edge Computing en el sector médico. La selección de estas bases de datos sigue las mejores prácticas para revisiones sistemáticas en ciencias de la computación, como lo demuestra el estudio de (Bavaresco et al., 2020). Al igual que en dicho estudio, se buscó combinar fuentes que ofrezcan tanto publicaciones de alto impacto como literatura de acceso abierto, y específicas del campo, para obtener una visión amplia y complementaria del estado del arte en Edge Computing.

2.4 Metodología de PRISMA

Esta investigación se basa en la metodología PRISMA, un marco ampliamente utilizado para estructurar revisiones sistemáticas de literatura. La metodología permite mantener el orden y la



transparencia en la presentación de los resultados (Lamar Peña et al., 2024). Otros autores como (Cárdenas Villavicencio et al., 2024) destacan la importancia de esta metodología para identificar, seleccionar y sintetizar la literatura relevante de manera rigurosa y sistemática.

2.4.1 Resultados de PRISMA

La revisión sistemática de la literatura sobre Edge Computing, publicada entre 2020 y 2024 en inglés y español, siguió la metodología PRISMA como se evidencia en la Figura 1. El proceso comprendió cuatro etapas: Identificación, Selección, Elegibilidad e Inclusión, las cuales se detallan a continuación:

- **Identificación:** En esta fase, se identificaron 657 registros a través de búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas. Además, se localizaron 3 registros adicionales mediante otras fuentes, como bibliografías o estudios citados en investigaciones relacionadas. Esta etapa buscó reunir todos los estudios potencialmente relevantes sobre Edge Computing en sectores clave como la videovigilancia, agricultura y atención médica, sin restringirse a un tipo particular de aplicación.

- **Selección:** Tras eliminar citas duplicadas entre los registros encontrados en la fase de identificación, el número de estudios fue reducido a 500 registros únicos. De estos, 450 registros fueron seleccionados para su consideración inicial, mientras que 50 registros fueron excluidos debido a que no cumplían con los criterios de inclusión en términos de año de publicación (anterior a 2020) o idioma (no estaban en inglés o español).

- **Elegibilidad:** En esta etapa, se evaluaron los 60 artículos restantes mediante la lectura de su texto completo, con el objetivo de determinar si cumplían con los criterios de elegibilidad establecidos, tales como: la relevancia del estudio, la metodología utilizada y su enfoque en casos de éxito en la implementación del Edge Computing. Como resultado de esta evaluación, se excluyeron 18 artículos que no cumplían con los criterios de inclusión debido a problemas metodológicos, falta de datos específicos o enfoques fuera del alcance de la investigación.

- **Inclusión:** Finalmente, se incluyeron 42 estudios en la síntesis cualitativa, los cuales proporcionan ejemplos relevantes y casos de éxito de la implementación del Edge Computing en videovigilancia, agricultura y atención médica. Estos estudios fueron seleccionados por su calidad metodológica, su contribución al análisis del impacto de esta tecnología y su relevancia en los sectores mencionados.

Si bien las bases de datos consultadas contienen una gran cantidad de artículos sobre Edge Computing, el proceso de selección aplicado en esta revisión fue riguroso y estuvo basado en criterios específicos de inclusión, tales como relevancia temática, calidad metodológica, y periodo de publicación (2020-2024). Por esta razón, el número final de 42 artículos es

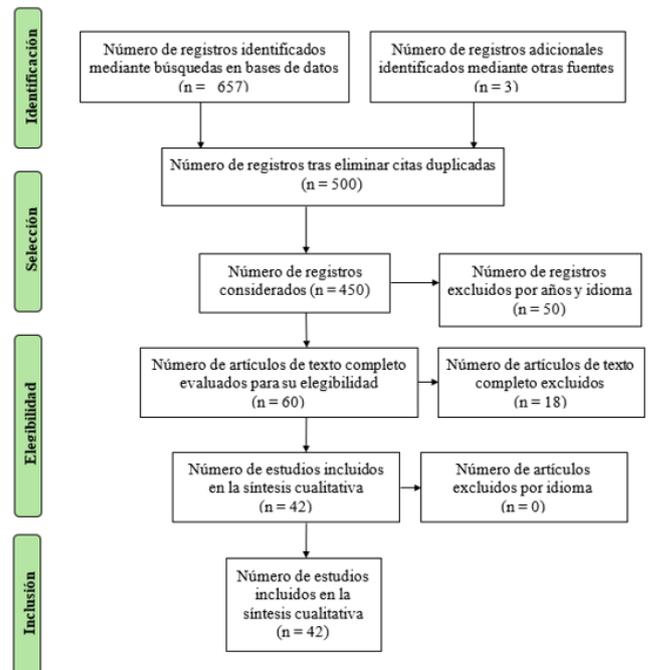


Figura 1. Proceso de inclusión de artículos según PRISMA. Fuente: Los autores.

una muestra suficientemente representativa para los sectores analizados (Agricultura, Salud y Videovigilancia), garantizando la calidad y pertinencia de los estudios incluidos.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis de la Distribución de Publicaciones

La Figura 2 muestra la distribución de publicaciones por base de datos y sector (Agricultura, Salud, Videovigilancia).

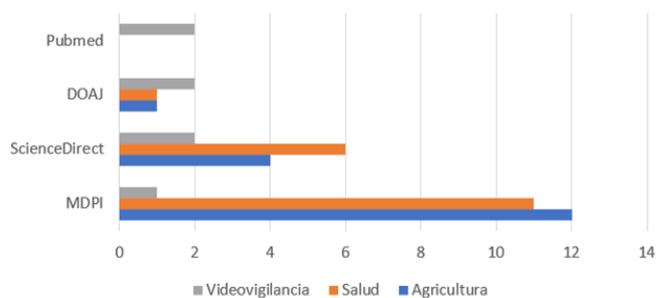


Figura 2. Distribución de publicaciones por base de datos y categoría. Fuente: Los autores.

La Figura 2 muestra la distribución de las 42 publicaciones por base de datos y sector. MDPI emerge como la base de datos con el mayor número de publicaciones en Agricultura y Salud, siendo la fuente más representada con un total de 24 estudios. ScienceDirect ocupa el segundo lugar en importancia, con 12 publicaciones distribuidas en los tres sectores. DOAJ y PubMed, por su parte, tienen una representación más limitada.

Es importante notar que PubMed no registra publicaciones en los sectores de Agricultura y Salud, lo cual puede deberse a su enfoque primario en ciencias biomédicas. Esto no implica necesariamente que no haya artículos relevantes en estas áreas, sino que puede reflejar limitaciones en el alcance de la revisión, el acceso a ciertas bases de datos o una menor representación en el periodo evaluado.

El análisis sugiere que los sectores de Agricultura y Salud tienen una mayor producción académica relacionada con Edge Computing, mientras que el área de Videovigilancia cuenta con menos estudios identificados (7 en total). Esto representa una posible área de oportunidad para futuras investigaciones, dado el creciente interés en la optimización de sistemas de seguridad mediante Edge Computing.

El menor número de publicaciones en Videovigilancia sugiere un área de oportunidad para futuras investigaciones. Un ejemplo es el estudio de (Patrikar & Parate, 2022), que aborda los desafíos en la detección de anomalías en sistemas de videovigilancia. A pesar de los avances tecnológicos, la detección de eventos anómalos en los sistemas de videovigilancia sigue siendo un desafío que requiere considerable esfuerzo humano.

3.2 Análisis de la Distribución de Publicaciones por Año y Categoría

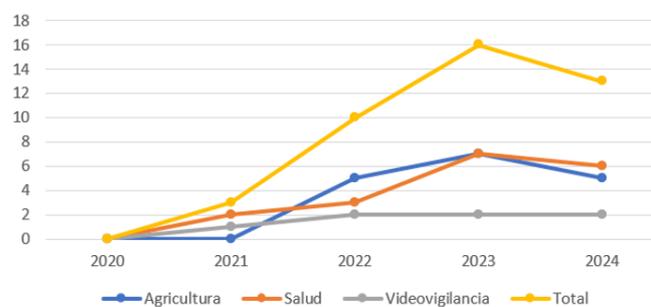


Figura 3. Evolución Anual de Publicaciones sobre Edge Computing por Área (2020-2024).

Fuente: Los autores.

La Figura 3 ilustra la evolución de publicaciones sobre Edge Computing en Agricultura, Salud y Videovigilancia desde 2020 hasta 2024. Se observa un crecimiento significativo, partiendo de cero publicaciones en 2020 hasta alcanzar un pico de 16 en 2023, con una ligera disminución a 13 en 2024 (datos parciales hasta julio).

El área de Salud muestra el crecimiento más consistente, especialmente en 2023-2024, reflejando un interés creciente en las aplicaciones de Edge Computing en este sector. Esto se alinea

con las observaciones de (Awad et al., 2023), quienes destacan que IoMT ha traducido los sistemas de salud tradicionales en sistemas de salud inteligentes y que estos sistemas permitirán la detección, diagnóstico, monitoreo y tratamiento remoto de pacientes. Agricultura experimentó un aumento sostenido hasta 2023, con un leve descenso en 2024. Videovigilancia, aunque con menos estudios, mantiene una presencia estable desde 2022.

Esta tendencia general al alza sugiere una maduración de la investigación en Edge Computing en estos sectores clave. El ligero descenso en 2024 podría ser temporal, considerando que los datos son parciales. Además, la emergencia de tecnologías complementarias como la inteligencia en el borde habilitada por blockchain podría impulsar futuras investigaciones en esta área (Wu et al., 2021), según lo sugerido por (Du et al., 2021) en el contexto del Internet de las Cosas.

3.3 Metodología de Extracción de Buenas Prácticas

3.3.1 Delimitación del uso de normas ISO

Las normas ISO/IEC 30161-1:2020, ISO/IEC 30141:2018 y ISO/IEC 21823-2:2020 han sido seleccionadas como marco de referencia para guiar la extracción de buenas prácticas en Edge Computing debido a su relevancia y aplicabilidad en este contexto. Según (Chui et al., 2023), estas normas proporcionan definiciones, terminologías, arquitecturas de referencia y mejores prácticas para sistemas IoT, lo que las hace cruciales para implementaciones de Edge Computing. La norma ISO/IEC 30141:2018 proporciona una arquitectura de referencia para el Internet de las Cosas (IoT), incluyendo aspectos clave como la interoperabilidad, la seguridad y la gestión de datos. La norma ISO/IEC 21823-2:2020 se centra específicamente en los requisitos de interoperabilidad para sistemas IoT. Adicionalmente, la norma ISO/IEC 30161-1:2020 especifica los requisitos para una plataforma de intercambio de datos IoT, lo cual es crucial para las implementaciones de Edge Computing, ya que aborda aspectos como los componentes de middleware de las redes de comunicación, el rendimiento de los puntos finales y las funciones específicas de IoT para poder realizar pruebas de latencia. Estas normas, en conjunto, ofrecen un marco sólido para evaluar y extraer buenas prácticas en Edge Computing, garantizando que se consideren los aspectos técnicos y operativos críticos.

3.3.2 Criterios para determinar un caso de éxito

Para identificar implementaciones exitosas de Edge Computing, se han definido criterios claros basados en las normas ISO/IEC 30161-1:2020, ISO/IEC 30141:2018 y ISO/IEC 21823-2:2020.:

3.3.3 Criterios para evaluar buenas prácticas

Para evaluar las prácticas implementadas en casos exitosos, se han establecido los siguientes criterios:

Para la evaluación, se utilizó la siguiente escala:



Tabla 2. Criterios para determinar un caso de éxito en la implementación de Edge Computing.

Criterio	Descripción	Norma de Referencia
Seguridad	Garantizar la protección de datos e infraestructura con medidas de seguridad adecuadas.	ISO/IEC 30141:2018
Interoperabilidad	Capacidad de interactuar y comunicarse efectivamente con otros componentes y plataformas.	ISO/IEC 21823-2:2020
Eficiencia operativa	Mejora significativa en rendimiento, latencia y capacidad de procesamiento comparado con enfoques tradicionales.	-
Rendimiento de los puntos finales	Rendimiento óptimo en los puntos finales a través de las redes de comunicación.	ISO/IEC 30161-1:2020
Eficiencia en el intercambio de datos	Gestión eficiente del intercambio de datos entre diversos servicios IoT.	ISO/IEC 30161-1:2020
Cumplimiento de requisitos específicos del negocio	Satisfacción de necesidades y objetivos particulares de la organización, alineados con sus estrategias y proporcionando beneficios tangibles.	-

Fuente: Los autores, adaptado de (ISO/IEC, 2020).

Tabla 3. Criterios de evaluación para buenas prácticas en Edge Computing.

Criterio	Descripción
Adaptabilidad	Flexibilidad para aplicarse en diversos sectores y contextos con el planteamiento de la arquitectura.
Escalabilidad	Capacidad de crecimiento y expansión sin comprometer el rendimiento ante aumentos de carga y volumen de datos.
Resiliencia	Incorporación de mecanismos de tolerancia a fallos y recuperación ante incidentes para garantizar continuidad operativa.
Integración de middleware	Facilitación de coexistencia entre servicios IoT y servicios heredados mediante componentes de middleware eficientes (ISO/IEC 30161-1:2020).

Fuente: Los autores, adaptado de (ISO/IEC, 2020).

Tabla 4. Escala de evaluación para criterios de buenas prácticas.

Calificación	Significado
Sí	Cumple el criterio.
No	No cumple el criterio.
Parcial	Cumple parcialmente el criterio.
N/A	No aplica o no se menciona en el estudio.

Fuente: Los autores.

3.4 Discusión de los Hallazgos

En esta sección, se presenta un análisis detallado de las buenas prácticas seleccionadas, organizando los hallazgos en torno a las tres preguntas de investigación planteadas. Los resultados se ilustran mediante gráficos agrupados por área de aplicación. A continuación, os hallazgos obtenidos de los estudios seleccionados han sido organizados en torno a las tres preguntas de investigación planteadas:

- RQ1: Los estudios indican que las principales barreras en el sector agrícola se centran en la seguridad y la resiliencia, aspectos que presentan bajos niveles de cumplimiento. Aunque se han logrado avances significativos en interoperabilidad y eficiencia operativa, los desafíos de seguridad siguen siendo un obstáculo crítico para la adopción a gran escala. Un ejemplo es el trabajo de (Emmi et al., 2023), que aborda la integración de robots autónomos con IoT, pero identifica problemas relacionados con la seguridad de los datos. Del mismo modo, (Puig et al., 2022) destaca la interoperabilidad de una plataforma de bajo costo para el riego de precisión, aunque la seguridad sigue siendo un área de mejora.
- RQ2: En el sector salud, la seguridad es fundamental debido a la sensibilidad de los datos manejados. Varios estudios han propuesto mejores prácticas para abordar este desafío. Por ejemplo, (Famá et al., 2022) propone una arquitectura de monitoreo continuo de pacientes, utilizando estándares abiertos como FHIR para garantizar la seguridad y la interoperabilidad de los datos. Además, (Rivadeneira et al., 2024) introduce un modelo de preservación de privacidad basado en IA en el borde, que mejora la seguridad de los datos de salud al tiempo que enfrenta problemas de escalabilidad y resiliencia.
- RQ3: Los estudios sobre videovigilancia muestran que la implementación de Edge Computing ha mejorado significativamente la eficiencia operativa de los sistemas de seguridad, especialmente en términos de procesamiento de

video en tiempo real. (Lambropoulos et al., 2024), por ejemplo, demuestra cómo la infraestructura edge virtualizada permite una mejor interoperabilidad, aunque la seguridad sigue siendo un área problemática. (Zheng et al., 2024) reporta una solución de blockchain que mejora la escalabilidad y la eficiencia operativa al alcanzar más de 1500 transacciones por segundo (TPS), lo que resalta el potencial de esta tecnología en la mejora de la vigilancia basada en Edge Computing.

3.4.1 Análisis de Resultados de Cumplimiento de Criterios

Las Figuras 4, 5 y 6 revelan patrones interesantes en la implementación del Edge Computing en agricultura, salud y videovigilancia, respectivamente. En las tres áreas, la eficiencia operativa destaca con un cumplimiento total en todos los casos estudiados (17 en agricultura, 18 en salud y 7 en videovigilancia). Además, el cumplimiento de requisitos específicos del negocio y el rendimiento de los puntos finales también muestran resultados sólidos en los tres sectores. Sin embargo, se observan desafíos comunes en seguridad y resiliencia. En particular, la seguridad presenta bajos niveles de cumplimiento total, con 1 caso en agricultura, 5 en salud y 1 en videovigilancia. La resiliencia muestra resultados aún más preocupantes, con ningún caso de cumplimiento total en agricultura, 4 en salud y 1 en videovigilancia.

Por último, la interoperabilidad y la escalabilidad varían entre sectores, siendo la videovigilancia la que enfrenta mayores retos en interoperabilidad, con solo 2 casos de cumplimiento total. Estos hallazgos subrayan la necesidad de priorizar la seguridad y la resiliencia en futuras implementaciones de Edge Computing

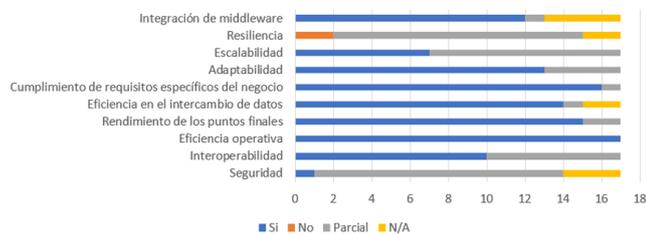


Figura 4. Cumplimiento de criterios en la implementación de Edge Computing en agricultura.
 Fuente: Los autores.

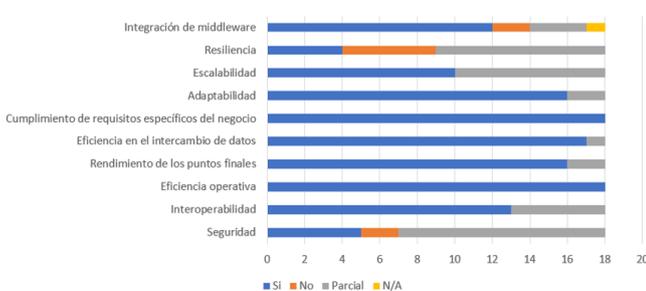


Figura 5. Cumplimiento de criterios en la implementación de Edge Computing en salud.
 Fuente: Los autores.

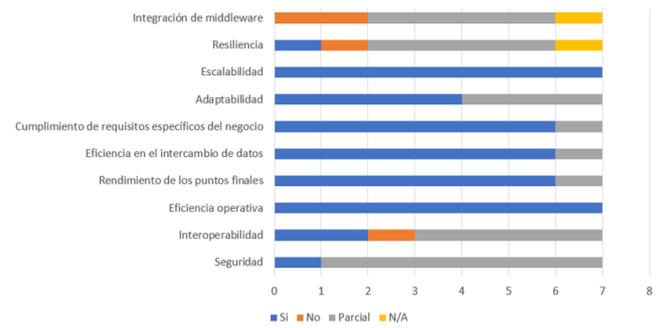


Figura 6. Cumplimiento de criterios en la implementación de Edge Computing en videovigilancia.
 Fuente: Los autores.

en los tres sectores, mientras se mantienen los logros en eficiencia operativa y rendimiento.

3.5 Argumentación de Buenas Prácticas basados en los casos de éxito

A continuación, se detallan los resultados de la aplicación de los criterios de selección de buenas prácticas para cada artículo. Se han elegido los 3 estudios con la puntuación más alta en cada categoría (videovigilancia, agricultura y atención médica). La puntuación de cada estudio se calcula evaluando los 10 criterios establecidos previamente, contabilizando el número de criterios que cumplen con la calificación “Sí”, y dividiendo este número por el número total de criterios para obtener un promedio. Ver Anexos 1,2 y 3.

Adicionalmente, aunque no se enfoca específicamente en videovigilancia, el estudio de (Reyana et al., 2023) titulado “Opportunities of IoT in Fog Computing for High Fault Tolerance and Sustainable Energy Optimization”, ofrece una perspectiva valiosa sobre la optimización del tiempo de respuesta en entornos de computación en niebla, que son directamente aplicables a sistemas de videovigilancia. El estudio propone un esquema de optimización de energía basado en la calidad de servicio (QoS-EQ) que logra tiempos de respuesta excepcionalmente bajos. Según los resultados, se muestra un tiempo de respuesta máximo de 8 ms, un tiempo de respuesta mínimo de 1 ms y un tiempo de respuesta promedio de 3 ms. Estos tiempos de respuesta ultrarrápidos son cruciales en sistemas de videovigilancia en tiempo real, donde la detección y respuesta inmediata a eventos es fundamental. La aplicación de técnicas similares en sistemas de videovigilancia basados en Edge Computing podría mejorar significativamente la capacidad de respuesta y la eficiencia operativa, permitiendo una detección y análisis de eventos más rápidos y precisos.

3.6 Propuesta de Mejores Prácticas

Basándonos en los hallazgos de los estudios analizados en agricultura, salud y videovigilancia, se propone la siguiente propuesta de mejores prácticas para la implementación del Edge Computing.

Tabla 5. Resumen de Estudios Destacados sobre Implementaciones de Edge Computing en Agricultura, Salud y Videovigilancia

Sector	Estudio	Aspectos Destacados	Áreas de Mejora	Contribución Clave
Agricultura	(Emmi et al., 2023)	Interoperabilidad, Eficiencia operativa	Seguridad, Resiliencia	Integración de robots autónomos con IoT y computación en la nube.
	(Puig et al., 2022)	Interoperabilidad, Eficiencia operativa	Seguridad	Plataforma IoT de bajo costo para riego de precisión.
	(Bua et al., 2024)	Interoperabilidad, Eficiencia operativa, Adaptabilidad	Seguridad	Reducción del 84.48% en latencia de transmisión en invernaderos inteligentes. Utilizar estándares como NGSI-LD y MQTT.
Salud	(Famá et al., 2022)	Seguridad, Interoperabilidad, Eficiencia operativa	Escalabilidad	Arquitectura para monitoreo continuo de pacientes. estándares abiertos y protocolos de intercambio de datos de salud, como FHIR.
	(Chahed et al., 2023)	Interoperabilidad, Eficiencia operativa, Adaptabilidad	Seguridad	Framework AIDA integrando redes sensibles al tiempo con edge-cloud.
	(Rivadeneira et al., 2024)	Seguridad, Interoperabilidad, Eficiencia en intercambio de datos	Escalabilidad, Resiliencia	Modelo de preservación de privacidad con IA en el borde.
Videovigilancia	(Lambropoulos et al., 2024)	Eficiencia operativa, Interoperabilidad	Seguridad, Eficiencia en intercambio de datos	Uso de SBCs para infraestructura edge virtualizada.
	(Zheng et al., 2024)	Eficiencia operativa, Escalabilidad	Seguridad, Resiliencia	Solución blockchain sharding y DAG alcanzando 1535.4 TPS.
	(Ravindran, 2023)	Eficiencia operativa, Rendimiento de puntos finales	Seguridad, Interoperabilidad, Resiliencia	Revisión de sistemas edge para análisis de video en tiempo real.
	(Reyana et al., 2023)	Eficiencia operativa, Rendimiento		Esquema de optimización logrando tiempos de respuesta de 1-8 ms.

Fuente: Los autores.

Tabla 6. Resumen de Estudios Destacados sobre Implementaciones de Edge Computing en Agricultura, Salud y Videovigilancia

Criterios	Mejores Prácticas
Priorizar la seguridad y privacidad	Implementar cifrado robusto y mecanismos de autenticación fuertes, y adoptar enfoques de privacidad por diseño, como el aprendizaje federado en IA, para proteger datos y garantizar la privacidad.
Enfatizar la interoperabilidad	Utilizar estándares abiertos y protocolos como MQTT y FHIR, implementar arquitecturas de microservicios para la integración y asegurar compatibilidad con sistemas existentes y futuros.
Optimizar la eficiencia operativa	Reducir latencia con procesamiento en el borde, usar virtualización en hardware de bajo consumo y aplicar algoritmos de optimización para la distribución de cargas de trabajo.
Mejorar el rendimiento de los puntos finales	Emplear hardware especializado para tareas intensivas, implementar técnicas de compresión de datos eficientes y optimizar algoritmos para dispositivos con recursos limitados.
Garantizar la escalabilidad	Diseñar arquitecturas modulares, utilizar tecnologías como el sharding de blockchain para mejorar el rendimiento y aplicar balanceo de carga dinámico.
Fomentar la adaptabilidad	Crear sistemas flexibles que se reconfiguren dinámicamente, usar plataformas de desarrollo low-code/no-code y adoptar arquitecturas basadas en contenedores para mayor portabilidad.
Fortalecer la resiliencia	Implementar redundancia y recuperación ante fallos, usar procesamiento distribuido para evitar puntos únicos de fallo y desarrollar estrategias de continuidad operativa y recuperación de desastres.
Optimizar la eficiencia en el intercambio de datos	Utilizar protocolos de comunicación ligeros, técnicas de procesamiento de datos en el borde, y estrategias de almacenamiento en caché y sincronización inteligente.
Asegurar el cumplimiento de requisitos específicos del negocio	Realizar un análisis detallado de requisitos, involucrar a los stakeholders en el diseño y establecer métricas de rendimiento alineadas con los objetivos del negocio.
Integración de middleware/s	Usar plataformas de middleware estandarizadas, implementar APIs bien definidas para integración externa y considerar patrones de diseño como Event-Driven Architecture para mayor flexibilidad.

Fuente: Los autores.

4. Conclusiones

La propuesta de buenas prácticas para la implementación del Edge Computing en agricultura, videovigilancia y atención médica, basada en casos de éxito, proporciona un marco integral que equilibra eficiencia operativa, seguridad, interoperabilidad y escalabilidad. La eficiencia operativa emerge como el beneficio más consistente en los tres sectores, mientras que la seguridad y la resiliencia persisten como áreas críticas de mejora, especialmente en salud y videovigilancia. La interoperabilidad y escalabilidad muestran resultados variables entre sectores.

El uso de protocolos abiertos como MQTT, FHIR y arquitecturas basadas en microservicios se perfila como mejor práctica para mejorar la interoperabilidad. La integración de tecnologías emergentes como blockchain sharding e Inteligencia Artificial en el borde ofrece nuevas posibilidades para optimizar eficiencia y seguridad. Estos hallazgos subrayan la necesidad de enfoques estandarizados y soluciones adaptables en diversos contextos de implementación.

Para futuras investigaciones, se debería abordar los desafíos

persistentes de seguridad y resiliencia, explorando métodos avanzados de criptografía y técnicas de recuperación ante fallos. Además, se requiere más investigación sobre la optimización de recursos en dispositivos de borde, particularmente en escenarios con restricciones energéticas.

Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a los tutores de la Universidad Técnica de Machala por su valiosa contribución en la revisión y perfeccionamiento de nuestro artículo. Su orientación ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación. También reconocemos la importancia del respaldo brindado por los seres queridos y amistades de quienes realizamos este estudio. Aunque su contribución fue indirecta, su aliento continuo nos proporcionó la motivación y el ánimo necesarios para llevar a cabo este trabajo.

Contribución de los autores

Anderson Ivan Asanza Honores: Administración del proyecto, Investigación, Redacción-borrador y Metodología.



Darwin Geovanny Chuchuca Vacacela: Conceptualización, Investigación, revisión y edición del artículo. **Mariuxi Paola Zea Ordoñez:** Metodología, revisión y edición del artículo. **Tania Yesminia Contreras Alonso:** Revisión y edición del artículo.

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Anexos

A.1. Artículos de estudio del sector de agricultura

Conflictos de interés

ID / Cita	Autor por correspondencia	Año de publicación	Título	DOI	Base de datos	Puntuación
1 (Emmi et al., 2023)	Luis Emmi	2023	Exploiting the Internet Resources for Autonomous Robots in Agriculture	https://doi.org/10.3390/agriculture13051005	MDPI	0.8
2 (Aguilera et al., 2023)	Cristhian A. Aguilera	2024	Comprehensive Analysis of Model Errors in Blueberry Detection and Maturity Classification: Identifying Limitations and Proposing Future Improvements in Agricultural Monitoring	https://doi.org/10.3390/agriculture14010018	MDPI	0.4
3 (Nguyen et al., 2024)	Hoang Hai Nguyen	2024	An Integrated IoT Sensor-Camera System toward Leveraging Edge Computing for Smart Greenhouse Mushroom Cultivation	https://doi.org/10.3390/	MDPI	0.7
4 (Puig et al., 2022)	Francisco Puig	2022	Development of a Low-Cost Open-Source Platform for Smart Irrigation Systems	https://doi.org/10.3390/agronomy12122909	MDPI	0.8
5 (Bua et al., 2024)	Cristian Bua	2024	GymHydro: An Innovative Modular Small-Scale Smart Agriculture System for Hydroponic Greenhouses	https://doi.org/10.3390/electronics13071366	MDPI	0.8
6 (Estrada-López et al., 2023)	Johan J. Estrada-López	2023	A Sustainable Forage-Grass-Power Fuel Cell Solution for Edge-Computing Wireless Sensing Processing in Agriculture 4.0 Applications	https://doi.org/10.3390/en16072943	MDPI	0.6
7 (Assunção et al., 2022)	Eduardo Assunção	2022	Real-Time Image Detection for Edge Devices: A Peach Fruit Detection Application	https://doi.org/10.3390/fi14110323	MDPI	0.4
8 (Kalyani et al., 2024)	Yogeswaranathan Kalyani	2024	Application Scenarios of Digital Twins for Smart Crop Farming through Cloud-Fog-Edge Infrastructure	https://doi.org/10.3390/fi16030100	MDPI	0.8
9 (Qi et al., 2022)	Chao Qi	2022	Medicinal Chrysanthemum Detection under Complex Environments Using the MC-LCNN Model	https://doi.org/10.3390/plants11070838	MDPI	0.4
10 (Koubaa et al., 2023)	Anis Koubaa	2023	AERO: AI-Enabled Remote Sensing Observation with Onboard Edge Computing in UAVs	https://doi.org/10.3390/rs15071873	MDPI	0.7
11 (Loukatos et al., 2022)	Dimitrios Loukatos	2022	Enriching IoT Modules with Edge AI Functionality to Detect Water Misuse Events in a Decentralized Manner	https://doi.org/10.3390/s22134874	MDPI	0.8
12 (Alzuhair & Alghaihab, 2023)	Ahmed Alzuhair	2023	The Design and Optimization of an Acoustic and Ambient Sensing AIoT Platform for Agricultural Applications	https://doi.org/10.3390/s23146262	MDPI	0.8

13 (Rudrakar & Rughani, 2023)	Santoshi Rudrakar	2023	IoT based Agriculture (Ag-IoT): A detailed study on Architecture, Security and Forensics	https://doi.org/10.1016/j.inpa.2023.09.002	Science-Direct	0.5
14 (Restrepo-Arias et al., 2024)	Juan Felipe Restrepo-Arias	2024	Image classification on smart agriculture platforms: Systematic literature review	https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.06.002	Science-Direct	0.5
15 (Abbasi et al., 2022)	Rabiya Abbasi	2022	The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0	https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042	Science-Direct	0.4
16 (Rastegari et al., 2023)	Hajar Rastegari	2023	Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends	https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187	Science-Direct	0.5
17 (Liu et al., 2023)	Le Liu	2023	An Edge-computing flow meter reading recognition algorithm optimized for agricultural IoT network	https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100236	DOAJ	0.6

A.2. Artículos de estudio del sector de salud

ID / Cita	Autor por correspondencia	Año de publicación	Título	DOI	Base de datos	Puntuación
1 (Gehlot et al., 2022)	Anita Gehlot	2022	Dairy 4.0: Intelligent Communication Ecosystem for the Cattle Animal Welfare with Blockchain and IoT Enabled Technologies	https://doi.org/10.3390/app12147316	MDPI	0.7
2 (Najeh et al., 2024)	Houda Najeh	2024	Real-Time Human Activity Recognition on Embedded Equipment: A Comparative Study	https://doi.org/10.3390/app14062377	MDPI	0.3
3 (Ijaz et al., 2021)	Muhammad Ijaz	2021	Integration and Applications of Fog Computing and Cloud Computing Based on the Internet of Things for Provision of Healthcare Services at Home	https://doi.org/10.3390/electronics10091077	MDPI	0.6
4 (Alam & Rahmani, 2023)	Mahbub Ul Alam	2023	FedSepsis: A Federated Multi-Modal Deep Learning-Based Internet of Medical Things Application for Early Detection of Sepsis from Electronic Health Records Using Raspberry Pi and Jetson Nano Devices	https://doi.org/10.3390/s23020970	MDPI	0.7
5 (Elbagoury et al., 2023)	Bassant M. Elbagoury	2023	A Hybrid Stacked CNN and Residual Feedback GMDH-LSTM Deep Learning Model for Stroke Prediction Applied on Mobile AI Smart Hospital Platform	https://doi.org/10.3390/s23073500	MDPI	0.7
6 (Kolosov et al., 2023)	Dimitrios Kolosov	2023	Contactless Camera-Based Heart Rate and Respiratory Rate Monitoring Using AI on Hardware	https://doi.org/10.3390/s23094550	MDPI	0.6
7 (Ali et al., 2023)	Aitizaz Ali	2023	Blockchain-Powered Healthcare Systems: Enhancing Scalability and Security with Hybrid Deep Learning	https://doi.org/10.3390/s23187740	MDPI	0.8
8 (Armijo & Zamora-Sánchez, 2024)	Alberto Armijo	2024	Integration of Railway Bridge Structural Health Monitoring into the Internet of Things with a Digital Twin: A Case Study	https://doi.org/10.3390/s24072115	MDPI	0.8

9 (Tripathy et al., 2023)	Subhranshu Sekhar Tripathy	2023	An Intelligent Health Care System in Fog Platform with Optimized Performance	https://doi.org/10.3390/su15031862	MDPI	0.8
10 (Reyana et al., 2023)	A. Reyana	2023	Opportunities of IoT in Fog Computing for High Fault Tolerance and Sustainable Energy Optimization	https://doi.org/10.3390/su15118702	MDPI	0.7
11 (Xavier et al., 2024)	Ruben Xavier	2024	Integrating Multi-Access Edge Computing (MEC) into Open 5G Core	https://doi.org/10.3390/telecom5020022	MDPI	0.8
12 (Shukla et al., 2021)	Saurabh Shukla	2021	Identification and Authentication in Healthcare Internet-of-Things Using Integrated Fog Computing Based Blockchain Model	https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100422	Science-Direct	0.8
13 (Hyysalo et al., 2022)	Jarkko Hyysalo	2022	Smart mask – Wearable IoT solution for improved protection and personal health	https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100511	Science-Direct	0.6
14 (Famá et al., 2022)	Fernanda Famá	2022	An IoT-based interoperable architecture for wireless biomonitoring of patients with sensor patches	https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100547	Science-Direct	1
15 (Chahed et al., 2023)	Hamza Chahed	2023	AIDA—A holistic AI-driven networking and processing framework for industrial IoT applications	https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100805	Science-Direct	0.9
16 (Rivadeneira et al., 2024)	Jorge Eduardo Rivadeneira	2024	A unified privacy preserving model with AI at the edge for Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems	https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101034	Science-Direct	0.8
17 (Fernández et al., 2024)	Eduardo Illueca Fernández	2024	Embedded machine learning of IoT streams to promote early detection of unsafe environments	https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101128	Science-Direct	0.6
18 (D. N et al., 2024)	Sachin D.N.	2024	FedCure: A Heterogeneity-Aware Personalized Federated Learning Framework for Intelligent Healthcare Applications in IoMT Environments	10.1109/AC-CESS.2024.3357514	DOAJ	0.7

A.3. Artículos de estudio del sector de videovigilancia

ID / Cita	Autor por correspondencia	Año de publicación	Título	DOI	Base de datos	Puntuación
1 (Lambropoulos et al., 2024)	Georgios Lambropoulos	2024	Implementing Virtualization on Single-Board Computers: A Case Study on Edge Computing	https://doi.org/10.3390/computers13020054	MDPI	0.7
2 (Zheng et al., 2024)	Wenhu Zheng	2024	Data management method for building internet of things based on blockchain sharding and DAG	https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2024.01.001	Science-Direct	0.6

3 (Singh et al., 2022)	Prashant Singh	2022	Internet of Things for sustainable railway transportation: Past, present, and future	https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100065	Science-Direct	0.4
4 (Ravindran, 2023)	Arun A. Ravindran	2023	Internet-of-Things Edge Computing Systems for Streaming Video Analytics: Trails Behind and the Paths Ahead	https://doi.org/10.3390/iot4040021	DOAJ	0.6
5 (Yang et al., 2023)	Shuangye Yang	2023	Edge Intelligence-Assisted Asymmetrical Network Control and Video Decoding in the Industrial IoT with Speculative Parallelization	https://doi.org/10.3390/sym15081516	DOAJ	0.5
6 (Bommu et al., 2023)	Samuyelu Bommu	2023	Smart City IoT System Network Level Routing Analysis and Blockchain Security Based Implementation	https://doi.org/10.1007/s42835-022-01239-4	PUBMED	0.6
7 (Kim et al., 2021)	Jingyeom Kim	2021	AdaMM: Adaptive Object Movement and Motion Tracking in Hierarchical Edge Computing System	https://doi.org/10.3390/s21124089	PUBMED	0.6

Referencias bibliográficas

- Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
- Abreha, H. G., Hayajneh, M., & Serhani, M. A. (2022). Federated Learning in Edge Computing: A Systematic Survey. *Sensors*, 22(2), 450. <https://doi.org/10.3390/s22020450>
- Aguilera, C. A., Figueroa-Flores, C., Aguilera, C., & Navarrete, C. (2023). Comprehensive Analysis of Model Errors in Blueberry Detection and Maturity Classification: Identifying Limitations and Proposing Future Improvements in Agricultural Monitoring. *Agriculture*, 14(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010018>
- Alam, M. U., & Rahmani, R. (2023). FedSepsis: A Federated Multi-Modal Deep Learning-Based Internet of Medical Things Application for Early Detection of Sepsis from Electronic Health Records Using Raspberry Pi and Jetson Nano Devices. *Sensors*, 23(2), 970. <https://doi.org/10.3390/s23020970>
- Ali, A., Ali, H., Saeed, A., Ahmed Khan, A., Tin, T. T., Assam, M., Ghadi, Y. Y., & Mohamed, H. G. (2023). Blockchain-Powered Healthcare Systems: Enhancing Scalability and Security with Hybrid Deep Learning. *Sensors*, 23(18), 7740. <https://doi.org/10.3390/s23187740>
- Alwakeel, A. M. (2021). An Overview of Fog Computing and Edge Computing Security and Privacy Issues. *Sensors*, 21(24), 8226. <https://doi.org/10.3390/s21248226>
- Alzu'bi, A., Alomar, A., Alkhaza'leh, S., Abuarqoub, A., & Hammoudeh, M. (2024). A Review of Privacy and Security of Edge Computing in Smart Healthcare Systems: Issues, Challenges, and Research Directions. *Tsinghua Science and Technology*, 29(4), 1152–1180. <https://doi.org/10.26599/TST.2023.9010080>
- Alzuhair, A., & Alghaihab, A. (2023). The Design and Optimization of an Acoustic and Ambient Sensing AIoT Platform for Agricultural Applications. *Sensors*, 23(14), 6262. <https://doi.org/10.3390/s23146262>
- Armijo, A., & Zamora-Sánchez, D. (2024). Integration of Railway Bridge Structural Health Monitoring into the Internet of Things with a Digital Twin: A Case Study. *Sensors*, 24(7), 2115. <https://doi.org/10.3390/s24072115>
- Assunção, E., Gaspar, P. D., Alibabaei, K., Simões, M. P., Proença, H., Soares, V. N. G. J., & Caldeira, J. M. L. P. (2022). Real-Time Image Detection for Edge Devices: A Peach Fruit Detection Application. *Future Internet*, 14(11), 323. <https://doi.org/10.3390/fi14110323>
- Awad, A. I., Fouda, M. M., Khashaba, M. M., Mohamed, E. R., & Hosny, K. M. (2023). Utilization of mobile edge computing on the Internet of Medical Things: A survey. *ICT Express*, 9(3), 473–485. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2022.05.006>
- Bai, T., Pan, C., Deng, Y., Elkashlan, M., Nallanathan, A., & Hanzo, L. (2020). Latency Minimization for Intelligent Reflecting Surface Aided Mobile Edge Computing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(11), 2666–2682. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2020.3007035>
- Baktayan, A. A., Thabit Zahary, A., & Ahmed Al-Baltah, I. (2024). A Systematic Mapping Study of UAV-Enabled Mobile Edge Computing for Task Offloading. *IEEE Access*, 12, 101936–101970. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3431922>
- Bavaresco, R., Silveira, D., Reis, E., Barbosa, J., Righi, R., Costa, C., Antunes, R., Gomes, M., Gatti, C., Vanzin, M., Junior, S. C., Silva, E., & Moreira, C. (2020). Conversational agents in business: A systematic literature review and future research directions. *Computer Science Review*, 36, 100239. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100239>



- Bommu, S., M, A. K., Babburu, K., N, S., Thalluri, L. N., G, V. G., Gopalan, A., Mallapati, P. K., Guha, K., Mohammad, H. R., & S, S. K. (2023). Smart City IoT System Network Level Routing Analysis and Blockchain Security Based Implementation. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 18(2), 1351–1368. <https://doi.org/10.1007/s42835-022-01239-4>
- Bua, C., Adami, D., & Giordano, S. (2024). GymHydro: An Innovative Modular Small-Scale Smart Agriculture System for Hydroponic Greenhouses. *Electronics*, 13(7), 1366. <https://doi.org/10.3390/electronics13071366>
- Cárdenas Villavicencio, O. E., Zea Ordoñez, M. P., Honores Tapia, J. A., & Lamar Peña, F. S. (2024). Visiones del Futuro Urbano: El Paradigma Teórico de las Smart Cities. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(1). <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i1.6324>
- Chahed, H., Usman, M., Chatterjee, A., Bayram, F., Chaudhary, R., Brunstrom, A., Taheri, J., Ahmed, B. S., & Kassler, A. (2023). AIDA—A holistic AI-driven networking and processing framework for industrial IoT applications. *Internet of Things*, 22, 100805. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100805>
- Chen, S., Li, Q., Zhou, M., & Abusorrah, A. (2021). Recent Advances in Collaborative Scheduling of Computing Tasks in an Edge Computing Paradigm. *Sensors*, 21(3), 779. <https://doi.org/10.3390/s21030779>
- Chui, K. T., Gupta, B. B., Liu, J., Arya, V., Nedjah, N., Almomani, A., & Chaurasia, P. (2023). A Survey of Internet of Things and Cyber-Physical Systems: Standards, Algorithms, Applications, Security, Challenges, and Future Directions. *Information*, 14(7), 388. <https://doi.org/10.3390/info14070388>
- D. N, S., B, A., Hegde, S., Abhijit, C. S., & Ambesange, S. (2024). FedCure: A Heterogeneity-Aware Personalized Federated Learning Framework for Intelligent Healthcare Applications in IoMT Environments. *IEEE Access*, 12, 15867–15883. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3357514>
- Du, Y., Wang, Z., & Leung, V. C. M. (2021). Blockchain-Enabled Edge Intelligence for IoT: Background, Emerging Trends and Open Issues. *Future Internet*, 13(2), 48. <https://doi.org/10.3390/fi13020048>
- Elbagoury, B. M., Vladareanu, L., Vlădăreanu, V., Salem, A. B., Travediu, A.-M., & Roushdy, M. I. (2023). A Hybrid Stacked CNN and Residual Feedback GMDH-LSTM Deep Learning Model for Stroke Prediction Applied on Mobile AI Smart Hospital Platform. *Sensors*, 23(7), 3500. <https://doi.org/10.3390/s23073500>
- Emmi, L., Fernández, R., Gonzalez-de-Santos, P., Francia, M., Golfarelli, M., Vitali, G., Sandmann, H., Hustedt, M., & Wollweber, M. (2023). Exploiting the Internet Resources for Autonomous Robots in Agriculture. *Agriculture*, 13(5), 1005. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051005>
- Estrada-López, J. J., Vázquez-Castillo, J., Castillo-Atoche, A., Osorio-de-la-Rosa, E., Heredia-Lozano, J., & Castillo-Atoche, A. (2023). A Sustainable Forage-Grass-Power Fuel Cell Solution for Edge-Computing Wireless Sensing Processing in Agriculture 4.0 Applications. *Energies*, 16(7), 2943. <https://doi.org/10.3390/en16072943>
- Famá, F., Faria, J. N., & Portugal, D. (2022). An IoT-based interoperable architecture for wireless biomonitoring of patients with sensor patches. *Internet of Things*, 19, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100547>
- Fernández, E. I., Jara Valera, A. J., & Fernández Breis, J. T. (2024). Embedded machine learning of IoT streams to promote early detection of unsafe environments. *Internet of Things*, 25, 101128. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101128>
- Gehlot, A., Malik, P. K., Singh, R., Akram, S. V., & Alsuwian, T. (2022). Dairy 4.0: Intelligent Communication Ecosystem for the Cattle Animal Welfare with Blockchain and IoT Enabled Technologies. *Applied Sciences*, 12(14), 7316. <https://doi.org/10.3390/app12147316>
- Hyysalo, J., Dasanayake, S., Hannu, J., Schuss, C., Rajanen, M., Leppänen, T., Doermann, D., & Sauvola, J. (2022). Smart mask – Wearable IoT solution for improved protection and personal health. *Internet of Things*, 18, 100511. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100511>
- Ijaz, M., Li, G., Lin, L., Cheikhrouhou, O., Hamam, H., & Noor, A. (2021). Integration and Applications of Fog Computing and Cloud Computing Based on the Internet of Things for Provision of Healthcare Services at Home. *Electronics*, 10(9), 1077. <https://doi.org/10.3390/electronics10091077>
- ISO/IEC. (2020). Internet of Things (IoT) standards. <https://www.iso.org/obp/ui/>
- Kalyani, Y., Vorster, L., Whetton, R., & Collier, R. (2024). Application Scenarios of Digital Twins for Smart Crop Farming through Cloud–Fog–Edge Infrastructure. *Future Internet*, 16(3), 100. <https://doi.org/10.3390/fi16030100>
- Kim, J., Lee, J., & Kim, T. (2021). AdaMM: Adaptive Object Movement and Motion Tracking in Hierarchical Edge Computing System. *Sensors*, 21(12), 4089. <https://doi.org/10.3390/s21124089>
- Kolosov, D., Kelefouras, V., Kourtessis, P., & Mporas, I. (2023). Contactless Camera-Based Heart Rate and Respiratory

- Rate Monitoring Using AI on Hardware. *Sensors*, 23(9), 4550. <https://doi.org/10.3390/s23094550>
- Koubaa, A., Ammar, A., Abdelkader, M., Alhabashi, Y., & Ghouti, L. (2023). AERO: AI-Enabled Remote Sensing Observation with Onboard Edge Computing in UAVs. *Remote Sensing*, 15(7), 1873. <https://doi.org/10.3390/rs15071873>
- Lamar Peña, F. S., Vega Mite, G. A., Honores Tapia, J. A., & Cárdenas Villavicencio, O. E. (2024). Validación y emisión de certificados en Educación Superior utilizando tecnología Blockchain. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(1), 36. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i1.6535>
- Lambropoulos, G., Mitropoulos, S., Douligeris, C., & Maglaras, L. (2024). Implementing Virtualization on Single-Board Computers: A Case Study on Edge Computing. *Computers*, 13(2), 54. <https://doi.org/10.3390/computers13020054>
- Liu, L., Qiao, X., Liang, W., Oboamah, J., Wang, J., Rudnick, D. R., Yang, H., Katimbo, A., & Shi, Y. (2023). An Edge-computing flow meter reading recognition algorithm optimized for agricultural IoT network. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100236>
- Loukatos, D., Lygkoura, K.-A., Maraveas, C., & Arvanitis, K. G. (2022). Enriching IoT Modules with Edge AI Functionality to Detect Water Misuse Events in a Decentralized Manner. *Sensors*, 22(13), 4874. <https://doi.org/10.3390/s22134874>
- Najeh, H., Lohr, C., & Leduc, B. (2024). Real-Time Human Activity Recognition on Embedded Equipment: A Comparative Study. *Applied Sciences*, 14(6), 2377. <https://doi.org/10.3390/app14062377>
- Nguyen, H. H., Shin, D.-Y., Jung, W.-S., Kim, T.-Y., & Lee, D.-H. (2024). An Integrated IoT Sensor-Camera System toward Leveraging Edge Computing for Smart Greenhouse Mushroom Cultivation. *Agriculture*, 14(3), 489. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030489>
- Oluwole Temidayo Modupe, Aanuoluwapo Ayodeji Otitoola, Oluwatayo Jacob Oladapo, Oluwatosin Oluwatimileyin Abiona, Oyekunle Claudius Oyeniran, Adebunmi Okechukwu Adewusi, Abiola Moshood Komolafe, & Amaka Obijuru. (2024). REVIEWING THE TRANSFORMATIONAL IMPACT OF EDGE COMPUTING ON REAL-TIME DATA PROCESSING AND ANALYTICS. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(3), 693–702. <https://doi.org/10.51594/csitrj.v5i3.929>
- Patrikar, D. R., & Parate, M. R. (2022). Anomaly detection using edge computing in video surveillance system: Review. *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, 11(2), 85–110. <https://doi.org/10.1007/s13735-022-00227-8>
- Puig, F., Rodríguez Díaz, J. A., & Soriano, M. A. (2022). Development of a Low-Cost Open-Source Platform for Smart Irrigation Systems. *Agronomy*, 12(12), 2909. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122909>
- Qi, C., Chang, J., Zhang, J., Zuo, Y., Ben, Z., & Chen, K. (2022). Medicinal Chrysanthemum Detection under Complex Environments Using the MC-LCNN Model. *Plants*, 11(7), 838. <https://doi.org/10.3390/plants11070838>
- Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., & Mahari, W. A. W. (2023). Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187>
- Ravindran, A. A. (2023). Internet-of-Things Edge Computing Systems for Streaming Video Analytics: Trails Behind and the Paths Ahead. *IoT*, 4(4), 486–513. <https://doi.org/10.3390/iot4040021>
- Restrepo-Arias, J. F., Branch-Bedoya, J. W., & Awad, G. (2024). Image classification on smart agriculture platforms: Systematic literature review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 13, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2024.06.002>
- Reyana, A., Kautish, S., Alnowibet, K. A., Zawbaa, H. M., & Wagdy Mohamed, A. (2023). Opportunities of IoT in Fog Computing for High Fault Tolerance and Sustainable Energy Optimization. *Sustainability*, 15(11), 8702. <https://doi.org/10.3390/su15118702>
- Rivadeneira, J. E., Borges, G. A., Rodrigues, A., Boavida, F., & Sá Silva, J. (2024). A unified privacy preserving model with AI at the edge for Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems. *Internet of Things*, 25, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101034>
- Rudrakar, S., & Rughani, P. (2023). IoT based Agriculture (Ag-IoT): A detailed study on Architecture, Security and Forensics. *Information Processing in Agriculture*, S2214317323000665. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2023.09.002>
- Sanguino Reyes, M. R. (2020). A systematic review of the literature on information technology outsourcing services. *Journal of Physics: Conference Series*, 1513(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1513/1/012007>
- Shukla, S., Thakur, S., Hussain, S., Breslin, J. G., & Jameel, S. M. (2021). Identification and Authentication in Healthcare Internet-of-Things Using Integrated Fog Computing Based Blockchain Model. *Internet of Things*, 15, 100422. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100422>
- Singh, P., Elmi, Z., Krishna Meriga, V., Pasha, J., & Dulebenets, M. A. (2022). Internet of Things for sustainable railway transportation: Past, present, and future. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100065>
- Tripathy, S. S., Rath, M., Tripathy, N., Roy, D. S., Francis, J. S. A., & Beborrtta, S. (2023). An Intelligent Health Care System in Fog Platform with Optimized Performance.





Sustainability, 15(3), 1862. <https://doi.org/10.3390/su15031862>

Wu, Y., Dai, H.-N., & Wang, H. (2021). Convergence of Blockchain and Edge Computing for Secure and Scalable IIoT Critical Infrastructures in Industry 4.0. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(4), 2300–2317. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3025916>

Xavier, R., Silva, R. S., Ribeiro, M., Moreira, W., Freitas, L., & Oliveira-Jr, A. (2024). Integrating Multi-Access Edge Computing (MEC) into Open 5G Core. *Telecom*, 5(2), 433–450. <https://doi.org/10.3390/telecom5020022>

Yang, S., Zhang, Z., Xia, H., Li, Y., & Liu, Z. (2023). Edge Intelligence-Assisted Asymmetrical Network Control and

Video Decoding in the Industrial IoT with Speculative Parallelization. *Symmetry*, 15(8), 1516. <https://doi.org/10.3390/sym15081516>

Zhang, T., Li, Y., & Philip Chen, C. L. (2021). Edge computing and its role in Industrial Internet: Methodologies, applications, and future directions. *Information Sciences*, 557, 34–65. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.12.021>

Zheng, W., Wang, X., Xie, Z., Li, Y., Ye, X., Wang, J., & Xiong, X. (2024). Data management method for building internet of things based on blockchain sharding and DAG. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 4, 217–234. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2024.01.001>



Evolución normativa de la protección de datos personales en Ecuador: un análisis histórico

The normative evolution of personal data protection in Ecuador: A historical analysis

Autores

✉ *Anniabel de la Caridad Cardet Sarduy



✉ Jesennia del Pilar Cárdenas Cobo



Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, Ecuador, La Libertad.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Cardet Sarduy, A. de la C. y Cárdenas Cobo, J. del P. 2024. Evolución normativa de la protección de datos personales en Ecuador: un análisis histórico. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*. 8(2) pp. 86–101. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.6978>

Enviado: 02/09/2024

Aceptado: 16/10/2024

Publicado: 28/10/2024

Resumen

La protección de datos es importante dado el incremento en la circulación de información que existe actualmente. Se realizó una revisión de la literatura sobre la evolución histórica de las normativas de protección de datos personales en Ecuador. Para identificar los documentos se siguió la metodología PRISMA, esta permitió estructurar etapas y organizar la búsqueda en bases de datos como Scopus, SciELO, Dialnet y Latindex, además en repositorios y páginas web gubernamentales empleando las palabras clave protección de datos personales, Ecuador, legislación, normativa, habeas data, datos sensibles, tratamiento de datos y seguridad de datos. Fueron identificados 150 documentos, 121 provenientes de bases de datos y 29 de otras vías, de los cuales se incluyeron 30; se excluyeron 49 por no estar a texto completo, 41 duplicados y 30 por no ajustarse al tema. Fueron identificados los hitos normativos de la protección de datos personales, declarados los beneficios de la LOPDP para la ciudadanía ecuatoriana, así como establecidas las semejanzas y diferencias entre la LOPDP y las legislaciones existentes en el contexto internacional, también se identificaron las brechas en el conocimiento respecto al tema. Se concluye que las normativas previas a pesar de no abordar de manera integral la protección de datos fueron junto con la influencia de la RGPD de la Unión Europea esenciales para crear un contexto legal y conciencia social sobre este tema, además, evidenciaron lo perentorio de un marco legal integral que abordara los desafíos modernos en lo que respecta a la protección de los datos.

Palabras clave: Evolución normativa; Habeas data; Legislación; Privacidad; Seguridad; Protección de datos personales

Abstract

Data protection is important given the increase in the circulation of information that currently exists. A review of the literature on the historical evolution of personal data protection regulations in Ecuador was conducted. To identify the documents, the PRISMA methodology was followed, which allowed structuring stages and organizing the search in databases such as Scopus, SciELO, Dialnet, and Latindex, as well as in repositories and government websites using keywords such as personal data protection, Ecuador, legislation, regulation, habeas data, sensitive data, data processing, and data security. A total of 150 documents were identified, 121 from databases and 29 from other sources, of which 30 were included; 49 were excluded for not being full-text, 41 duplicates, and 30 for not fitting the topic. The regulatory milestones of personal data protection were identified, the benefits of the LOPDP for Ecuadorian citizens were declared, as well as the similarities and differences between the LOPDP and existing legislation in the international context, and the knowledge gaps regarding the topic were identified. It is concluded that the previous regulations, despite not addressing data protection comprehensively, were essential along with the influence of the GDPR of the European Union to create a legal context and social awareness on this issue, also highlighting the need for a comprehensive legal framework to address modern challenges concerning data protection.

Keywords: Regulatory evolution; Habeas data; Legislation; Privacy; Security; Protection of personal data



1. Introducción

En la actualidad, donde la transmisión de información es continua, el resguardo de los datos personales es un asunto que tiene marcada relevancia (Deloitte, 2024). La trascendencia de este tema se hace evidente por la creciente necesidad de tener estadísticas confiables, datos completos, actualizados y la existencia de nuevas tecnologías. Además, los frecuentes incidentes que incluyen el robo o pérdida, así como la utilización indebida de datos personales, plantea el desafío de implementar de manera efectiva los mecanismos de seguridad y políticas relacionadas con la protección de datos (Cevallos & Delgado, 2023). Estos aspectos de forma paulatina han generado una inclinación hacia la investigación y el aprendizaje de las normas legales que establecen el ejercicio de la ley en relación con este particular (Moran, 2023). En Ecuador, este tema ha evolucionado en el tiempo desde 1996 cuando se promulga la Reforma Constitucional hasta 2021 que se decreta la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP). Así, con una visión histórico-doctrinal, se han definido los rasgos distintivos de este bien fundamental al establecerse un reconocimiento constitucional del derecho a la protección de datos en el país, que a la vez ha generado un marco normativo que busca salvaguardar la confidencialidad y seguridad de los datos de los ciudadanos ecuatorianos (Cuascota, 2024).

En el transcurso de los años, se han promulgado leyes y regulaciones que han intentado establecer principios y mecanismos efectivos para asegurar el adecuado tratamiento de los datos personales en entornos digitales y comerciales. En la actualidad, Ecuador cuenta con la LOPDP la cual tiene la intención de promover la claridad en el manejo de la información personal, al fomentar la confianza de los ciudadanos en el uso de sus datos por parte de entidades públicas y privadas (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021). La funcionalidad de esta ley radica en que a través de su implementación busca proteger los derechos establecidos en la constitución relacionados con los datos personales e instituir una estructura jurídica apropiada en caso de ocurrir violaciones, para que se restablezca el derecho a su condición original o en caso contrario suceda una reparación de manera integral (Moran, 2023). Su creación la justifican varios factores: el reconocimiento constitucional que declara la protección de datos como un derecho, el incremento del uso de información sensible lo cual propicia la ocurrencia de amenazas a la privacidad y la influencia de normativas internacionales como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) que constituyó un referente en la génesis de la LOPDP (Redobrán, 2023; Rosas & Pila, 2023).

Dada la relevancia que ha adquirido la protección de datos personales y el papel crucial que tiene en la sociedad

actual, marcada por la digitalización de la información, es esencial comprender cómo las normativas en este campo han evolucionado a lo largo del tiempo. Por tal motivo, a pesar de que se han realizado estudios sobre la reglamentación de protección de datos personales, aún no se ha profundizado lo suficiente en relación con las particularidades en su evolución histórica, ejemplo de ello lo constituyen las publicaciones de Ordóñez et al. (2022) el cual se centra en la necesidad de un marco jurídico integral para la protección de datos en Ecuador, destacando la importancia de la LOPDP, sin embargo le faltó abordar sobre la inexistencia de un reglamento complementario a esta ley y no profundizó en las brechas que presenta la normativa actual, como la necesidad de campañas de concienciación y educación sobre derecho de protección de datos; a su vez el artículo de Maqueo et al. (2017) se enfoca en las disparidades en relación a este tema a nivel internacional y la necesidad real de estándares comunes, sin embargo no tiene en cuenta analizar la situación específica en Ecuador en relación a este particular ni las brechas en relación a la implementación de la LOPDP y le faltó ahondar en relación a cómo estas asimetrías afectan de forma directa a la protección de datos en el contexto ecuatoriano.

La contradicción presente en la actualidad entre la existencia de la normativa de protección de datos personales y el limitado conocimiento sobre su evolución histórica por parte de la ciudadanía ecuatoriana, expresado por Moran (2023) restringe la comprensión en relación con los elementos cruciales en la transformación que ha tenido esta ley. Por tal motivo, profundizar la investigación académica en esta rama del conocimiento propicia la adquisición de información que a mediano y largo plazo facilitará el análisis y juicio que sobre este tema se realice. Esta investigación tiene como objetivo desarrollar una revisión de la literatura sobre la evolución histórica de las normativas de protección de datos personales en Ecuador. Para darle respuesta a este objetivo se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- Q1: ¿Cuáles son los hitos normativos de la protección de datos personales en Ecuador?
- Q2: ¿Que beneficios aporta la Ley Orgánica de Protección de datos personales a la ciudadanía ecuatoriana?
- Q3: ¿Cuáles son las semejanzas y diferencias entre la normativa de datos personales vigente en Ecuador en relación con las existentes en el contexto internacional?
- Q4: ¿Qué brechas en el conocimiento existen en relación con la protección de datos personales en Ecuador?

La respuesta a estas preguntas permitirá identificar las brechas existentes en los artículos publicados en relación con dichas normativas y profundizar en el análisis de los contenidos que hasta ahora se han socializado por parte de la comunidad científica.

2. Materiales y Métodos

La connotación que ha adquirido la protección de datos personales en la actualidad debido al incremento de los delitos informáticos, más que al conocimiento de las personas sobre las leyes que la regulan, ha generado preocupación en los investigadores relacionados con el área de la seguridad informática. En correspondencia, se desarrolló una revisión integradora de la literatura científica publicada en relación con las normativas jurídicas de la protección de información personal en Ecuador. Las bases de datos especializadas consultadas para la identificación de los documentos fueron: Scopus, SciELO, Dialnet y Latindex. Para ello se establecieron los siguientes criterios de inclusión: información procedente de artículos científicos, libros, documentos legales, tesis y páginas web gubernamentales en idioma inglés y español, publicados a texto completo entre los años 2004 y 2024. En cuanto a los criterios de exclusión se consideraron documentos duplicados o que no se ajusten con el tema de investigación. Se utilizó como herramienta de búsqueda combinaciones de palabras clave como: “protección de datos personales”, “Ecuador”, “legislación”, “normativa”, “habeas data”, “datos sensibles”, “tratamiento de datos”, “seguridad de datos” y el operador booleano AND. Esto permitió elaborar la estrategia de búsqueda que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda de la revisión sistemática
Fuente: Los autores.

Bases de datos	Palabras clave	Estrategia de búsqueda
SciELO, Dialnet, Latindex, Scopus	Protección de datos personales, Ecuador, legislación, normativa, habeas data, datos sensibles, tratamiento de datos, seguridad de datos	(Protección de datos personales AND legislación AND normativa) AND (habeas data) AND (datos sensibles) AND (tratamiento de datos) AND (seguridad de datos) AND (Ecuador)

Se identificaron 150 documentos en total, 121 provenientes de bases de datos y 29 de libros, documentos legales, tesis y páginas web gubernamentales. Fueron excluidos 49 por no estar a texto completo, 41 por duplicidad y 30 por no ajustarse al tema. La muestra fue de 30 documentos, de ellos identificados en bases de datos 18 distribuidos en: SciELO n = 7; Dialnet n = 5; Latindex=5; Scopus n = 1. De los nueve obtenidos por otras vías se encuentran: 2 tesis, 1 libro y 6 normas jurídicas los cuales fueron recuperados de páginas web gubernamentales y repositorios, como se representa en el flujograma de búsqueda

de los documentos incluidos el cual fue elaborado teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por la Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Page et al., 2021). (Figura 1)

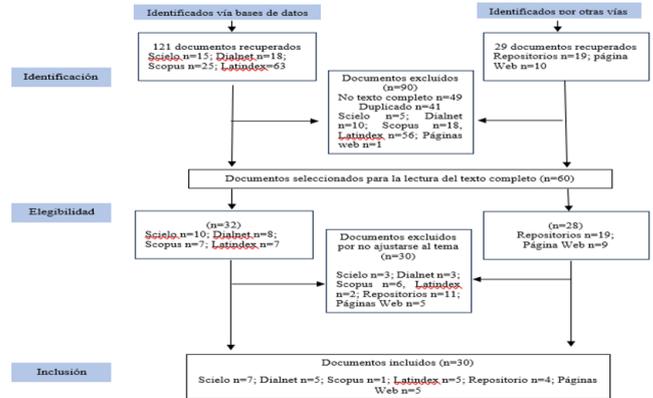


Figura 1. Flujograma de búsqueda de los documentos.

Fuente: Los autores

Los documentos fueron organizados por analogía de la información y se tuvo en cuenta el objetivo del estudio y los temas identificados. Se desarrolló un análisis cualitativo de la investigación, que incluyó la exploración, codificación y relativización de la información, permitiendo así el hallazgo de los temas, codificarlos y establecer relaciones. Para lograr esto, se acudió al análisis de contenido y a la codificación temática.

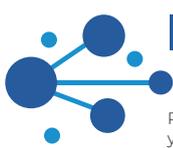
3. Resultados y Discusión

Del análisis de contenido de los documentos identificados para la revisión sistemática emergieron los siguientes subtemas: normativas ecuatorianas que tienen en cuenta la protección de datos personales; evolución histórica de la normativa de datos personales; génesis de la normativa de datos personales; características de las legislaciones que incluyen la protección de datos personales; beneficios y limitaciones de la LOPDP para el ciudadano ecuatoriano; principales normativas existentes sobre protección de datos personales a nivel internacional; semejanzas y diferencias de las leyes sobre protección de datos personales a nivel internacional. Al organizarse por analogía de información se definieron cuatro temas principales que dan respuesta a las preguntas de investigación formuladas en la introducción los cuales se explicitan a continuación.

RQ1: Hitos normativos de la protección de datos personales en Ecuador

Los documentos incluidos en la revisión integradora hacen referencia a las normativas que han tenido en cuenta la protección de datos personales en Ecuador, los cuales fueron publicados entre los años 2004 y 2024, el 73,33 % de las publicaciones fueron realizadas entre 2021 y 2024, de ellas el 40,0 % corresponden al año 2023. Para detallar la información extraída, se elaboró una matriz que contiene: autores, año de publicación, objetivos,





metodología y resultados, la cual se muestra en el anexo A1.

En relación con la evolución que han tenido las normativas de protección de datos personales en Ecuador, eje central de este artículo, se encuentra que el primer acercamiento en el país al tema desde el punto de vista legal ocurrió a través de la transformación a la constitución de 1996. Esta, cambió la constitución de 1976 e incorporó la tutela legal del habeas data que permite a cualquier persona, ya sea natural o jurídica, solicitar y adquirir información existente sobre sí misma, así como requerir su corrección o eliminación si es falsa o desactualizada (Giler, 2023; Naranjo, 2017).

La reforma constitucional de 1996 ocurrió en un escenario de dificultad política y social que se caracterizó por constantes tensiones entre la autoridad ejecutiva y legislativa, lo cual generó inseguridad con relación a la institucionalidad (Rivadeneira, 2023). Por tal motivo, la inclusión del habeas data es percibida como un intento para mejorar la forma de gobierno existente en ese momento y de alguna manera devolver la seguridad en el sistema democrático existente al proporcionar a los ciudadanos instrumentos para defender sus derechos frente al estado y otras entidades (Rosas & Pila, 2023). Según Enríquez (2017) a pesar de que constituyó el punto de inflexión positiva en busca de una normativa legal, la reforma de 1996 no aportó una legislación específica con la cual se lograra regular la aplicación del habeas data de forma efectiva, lo cual causó incertidumbre al no quedar esclarecido como ejercer este derecho, es decir la constitución respalda de forma legal el resguardo de los datos, pero esta medida por sí sola es exigua porque no se dan a conocer las regulaciones específicas al ser muy general y no establecer una autoridad de protección.

El segundo intento por regularizar la protección de datos en Ecuador ocurrió en el año 2004, momento en el cual adquirió vigencia la Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LOTAIP). Esta es una legislación que pretendió asegurar que los datos vinculados a temas de interés público fueran accesibles, oportunos, completos y fidedignos. Así, se propiciaba el ejercicio de los derechos ciudadanos y se promovía responsabilidad por parte de las instituciones gubernamentales (Peñañiel & Estrada, 2022; Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública, 2004).

La LOTAIP se diseñó para fomentar la participación ciudadana en la supervisión de la gestión gubernamental y de esa manera combatir la corrupción (Naranjo, 2020). Según Cuascota (2024) fue promulgada en un contexto en que la sociedad ecuatoriana demandaba mayor claridad en la gestión estatal y percibían la libertad de acceder a la información como un bien fundamental. Sobre ella, De la Torre & Núñez (2023) plantean que tuvo un impacto positivo al establecer un marco normativo que facilitó la facultad ciudadana de obtener datos públicos, sin embargo, su

efectividad estuvo condicionada por la determinación política de las autoridades y la eficiencia de las instituciones para cumplir con los requisitos establecidos, entre los factores a los cuales hacen alusión como limitantes de su efectividad se encuentran, la falta de capacitación del personal en las instituciones públicas, resistencia institucional a su cumplimiento, inexistencia de un mecanismo para sancionar a las instituciones que violaran lo normado, desigualdad en el privilegio ciudadano de acceder a expedientes públicos y la existencia de vacíos legales en el momento de elegir lo que representaba información relevante.

A pesar de estos intentos regulatorios por los cuales transitó la protección de datos en Ecuador, no fue hasta el año 2008 que desde la perspectiva constitucional se reconoce esta como un derecho, lo cual coincidió con el hecho de que la constitución eligió seguir el modelo decretado por la Directiva 95/46/CE del parlamento y consejo europeo adoptada el 24 de octubre de 1995 referente al amparo de los individuos en lo que respecta al manejo de datos personales y a la libre circulación de dichos datos, la cual aboga por altos estándares de tutela a la información de este tipo (Constitución de la República del Ecuador, 2008; Directiva-95-46-CE, 1995). Este reconocimiento legal marcó una pauta en el resguardo de los datos propios en el país, al otorgar a la protección de datos características propias (Naranjo, 2017). De esa manera, se intentó garantizar la privacidad autónoma e independiente de los datos personales, por tanto, el reconocimiento constitucional en 2008 sentó las bases para la creación de la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP) (Dirección Nacional de Registros Públicos, 2024).

Otro paso para validar el acatamiento de los estatutos en vigor hasta ese momento en Ecuador en correspondencia con el amparo de datos personales fue la creación en 2014 del Código Orgánico Integral Penal (COIP), el cual constituye un conjunto sistematizado y organizado de normas jurídicas que contiene las conductas delictivas, el procedimiento penal y su ejecución. Además, incluye disposiciones relacionadas con la protección de datos personales que se centran en prevenir y sancionar conductas que afecten la privacidad y la seguridad de la información personal. El Artículo 230 del COIP establece sanciones para diversas acciones afines con la violación de información personal, algunos ejemplos de delitos de este tipo incluyen: interceptación, escucha, desvío, grabación u observación no autorizada de datos informáticos, diseño, desarrollo o envío de mensajes, páginas electrónicas que induzcan a las personas a ingresar a sitios diferentes a los deseados, copia, clonación o comercialización de información contenida en tarjetas de crédito, débito u otros dispositivos electrónicos y producción, fabricación o distribución de materiales o dispositivos destinados a cometer delitos informáticos (Código Orgánico Integral Penal, 2014; Roldán, 2021).

A pesar de que el COIP representó un avance en la seguridad

de los datos, sobre todo para la corrección de los delitos de este tipo, su impacto se vio limitado por el crecimiento impetuoso de las tecnologías y los ciberdelitos informáticos, siendo obsoleto en casos de criptodelitos, técnica sofisticada de suplantación de identidad y accesos no autorizados a sistemas domóticos (Alvear & Hernández, 2023). Para abordar esta problemática en aquel momento podían ser implementadas varias soluciones normativas como la actualización legislativa que implicaba adaptar el COIP para incluir definiciones y sanciones específicas para delitos informáticos de esta envergadura, alineándose con estándares internacionales como el Convenio de Budapest, lo cual pudo propiciar una mejor tipificación de los delitos como la suplantación de identidad y el ingreso no autorizado a sistemas informáticos. También, el acogimiento de la Ley Orgánica de Protección de Datos, la cual al complementarse con el COIP pudo haber logrado una protección de forma integral que resultara crucial en el contexto del ciberdelito, sin embargo, esta aún no había sido promulgada. Además, para la prevención de delitos como la suplantación de identidad era perentorio implementar programas de educación sobre ciberseguridad dirigidos al público y las empresas.

En ese contexto, el 18 de febrero de 2015 se aprueba la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, afin con la garantía de los datos personales, al promulgarse buscó instituir un marco regulatorio que lo garantizara en un entorno digital en crecimiento (Ley Orgánica de Telecomunicaciones, 2015). Se esperaba que facilitara un manejo responsable de la información personal, promoviendo la confianza en el uso de los servicios de telecomunicaciones y tecnologías. Sin embargo, según Naranjo (2020) la implementación no logró cumplir con estas expectativas, ya que, aunque establece nociones para el tratamiento de los datos, en su aplicación han existido inconsistencias como la falta de una autoridad regulatoria efectiva lo cual limita la capacidad de supervisar y sancionar las violaciones y propicia que las prácticas abusivas persistan. También, el hecho de que la población en general careciera de información sobre las garantías que le amparan respecto a la salvaguarda de su información personal, lo que dificultó las denuncias de abusos, este último factor se ve agravado por la escasa educación en ciberseguridad y derechos digitales (Alvear & Hernández, 2023). Aunque la Ley Orgánica de Telecomunicaciones tuvo aportes en relación con conectividad y regulación del mercado, según Cuascota (2024) sus falencias en aspectos como supervisión, adaptación y educación pública fueron los responsables de su limitada efectividad con respecto a la protección de datos ya que no evolucionó lo suficiente como para abordar de forma adecuada los retos emergentes en el panorama digital, tal como la utilización de inteligencia artificial y el manejo de vastos conjuntos de información.

Ante este escenario legal expuesto, en el año 2021 como parte del enfoque gubernamental “Ecuador eficiente y ciberseguro”, se reconoció la importancia del trabajo en la rama de ciberseguridad y seguridad de datos. Esta medida fue esencial para salvaguardar a los ciudadanos de los riesgos cibernéticos y al mismo tiempo, impulsar el auge del comercio electrónico. Para lograr este objetivo el Gobierno ecuatoriano se comprometió a desarrollar el proyecto conocido como Ley Orgánica de Protección de

Datos Personales (LOPD). El mismo fue discutido y admitido por la Asamblea Nacional (Rosas & Pila, 2023; Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2021).

Su ejecución ha representado un progreso en este campo al reconocer la tutela de datos personales como un derecho esencial, lo que equilibra esta ley con estándares internacionales que promueven la privacidad y seguridad de los ciudadanos. También, la creación de un marco regulatorio claro que obliga a entidades públicas y privadas a cumplir con los requisitos específicos con relación a este particular. Además, la fundación del registro nacional de protección de datos lo cual ha mejorado la claridad y responsabilidad en el manejo de datos personales y sobre todo la contribución que ha tenido en la adquisición de una mayor y mejor conciencia acerca de lo imperativo de salvaguardar la información en la actualidad (Redobrán, 2023; Zambrano et al., 2023). Por otro lado, Cevallos & Delgado (2023) la han criticado por la complejidad y ambigüedad en su redacción que se ha visto reflejado en algunos términos y obligaciones que no están lo suficientemente claros, esto ha generado divergencias en las interpretaciones y falta de equilibrio en su aplicación lo cual ha llevado a inconsistencias en la custodia de los privilegios y garantías constitucionales de la población y a la imposición de sanciones desproporcionadas.

Una vez analizada la literatura, a través de la cual se evidencian los momentos y las normativas legales que han tenido en cuenta la garantía de confidencialidad de los datos en el marco legal de la República de Ecuador, Redobrán (2023), Rosas & Pila (2023) y Zambrano et al. (2023) coinciden en afirmar que cada una de ellas representan hitos en el desarrollo que ha alcanzado el tema en el orden legislativo, ya que estas normativas previas, aunque no abordaron de manera integral la protección de datos, fueron esenciales para crear un contexto legal y una conciencia social sobre la importancia de este tema. Sirvieron como los primeros intentos del Estado ecuatoriano para regular y proteger la información personal de sus ciudadanos. Además, estos cuerpos legales permitieron identificar vacíos y áreas de mejoras que con el tiempo justificaron la necesidad de una legislación más específica y robusta, como la LOPDP, entre ellos la ausencia de una autoridad reguladora, débil protección jurídica, regulaciones sectoriales que no proporcionaban una cobertura homogénea a toda la ciudadanía, limitaciones en el tratamiento de datos transfronterizos, deficiencia en el resguardo durante emergencias y la inexistencia de regulaciones claras sobre cómo adquirir el consentimiento informado para el tratamiento de datos (Alvear & Hernández, 2023; Cevallos & Delgado, 2023; Naranjo, 2020).

Además, la implementación de la Regulación general de protección de datos (RGPD) en la Unión Europea en 2018 tuvo una conmoción global, al posicionarse como un modelo a seguir para que otras jurisdicciones desarrollaran sus propias normativas específicas en la esfera de la seguridad de datos personales, lo cual no solo buscó proteger la privacidad de las personas, sino también fomentar un entorno más seguro y responsable en el área del tratamiento de información privada a nivel global (Aguilar et al., 2023; Hernández et al., 2023). Las normativas previas evidenciaron la necesidad de un marco legal integral que pudiera abordar los desafíos modernos



referente a la intimidad de los datos en un mundo cada vez más digitalizado lo cual fue potenciado por la RGPD que tuvo como propósito central fortalecer la legislación europea al actualizar sus directrices las cuales no respondían de manera adecuada a los desafíos emergentes de los recursos tecnológicos modernos. La Figura 2 presenta los hitos normativos sobre la protección de datos personales en Ecuador identificados en el progreso de la presente revisión.

En tal sentido, Alvear & Hernández (2023) plantean que la LOPDP es un hito importante porque es la primera vez que se tiene un ente regulador específico en el entorno de la seguridad de la información personal. Esta legislación se presenta como un proyecto de iniciativa tras el anuncio de la mayor filtración de datos en Ecuador, que afectó a exfuncionarios del gobierno. En 2019, la firma de ciberseguridad vpnMentor confirmó que un servidor de la empresa Novastrat en Miami contenía información personal de 20 millones de personas, en su mayoría ecuatorianos. Este servidor había sido comprometido, lo que resultó en una filtración masiva que expuso una gran cantidad de información sensible (Gutiérrez, 2022).

deben poseer un propósito justificado el cual puede ser evaluado por la Autoridad de Protección de Datos Personales (Aguilar et al., 2023; Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021; Rosas & Pila, 2023). Estos nuevos elementos, hacen perentorio que los ciudadanos revisen y actualicen sus conocimientos sobre esta norma jurídica para que en la práctica puedan hacer uso de ella de forma adecuada.

En el artículo 4 de la ley se precisa el significado de dato personal como el que caracteriza o tipifica a un ser humano individual, ya sea de manera directa o indirecta (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021). Es importante destacar que este parámetro, sujeto a protección, puede tener diversas formas y contenidos, además de poder encontrarse en cualquier tipo de formato. El requisito fundamental es que admita la identificación de su titular, con independencia de si se requieren procedimientos informáticos para lograrlo. También establece la facultad a no ser sujeto de decisiones basadas en evaluaciones computadas, con el objetivo de resguardar al apoderado de potenciales transgresiones a sus libertades esenciales que podrían surgir de la creación de cuentas sociales. En específico, para menores de

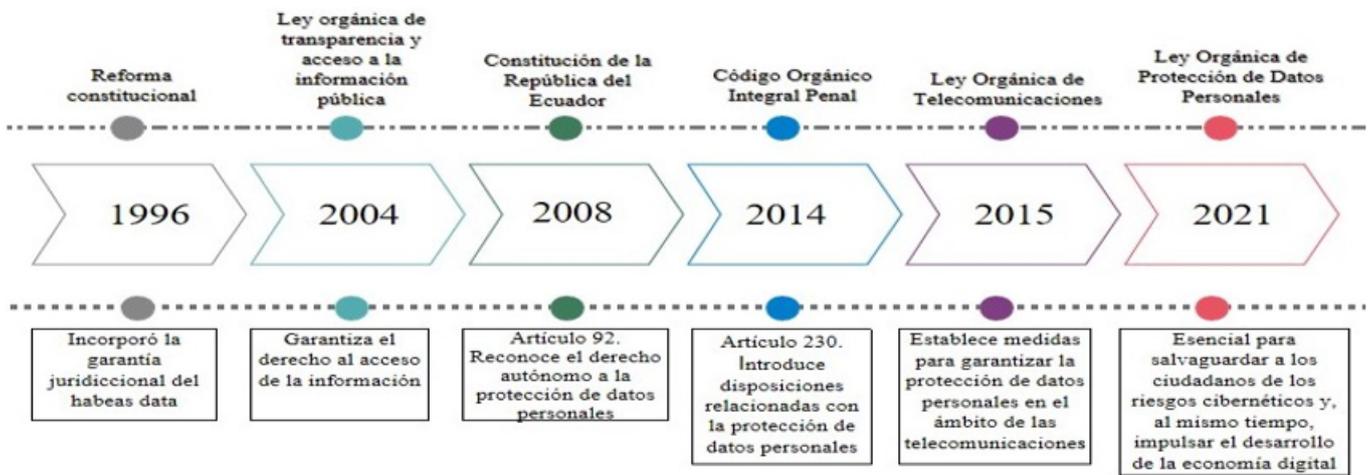


Figura 2. Hitos normativos de la protección de datos personales en Ecuador.
Fuente: Los autores

RQ2: Beneficios de la Ley Orgánica de Protección de datos personales para la ciudadanía ecuatoriana}

Existen dos elementos que caracterizan a la LOPDP que constituyen beneficios directos, estos son su especificidad en el tema y obligatoriedad en su cumplimiento. En correspondencia con esto, la conformidad del propietario para el manejo de sus datos tiene que ser voluntaria, precisa, notificada e incuestionable, según lo establece la ley, esto quiere decir que el ciudadano tiene el derecho de poder decidir sobre quién, de qué manera, en qué momento y con qué fin se procesan sus datos privados. Además, la medida establece que los tratamientos de información personal

edad, se valida este derecho desde una perspectiva sumamente garantista, al enfatizar que este grupo susceptible requiere recursos de preservación especializados.

Además, la norma incorpora una nueva garantía, la instrucción de la población en competencias digitales, lo cual tiene la intención de promover la utilización y la gestión adecuada de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, que representa un beneficio al reducir las disparidades existentes en el país (Abad et al., 2023; Vinueza et al., 2024). En relación con este particular, ambos autores coinciden en que es perentorio que

las personas con independencia de su edad, aprendan a emplear las herramientas tecnológicas de forma efectiva y segura, de manera tal que puedan ser capaces de identificar la información confidencial, evaluar la veracidad de las fuentes de información consultadas, así como percibir las implicaciones éticas y legales de sus acciones. También, la educación digital de los ciudadanos propicia la inclusión, lo cual favorece la adquisición de una consciencia de diversidad cultural y el desarrollo de una personalidad empática de forma tal que las personas puedan interactuar con otros con respeto y sin prejuicios.

La implementación de la LOPDP en Ecuador pretende no solo proteger la privacidad de los ciudadanos, sino que también entre sus objetivos se encuentra fomentar un entorno más seguro y transparente para el manejo de las credenciales personales en el país (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021; Rosas & Pila, 2023). Entre los beneficios que reporta a los ecuatorianos la aprobación de esta ley se encuentran: el control sobre los datos personales, de esta manera los beneficiarios tienen el derecho de acceder, modificar, actualizar o suprimir la información personal que esté en manos de terceros, como empresas, instituciones gubernamentales o cualquier entidad que maneje datos personales; la defensa contra el uso indebido de los datos, en este particular la ley garantiza que los datos no sean manipulados con fines no autorizados, como publicidad no deseada, discriminación o cualquier otro uso que no hayas consentido explícitamente el titular; el derecho al consentimiento informado, así antes de que cualquier organización pueda utilizar los datos, deben informar de manera clara y comprensible sobre cómo y para qué serán usados, y obtener el consentimiento explícito del titular. Esto propicia que las personas estén al tanto y de acuerdo con el uso de su información y la seguridad de los datos, lo cual obliga a las organizaciones a adoptar estrategias de seguridad robustas para preservar los datos de sus usuarios de accesos no autorizados, extravío o sustracción, lo que disminuye el peligro de sufrir fraudes o hurto de identidad y la implementación de recursos ante violaciones. En tal sentido, en condiciones en las cuales los usuarios consideren que sus derechos han sido vulnerados, tienen el recurso de presentar reclamaciones y solicitar la protección de sus datos ante la autoridad competente, lo que le proporciona un recurso legal de defensa en caso de abusos.

Por otro lado, para Ecuador el advenimiento de esta ley representa un fortalecimiento de la confianza en el entorno virtual al implementar estándares elevados de protección de datos, que genera mayor seguridad al emplear servicios en línea y en las transacciones electrónicas, lo que propicia un impulso a la economía digital y atrae inversiones en el sector tecnológico (Zambrano et al., 2023). También garantiza el cumplimiento de estándares internacionales al colocar a Ecuador al mismo nivel de otros países que poseen normativas de seguridad de datos personales, como el RGPD de la Unión Europea (Alvear & Hernández, 2023). Esto no solo facilita las relaciones comerciales con otros países, sino que también abre puertas a nuevas oportunidades de negocio y cooperación internacional, lo cual reporta beneficios al mejorar la imagen del país. También, la adopción de una legislación robusta de tutela de datos proyecta

una imagen de responsabilidad y renovación, lo que puede mejorar la reputación de Ecuador a nivel global y hacerlo más atractivo para empresas multinacionales que precisan operar en un entorno legal seguro y confidencial. Además, representa un incentivo para la innovación y la ciberseguridad al promover el desarrollo de prácticas más efectivas en la administración de datos y el adelanto de tecnologías de ciberseguridad, lo que estimula la innovación en el sector tecnológico nacional y promueve la creación de nuevas empresas enfocadas en la seguridad digital. Asimismo, la LOPDP protege al sector estatal y privado al exigir que las instituciones cumplan con normativas estrictas de protección de datos, esto reduce el riesgo de filtraciones de contenido sensible lo que garantiza la integridad de los sistemas institucionales y la infraestructura del país al lograr fomentar la claridad y la responsabilidad en la gestión, lo cual impulsa a las organizaciones a ser más transparentes en el manejo de los datos lo que puede mejorar la relación entre el Estado, las empresas y la ciudadanía, promoviendo una cultura de mayor responsabilidad y ética en la gestión de la información.

Estos elementos antes mencionados los reafirma Zambrano et al. (2023) al plantear que la LOPDP ha impactado de forma positiva en varios aspectos como el avance logrado respecto a la salvaguarda de la información personal. También opina que la ley es considerada una de las regulaciones más recientes, avanzadas y exhaustivas a nivel latinoamericano en relación con esta materia, lo cual le permite al país abrir oportunidades para expandirse hacia las nuevas directrices del mercado global en cuanto a seguridad de la información personal. Otro aspecto en el cual ha significado un avance es en relación con la garantía de derechos fundamentales, al instaurar un marco normativo que protege la intimidad y dignidad de los ciudadanos. Esto implica que el Estado tiene la responsabilidad y el compromiso de salvaguardar estos derechos y los ciudadanos cuentan con la posibilidad de exigir su cumplimiento (Rosas & Pila, 2023). Entre los derechos fundamentales que garantiza la LOPDP se encuentran el derecho a la obtención de contenido, supresión, rectificación y actualización, así como la oposición al procesamiento de la información personal.

A pesar de los beneficios antes expuestos, Moran (2023) opina diferente al analizar la incidencia de la ley en los derechos digitales de los habitantes en Ecuador durante 2022. Los resultados que revela este estudio en relación con la LOPDP demuestran que no ha tenido un efecto notable en la sociedad, debido al desconocimiento generalizado que existe en la ciudadanía sobre ella. De acuerdo con la encuesta llevada a cabo, el 90 % de los participantes no están familiarizados con la LOPDP, y el 95 % ignora qué derechos protege. Este plantea que la falta de conocimiento sobre la ley implica que su implementación y efectividad sean limitadas, lo que sugiere que, a pesar de su existencia, no sea percibida como un recurso útil para la protección de datos personales. Los resultados que presenta Moran (2023) pueden estar influenciados por el contexto geográfico donde se realizó la investigación y la muestra de personas encuestadas. No obstante, son aspectos que deben ser analizados con profundidad en función de que la ley vigente pueda cumplir con el encargo social para el cual fue creada.

RQ3: Semejanzas y diferencias entre la normativa de datos personales vigente en Ecuador en relación con las existentes en el contexto internacional

En América Latina, Estados Unidos y Europa, el reconocimiento a la salvaguarda de datos personales constituye un tema de relevancia en las legislaciones y regulaciones (Comisión Europea, 2024; Secretaría de Asuntos Jurídicos de la OEA, 2022). En tal sentido, en Europa se considera la privacidad como un derecho fundamental, para lograrlo los 46 Estados pertenecientes al Consejo de Europa fundado en 1949, entre los que se encuentra España, Alemania, Francia, Italia, Reino Unido, Polonia, Ucrania y los países nórdicos han puesto en vigor normativas legales promulgadas por esta organización que tienen en cuenta la garantía básica a la protección de datos personales, entre ellas se encuentran el Convenio 108 del Consejo de Europa, la RGPD y la Directiva 95/46/CE (Aguilar et al., 2023). Estas leyes buscan establecer un sistema sólido de protección para garantizar el ejercicio efectivo de estas legislaciones, de forma especial en un contexto donde las amenazas digitales están en constante aumento.

El Convenio 108 que fue publicado en el año 1981 representa el primer documento internacional que se vincula de forma jurídica con el amparo de los datos al establecer nociones básicas como la transparencia, el consentimiento y la fiabilidad en la gestión de datos (Comisión Europea, 2024). La LOPDP vigente en Ecuador comparte principios similares con este convenio, como el respeto al consentimiento, la restricción de la finalidad y la conservación mínima de datos. No obstante, no aborda las obligaciones de informar sobre incidentes de seguridad y aunque menciona la posibilidad de realizar transferencias de datos internacionales, carece de directrices claras sobre cómo se deben manejar estas transferencias, lo que podría generar incertidumbre (Consejo de Europa, 2012).

Otro referente normativo que fue adoptado en 1995 lo constituye la Directiva 95/46/CE del parlamento europeo, la cual representa la legislación de protección de datos en la Unión Europea, e introduce las bases de “responsable del tratamiento” y “encargado del tratamiento”. También, establece requisitos para la transmisión de datos a naciones extranjeras (Directiva-95-46-CE, 1995). Actualmente, en Europa se encuentra vigente desde 2018 el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), el cual constituye la normativa más completa en esta materia a nivel mundial. El RGPD fortalece las garantías de los ciudadanos, como el acceso, corrección, supresión y portabilidad de sus datos (Diario Oficial de la Unión Europea, 2018). En virtud del RGPD se creó el Comité Europeo de Protección de Datos (CEPD), el cual es una entidad autónoma que supervisa y promueve esta actividad en las instituciones y organizaciones a esa instancia (Comisión Europea, 2024). Además, el CEPD ha adoptado reglas para convenir los métodos implementados por los organismos

supervisores en el cálculo de penalidades por transgresiones a la normativa. Estas directrices buscan asegurar que las ordenanzas impuestas sean eficaces, adecuadas y preventivas, basándose en evaluaciones específicas de cada caso concreto (AEPD, 2023). En comparación con el RGPD, la ley ecuatoriana establece un marco claro de protección, sin embargo, enfrenta desafíos para implementarlo al no tener el mismo nivel de infraestructura de supervisión que posee el RGPD, además la autoridad de control creada posee una capacidad de actuación y autonomía bastante limitadas en comparación con las autoridades europeas.

Según plantea Barrio (2022) en Estados Unidos el enfoque hacia el tema ha sido más fragmentado en comparación con la Unión Europea. A diferencia del RGPD que es una regulación unificada para todos los países miembros, en Estados Unidos la protección de datos se rige por una combinación de leyes estatales y sectoriales, por tanto, no existe una ley federal única que aborde de forma completa el uso de datos personales por parte de la población norteamericana. Aunque se reconoce como derecho constitucional la privacidad individual, esta facultad tiene como objetivo resguardar a las personas contra la intromisión del poder público. Sin embargo, ofrece una protección limitada para prevenir posibles abusos en relación con los datos personales a cargo de actores privados en línea. Una de las legislaciones pioneras en el campo de la protección de datos personales en EE. UU es la Ley de Privacidad del Consumidor de California (CCPA), la cual fue implementada en 2020. Esta tuvo impacto a nivel nacional al otorgar a los residentes de ese estado ciertos derechos sobre sus datos personales. Según Caiza (2023), los consumidores cuentan con el derecho a ser notificados sobre la información personal que se recopilan sobre ellos, a solicitar su eliminación y a elegir no participar en la venta de estos. Aunque es específica de California, su alcance se extiende más allá del estado debido a la influencia económica y tecnológica del territorio, esta legislación contrasta con la ley ecuatoriana vigente que, a pesar de estar en desarrollo, busca establecer un marco normativo específico.

Por otro lado, Contreras (2020) expone que en América Latina existen avances en cuanto a reconocer de manera constitucional la preservación de la información en relación con la esfera de la privacidad. Por ejemplo, en Guatemala en el año 1985 y en Nicaragua en 1987 se establecieron leyes que plantean que los ciudadanos poseen el derecho a la protección de su privacidad ante las plataformas de información estatales (Cajina, 2019; Ipandetec, 2021). Si se comparan estas con la LOPDP ecuatoriana se puede apreciar que las tres legislaciones promulgan principios elementales para el tratamiento de información personal. Por ejemplo, el principio de consentimiento es común en las tres normativas. Sin embargo, en la legislación nicaragüense se plantea que el consentimiento tiene que ser autónomo, concreto y notificado, mientras que la normativa ecuatoriana establece

que debe ser explícito y otorgado antes del tratamiento de la información. Asimismo, las tres leyes enfatizan en lo perentorio de que los datos sean manejados de forma legal y expedita. En relación con el control y supervisión del tratamiento que se le da a los incumplimientos de la ley, en Nicaragua se instituyó una Dirección de protección de datos personales encargada de este particular, mientras que la LOPDP contempla un sistema de sanciones para asegurar la observancia de las regulaciones establecidas por la ley. Por otro lado, cuando se analiza lo referente al alcance territorial y extraterritorial la normativa ecuatoriana tiene un enfoque extraterritorial, al aplicarse no solo a las entidades dentro del país, sino además a aquellas fuera del Ecuador que tratan datos personales de residentes nacionales, en contraste las leyes guatemalteca y nicaragüense no presentan disposiciones tan amplias sobre extraterritorialidad.

Asimismo, en Brasil a partir de 1988, la Constitución reconoció el derecho a la privacidad y estableció la protección judicial del habeas data para proteger este nuevo bien (Asamblea Nacional Constituyente de Brasil, 1988). Una diferencia entre esta legislación y la LOPDP radica en el alcance y detalle normativo, en el caso de la ley ecuatoriana es más extensa y específica en cuanto a los compromisos de las entidades responsables de manejar datos personales, así como las ordenanzas que se aplican por incumplimientos. También, en 1991 la Constitución Política de Colombia redefine el derecho a la intimidad, aplicable tanto a sistemas públicos como privados similitud que comparte con la ley ecuatoriana (Gómez et al., 2020). Sin embargo, la legislación colombiana aborda este derecho con un sentido amplio al establecer que este es general, absoluto, extrapatrimonial, inalienable e imprescriptible, mientras que la LOPDP de Ecuador se centra en regular la manipulación de los datos personales por parte de entes estatales y privados lo cual puede limitar su alcance en relación al manejo del derecho a la intimidad.

En 2017, la Red Iberoamericana de Protección de Datos adoptó el Estándar para países de esta región. Estas normas tienen varios propósitos importantes, entre ellos: establecen un grupo de principios y directrices legales relacionados con la protección de datos personales de las cuales los Estados Iberoamericanos pueden disponer e incluir en sus reglamentos nacionales, aumentar el grado de protección de las personas naturales al procesar sus datos personales, garantizar la efectiva implementación y protección del derecho a la seguridad de los datos en estos países, facilitar el flujo de datos privados entre los países firmantes e impulsar la colaboración internacional entre las autoridades de supervisión de estos (Estándares de Protección de Datos Personales para los Estados Iberoamericanos, 2017).

También, el Protocolo de Adhesión del Acuerdo Comercial entre la Unión Europea, Colombia y Perú fue suscrito por Ecuador el 11 de noviembre de 2016. Su principal objetivo fue fortalecer la dinámica comercial y de inversión entre la UE y los países andinos (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2024). No obstante, la falta de una ley de protección de datos en ese momento impidió que Ecuador se beneficiara de forma total con este acuerdo. Esto ocurre porque, en muchas circunstancias, las operaciones comerciales demandan el flujo transfronterizo de datos, algo inviable en países sin legislación

específica en esta materia (Hernández et al., 2023). Luego de la aprobación de la LOPDP, en el año 2021, Ecuador logró equipararse al resto de países participantes de dicho acuerdo.

Con el análisis del marco normativo internacional, en el escenario de la salvaguarda de datos personales, se puede resumir que en Europa se ha establecido un marco legal robusto y unificado gracias al RGPD mientras que en Estados Unidos se opera con un sistema fragmentado y limitado. América Latina muestra avances que varían en cada país, donde Ecuador da un paso importante, al implementar la LOPDP en el año 2021, pero todavía necesita fortalecer su infraestructura y cumplimiento para estar a la par con las normativas internacionales más avanzadas. A modo de síntesis, en la Tabla 2 se exponen las principales diferencias y semejanzas de las normativas internacionales analizadas en este apartado con la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales suscrita en 2021. Según criterio de Zambrano et al. (2023) la LOPDP es la norma más avanzada y completa en el contexto latinoamericano en el área de la protección de datos personales en comparación con legislaciones referentes a este tema existentes en otros países, lo cual sitúa a Ecuador a la vanguardia entre los países líderes en Latinoamérica en cuanto a la reglamentación de protección de datos.

Tabla 2. Comparativa entre la normativa internacional y la Ley de Protección de Datos Personales
Fuente: Los autores

Normativa internacional	Semejanzas con LOPDP	Diferencias con LOPDP
Convenio 108	Nociones de consentimiento, restricción del propósito de los datos y minimización.	Brinda directrices más precisas sobre cómo se debe manejar la transmisión internacional de información.
Reglamento General de Protección de Datos (RGPD)	Se crea un organismo regulador para la tutela de datos. Normativa específica para la salvaguarda de datos.	Mejor infraestructura para supervisión que permite implementar la normativa de manera eficiente. La autoridad de control creada posee mayor capacidad de actuación y autonomía.
Ley de Privacidad del Consumidor de California (CCPA)	Reconoce el privilegio del usuario de ser informado sobre los datos que se recopilan sobre ellos, solicitar su eliminación y prohibir la venta de estos.	Tiene un enfoque fragmentado, no existe una ley federal única. Su alcance se rige a la ciudad de California.

RQ4: Brechas en el conocimiento identificadas

En la revisión de la literatura referente al desarrollo histórico de la normativa para asegurar los datos privados en Ecuador fueron identificadas como brechas en el conocimiento, la falta de investigaciones que analicen el efecto de la implementación de

la LOPDP en diversas regiones del país y la ausencia de estudios que demuestren la aplicabilidad práctica de la ley en el país.

Sobre la falta de investigaciones que analicen el efecto de la implementación de la LOPDP en diversas regiones del país, a pesar de que existen documentos que discuten el marco legal y su importancia, no se han realizado investigaciones que midan efectivamente el impacto de esta normativa en aspectos como la seguridad de los datos, la percepción de privacidad entre los ecuatorianos o el nivel de conocimiento sobre sus derechos. Esta falta de datos específicos impide a los investigadores y responsables políticos entender cómo se está implementando la ley y si realmente está cumpliendo su propósito de proteger a los ciudadanos.

En cuanto a la segunda brecha identificada, aunque se reconoce que la ley establece derechos y obligaciones, no hay evidencia suficiente sobre su implementación efectiva por parte de las instituciones y organizaciones responsables. Sin estudios que den a conocer y analicen casos concretos o ejemplos prácticos, es difícil evaluar si las disposiciones legales están siendo seguidas y si los ciudadanos están realmente beneficiándose de las protecciones ofrecidas. Esta falta de evidencias prácticas puede generar desconfianza en el sistema y limitar el potencial de la LOPDP para mejorar el resguardo de los datos personales en Ecuador.

4. Conclusiones

La investigación concluye que la evolución de la normativa de protección de datos en Ecuador ha estado marcada por varios hitos legislativos importantes como la Reforma Constitucional de 1996, la Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública del 2004, la Constitución del 2008, el Código Orgánico Integral Penal del 2014, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones del 2015 y la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales promulgada en 2021. Este marco legal ha sido crucial para elevar la conciencia pública sobre la protección de la privacidad y la gestión de la información personal en un contexto digital creciente. Sin embargo, es necesario fortalecer la implementación y la supervisión de esta normativa para que tenga correspondencia con la realidad actual y los desafíos tecnológicos futuros.

La LOPDP ha brindado beneficios específicos a los ciudadanos ecuatorianos al otorgarles mayor control sobre el tratamiento

de sus datos personales, garantizando derechos como el acceso, rectificación y eliminación de la información. No obstante, la falta de conocimiento generalizado sobre esta ley limita su efectividad, lo que representa un reto para futuras investigaciones y esfuerzos de divulgación sobre derechos de privacidad.

Si bien la LOPDP comparte similitudes con normativas internacionales, como el RGPD de la Unión Europea, aún presenta diferencias significativas en su infraestructura y mecanismos de supervisión. Para futuras mejoras, se sugiere una mayor alineación con estos estándares internacionales, especialmente en cuanto a la regulación de la transferencia de datos internacionales y la capacidad de las autoridades de protección de datos para actuar de manera autónoma.

Por otro lado, la limitación del estudio está dada por la imposibilidad de obtener más artículos cuyo acceso es restringido lo cual impidió la inclusión de un número mayor de documentos. Además, este estudio ha identificado brechas importantes en la literatura, especialmente la falta de investigaciones empíricas sobre el impacto de la LOPDP en diferentes regiones del Ecuador y la aplicabilidad práctica de la ley. Estas brechas representan otra limitante para el estudio debido a que estos hallazgos hubiesen permitido una mayor profundidad en la comparación del resultado del análisis y encontrar sinergias o regularidades que favorecieran el enriquecimiento de este. A su vez constituyen una oportunidad valiosa para futuras investigaciones que analicen el nivel de cumplimiento de la normativa y su verdadero impacto en la seguridad de los datos de los ciudadanos.

Contribución de los autores

Anniabel de la Caridad Cardet Sarduy: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción-borrador original del artículo, Redacción- revisión y edición del artículo. **Jesennia del Pilar Cárdenas Cobo:** Supervisión, Validación, Redacción-revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Anexos

A.1 Matriz de los estudios incluidos en la revisión sistemática

Autor/año	Objetivo	Metodología	Conclusiones
Aguilar et al. (2023)	Analizar los principios de la LOPDP.	Estudio cualitativo, revisión sistemática de la literatura	El hecho de contar con una Ley que resguarda los datos personales no garantiza la seguridad de esta información, se precisa además una transformación social al respecto.
Cevallos & Delgado (2023)	Examinar el efecto de la LOPDP en la promoción del Objetivo de Desarrollo Sostenible número 16 en el escenario del Ecuador	Estudio cualitativo analítico	Se requiere de un mejor conocimiento sobre la norma jurídica para una más eficiente implementación de la ley.
Giler (2023)	Investigar la situación actual relacionada con la protección judicial del hábeas data y su regulación normativa.	Estudio cualitativo	La garantía del hábeas data resguarda la legitimidad a la vida privada, a la intimidad personal, a la identificación, al resguardo de datos personales y a la autodeterminación informativa.
Gutiérrez (2022)	Analizar desde una perspectiva teórica, la importancia de establecer regulaciones para los datos personales.	Cualitativo teórico	El estado debe garantizar la implementación adecuada de la norma jurídica a partir de su correcto análisis y conocimiento.
Naranjo (2017)	Tratar la esencia jurídica de los datos personales como base para el derecho a la protección de datos.	Artículo de revisión	Los criterios, en lugar de ser exhaustivos, pueden no contemplar adecuadamente los componentes del derecho a la protección de datos personales y, por el contrario, generar confusión o resultar inapropiados para salvaguardar efectivamente este derecho.
Peñañiel & Estrada (2022)	Valorar los sitios web de ministerios con el fin de fomentar la intervención de los residentes y asegurar un acceso adecuado a la información pública.	Estudio cuantitativo de tipo descriptivo	La administración digital facilita la afiliación de la ciudadanía en la esfera pública, fomentando así una participación más activa de los habitantes en los asuntos de gobierno.
Ordóñez et al. (2022)	Resaltar la importancia de robustecer la salvaguarda del derecho esencial a la privacidad datos sensibles, a través del desarrollo e implementación de estrategias gubernamentales en el contexto ecuatoriano.	Estudio cualitativo	Las estrategias gubernamentales han de orientarse hacia la eficaz anticipación de riesgos y la sensibilización respecto al adecuado manejo y procesamiento de la información personal.
Rosas & Pila (2023)	Efectuar un análisis cronológico de la evolución y afianzamiento del derecho esencial a la salvaguarda de la información personal en el marco jurídico ecuatoriano.	Artículo de revisión	No obstante la normativa vigente, la práctica global evidencia que los peligros y vulnerabilidades en el ciberespacio se multiplican aceleradamente, en paralelo al avance de las herramientas digitales y los sistemas de telecomunicaciones.
Caiza (2023)	Desarrollar un modelo preliminar que cumpla con el manejo de la información del usuario y regule el ingreso a los datos privados, en conformidad con los lineamientos estipulados en la LOPDP.	Revisión sistemática	Implementar la cadena de bloques como solución tecnológica para cumplir con los requerimientos de la normativa sobre resguardo de información personal es una opción viable.
Cuascota (2024)	Efectuar un estudio legal y teórico concerniente a la efectividad de la salvaguarda de la información personal en el contexto de las transacciones digitales, examinando su vinculación con las infracciones contra la privacidad.	Estudio cualitativo	En Ecuador, la efectividad de la reglamentación vigente sobre tutela de datos se ve obstaculizada por dos factores principales: por un lado, las lagunas en el marco regulatorio y, por otro, el escaso conocimiento de la población sobre sus derechos en esta materia. Esta situación pone de manifiesto la urgencia de desarrollar e implementar un sistema normativo más sólido y funcional en el país.



Código Orgánico Integral Penal (2014)	Implementar modificaciones legislativas que reflejen fielmente los principios y valores fundamentales consagrados en la Constitución	Ley	Ajustar la legislación y otras disposiciones legales, tanto en su estructura como en su contenido, para que se alineen plenamente con las garantías y libertades establecidas en el texto constitucional.
Constitución de la República del Ecuador (2008)	Establece las pautas y derechos constitucionales de los ciudadanos de Ecuador	Ley	Establecimiento de las disposiciones legales para el ejercicio constitucional del ciudadano ecuatoriano.
Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (2021)	Desarrollar un esquema normativo específico orientado a proteger y garantizar la integridad en el procesamiento y depósito de la información privada de los habitantes de Ecuador.	Ley	Define los lineamientos, dictámenes y otros elementos pertinentes para amparar la información de los individuos con nacionalidad ecuatoriana.
Ley Orgánica de Telecomunicaciones (2015)	Impulsar la ampliación y el afianzamiento de la industria de las comunicaciones a distancia.	Ley	Establece regulaciones exhaustivas para las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico, que son sectores clave del Estado
Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública (2004)	Acatar las disposiciones constitucionales que exigen a todos los organismos estatales mantener prácticas de apertura informativa, claridad en sus acciones y responsabilidad ante la ciudadanía por su gestión.	Ley	Garantiza y regula la práctica del derecho fundamental de los ciudadanos a acceder a la información, en armonía con las garantías previstas en la Constitución Política de la República.
Dirección Nacional de Registros Públicos (2024)	Comunicar el proyecto de ley de protección de datos en Ecuador.	Página web oficial	Se reconocen derechos como acceso, rectificación, cancelación, eliminación, educación y capacitación digitales.
Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca (2024)	Anunciar la firma del Protocolo de Adhesión de Ecuador al Acuerdo Comercial Multipartes con la Unión Europea.	Página web oficial	El convenio comercial con la Unión Europea beneficia a Ecuador con el desbloqueo de exportaciones de productos agrícolas e industriales.
Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (2021)	Anunciar a la ciudadanía sobre el plan “Ecuador Eficiente y Ciberseguro” y sus objetivos.	Página web oficial	El plan “Ecuador Eficiente y Ciberseguro” es una iniciativa ambiciosa que busca transformar la gestión pública y elevar el bienestar de los ciudadanos.
De la Torre & Núñez (2023)	Evaluar el grado de acatamiento del artículo 7 de la LOTAIP por parte de los 221 GAD's del Ecuador.	Artículo original	Solo un 31.22% de los GAD se ajusta a las normativas de divulgación establecidas por la LOTAIP.
Diario Oficial de la Unión Europea (2018)	Asegurar el amparo de los datos personales de los individuos al manejar sus datos por parte de las instituciones de la Unión Europea.	Ley	Se definen condiciones claras bajo las cuales los datos pueden ser tratados, incluyendo la necesidad de consentimiento informado y la limitación de la conservación de datos al mínimo necesario.

Vinueza et al. (2024)	Examinar, valorar y sugerir estrategias completas de protección de la información, así como principios eficaces de preservación para la administración de datos personales en las entidades públicas.	Artículo original	Se identifican cinco desafíos clave que enfrentan las instituciones públicas en Ecuador, como el cumplimiento de la LOPD, la implementación de medidas de seguridad, la comunicación de incidentes, la gestión eficiente de datos y la realización de auditorías internas.
Hernández et al. (2023)	Evaluar el impacto de la ausencia de un estatuto específico en la eficacia del respaldo de datos personales dentro del marco legal ecuatoriano.	Artículo de revisión.	Se concluye que es imperativo publicar un estatuto que perfeccione la ley existente para garantizar un resguardo correcto de los datos personales en Ecuador
Enríquez (2017)	Examinar las limitaciones del borrador de ley para amparar la privacidad y los datos, identificando sus principales fallos y omisiones.	Artículo de revisión.	La legislación actual en Ecuador es insuficiente y dispersa, lo que impide una protección segura de los datos personales.
Alvear & Hernández (2023)	Evaluar las similitudes y diferencias entre la LOPDP de Ecuador y la ley peruana.	Revisión sistemática	Si bien las dos normativas tienen como objetivo salvaguardar la confidencialidad y resguardar los datos, se observan contrastes notables en cuanto a su aplicación práctica y el grado en que logran sus propósitos.
Abad et al. (2023)	Analizar la reglamentación ecuatoriana acerca de la custodia de datos personales y su relevancia en el medio de la investigación científica.	Revisión sistemática	La legislación ecuatoriana establece un marco robusto que suscita la claridad y el compromiso en el manejo de datos, aunque se requiere un cumplimiento riguroso de estos principios.
Moran (2023)	Analizar la incidencia de la LOPDP en los derechos en línea de los ciudadanos en Ecuador durante el año 2022.	Artículo original	La LOPDP en Ecuador aún no ha tenido un impacto significativo debido al desconocimiento general de la misma entre los ciudadanos.
Naranjo (2020)	Analizar la normativa vigente y su efectividad en el resguardo de datos, destacando la falta de regulaciones específicas y coherentes.	Revisión sistemática	La escasez de comprensión sobre los derechos al resguardo de los datos entre la población ecuatoriana contribuye a la vulneración de estos derechos.
Roldán (2021)	Evaluar el nivel de salvaguarda de información personal que pretende establecer la propuesta legislativa ecuatoriana sobre privacidad de datos.	Artículo original	El ordenamiento jurídico ecuatoriano tiene falencias al momento de proteger adecuadamente la garantía esencial de salvaguardar la información privada del individuo.
Zambrano et al. (2023)	Examinar los elementos clave y disposiciones más significativas de la normativa ecuatoriana sobre privacidad y resguardo de datos personales.	Revisión sistemática	La normativa ecuatoriana de privacidad de la información destaca en la región por su modernidad y amplitud, posicionando al país favorablemente ante las dinámicas emergentes de la economía mundial
Redobrán (2023)	Determinar las garantías inherentes a la salvaguarda de información personal y sus posibles infracciones, con énfasis en el uso de plataformas digitales en tiempos de crisis sanitaria.	Revisión sistemática	El marco legal sobre privacidad de datos en Ecuador es novel y requiere reforzamiento para asegurar eficazmente la confidencialidad de datos privados de sus habitantes en la época informática.



Referencias bibliográficas

- Abad Arévalo, D., Peñaherrera Toapaxi, D., & Campos-Miño, S. (2023). Bases Legales para la Investigación Científica en Ecuador Ley orgánica de protección de datos personales. *Metro Ciencia*, 31(1), 3–6.
- AEPD. (2023). *El Comité Europeo de Protección de Datos adopta unas directrices de cálculo de sanciones*. <https://www.aepd.es/prensa-y-comunicacion/notas-de-prensa/edpb-adopta-directrices-calculo-sanciones>
- Aguilar Martínez, M. R., Paredes López, J. A., Gordillo Cevallos, D. P., & León Burgos, G. P. (2023). La protección de datos personales en Ecuador. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina RPNS*, 10(1), 369–382. <https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/3594/3138>
- Alvear Richards, G. E., & Hernández Pesantes, E. A. (2023). *Análisis comparativo de la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales del Ecuador con la legislación peruana desde un enfoque de ciberseguridad y delitos informáticos*. [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25257/1/UPS-CT010631.pdf>
- Asamblea Nacional Constituyente de Brasil. (1988). *Constitución de la República Federativa del Brasil, 1988*. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2001/0507.pdf>
- Barrio Andrés, M. (2022). La regulación del derecho a la protección de datos en los Estados Unidos: hacia un RGPD norteamericano. *Cuadernos de Derecho Transnacional*, 14(2), 186–193. <https://doi.org/10.20318/cdt.2022.7181>
- Caiza Jiménez, B. J. (2023). *Soluciones tecnológicas para dar cumplimiento con lo establecido con la Ley Orgánica de Protección de Datos* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24429/1/CD%2013353.pdf>
- Cajina, R. (2019). *Estudio Centroamericano de Protección de Datos, Nicaragua*. Instituto Panameño de Derecho y Nuevas Tecnologías. https://www.ipandetec.org/wp-content/uploads/2019/03/EDP_Nicaragua-2.pdf
- Cevallos Vélez, L. R., & Delgado Cedeño, J. R. (2023). Ley de Protección de Datos Personales: Impacto en la promoción del ODS 16 en el Ecuador. *Reincisol.*, 2(4), 271–303. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V2\(4\)271-303](https://doi.org/10.59282/reincisol.V2(4)271-303)
- Código Orgánico Integral Penal*. (2014). https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-11/DOCUMENTO_C3%93DIGO-ORG%81NICO-INTEGRAL-PENAL-COIP_0.pdf
- Comisión Europea. (2024). *La protección de datos en la UE*. https://commission.europa.eu/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_es
- Consejo de Europa. (2012). *Convenio N° 108*. <https://www.oas.org/es/sla/ddi/docs/u12%20convenio%20n%20108.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador*. (2008). <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/CONSTITUCION%202008.pdf>
- Contreras, P. (2020). El derecho a la protección de datos personales y el reconocimiento de la autodeterminación informativa en la Constitución chilena. *Estudios Constitucionales*, 18(2), 87–120. <https://doi.org/10.4067/S0718-52002020000200087>
- Cuascota Farinango, A. G. (2024). *La eficacia de la protección de datos personales en el comercio electrónico y el delito de violación a la intimidad* [Universidad Nacional de Chimborazo].
- De la Torre, S., & Núñez, S. (2023). Transparencia en la administración pública municipal del Ecuador. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, 14, 53–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.32719/25506641.2023.14.3>
- Deloitte. (2024). *Protección de datos personales. Autogestión del riesgo*. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/risk/Proteccion%81NICO-INTEGRAL-PENAL-COIP_0.pdf
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2018). *Reglamento (UE) 2018/1725 del Parlamento europeo y del consejo*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1725>
- Dirección Nacional de Registros Públicos. (2024). *La Constitución establece que el Ecuador tiene derecho a la protección de datos personales*. <https://www.registrospublicos.gob.ec/la-constitucion-establece-que-el-ecuador-tiene-derecho-a-la-proteccion-de-datos-personales/>
- Directiva-95-46-CE*. (1995). <https://www.oas.org/es/sla/ddi/docs/Directiva-95-46-CE.pdf>
- Enríquez Álvarez, L. (2017). Paradigmas de la protección de datos personales en Ecuador. Análisis del proyecto de Ley Orgánica de Protección a los Derechos a la Intimidad y Privacidad sobre los Datos Personales. *Foro: Revista de Derecho*, 27. <http://scielo.senescyt>

- gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-24842017000100043&lng=es&tlng=es.
- Estándares de Protección de Datos Personales para los Estados Iberoamericanos.* (2017). https://www.redipd.org/sites/default/files/inline-files/Estandares_Esp_Con_logo_RIPD.pdf
- Giler Fernández, P. A. (2023). La garantía jurisdiccional del hábeas data y sus implicaciones en Ecuador. Una aproximación al tratamiento normativo y jurisprudencial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 5064–5080. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6534
- Gómez Córdoba, A., Arévalo Leal, S., Bernal Camargo, D., & Rosero de los Ríos, D. (2020). El derecho a la protección de datos personales, tecnologías digitales y pandemia por COVID-19 en Colombia. *Revista de Bioética y Derecho*, 50, 271–294. <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n50/1886-5887-bioetica-50-00271.pdf>
- Gutiérrez Proenza, J. (2022). Datos personales en el Ecuador como un derecho humano una necesidad de mejoramiento en su regulación. *Revista Jurídica Crítica y Derecho*, 3(5), 53–66. <https://doi.org/10.29166/cyd.v3i5.3950>
- Hernández Alvarado, V. J., Pingel Llanos, O. F., & Coello Avilés, E. M. (2023). Ley Orgánica de Protección de Datos en Ecuador: requerimiento de un reglamento ausente. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, 114. <https://doi.org/https://doi.org/10.46377/dilemas.v11iEspecial.3988>
- Ipandetec. (2021). *Hacia una Ley de protección de datos personales en Guatemala.*
- Ley Orgánica de Protección de Datos Personales.* (2021). https://www.finanzaspopulares.gob.ec/wp-content/uploads/2021/07/ley_organica_de_proteccion_de_datos_personales.pdf
- Ley Orgánica de Telecomunicaciones.* (2015). <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/ley-organica-de-telecomunicaciones.pdf>
- Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública.* (2004). <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/LOTAIP.pdf>
- Maqueo Ramírez, M. S., Moreno González, J., & Recio Gayo, M. (2017). Protección de datos personales, privacidad y vida privada: la inquietante búsqueda de un equilibrio global necesario. *Revista de derecho (Valdivia)*, 30(1), 77–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-09502017000100004>
- Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2024). *Acuerdo Comercial Ecuador – Unión Europea.* <https://www.produccion.gob.ec/acuerdo-comercial-ecuador-union-europea/>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2021). *Ecuador Eficiente y Ciberseguro.* <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-eficiente-y-ciberseguro/>
- Moran Barreto, I. (2023). La Ley de protección de datos y su incidencia en los derechos digitales en Ecuador en el año 2022. *Revista de Producción Ciencias e Investigación*, 7(48), 57–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol7iss48.2023pp57-66>
- Naranjo Godoy, L. (2017). El dato personal como presupuesto del derecho a la protección de datos personales y del hábeas data en Ecuador. *Foro: Revista de Derecho*, 27, 63–82. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/foro/n27/2631-2484-foro-27-00063.pdf>
- Naranjo, L. (2020). Situación de la protección de datos personales en Ecuador. *Revista Cálamo*, 13, 6–33. <https://doi.org/10.61243/calamo.13.156>
- Ordóñez Pineda, L., Correa Quezada, L., & Correa Conde, A. (2022). Políticas públicas y protección de datos personales en Ecuador: reflexiones desde la emergencia sanitaria. *Estado & comunes, revista de políticas y problemas públicos*, 2(15), 75–95. https://doi.org/10.37228/estado_comunes.v2.n15.2022.270
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Peñafiel Mendoza, J., & Estrada Cuzcano, A. (2022). Portales de los Ministerios de Gobierno del Ecuador: Elemento clave para la participación ciudadana. *ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 6(Especial), 40–47. <https://doi.org/10.33936/rehuso.v6iEspecial.4660>
- Redobrán Barreto, W. E. (2023). Protección de datos personales en Ecuador a consecuencia de la emergencia sanitaria Covid-19. *Universidad y Sociedad*, 15(2), 194–206. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v15n2/2218-3620-rus-15-02-194.pdf>
- Rivadeneira Cabezas, V. E. (2023). *Reforma constitucional en el Ecuador a la luz de la teoría democrática de la Constitución: Un análisis desde su realidad jurídica a partir de 1978* [Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/9960/1/SM366-Rivadeneira-Reforma.pdf>
- Roldán Carrillo, F. N. (2021). Los ejes centrales de la protección de datos: consentimiento y finalidad. Críticas y propuestas





hacia una regulación de la protección de datos personales en Ecuador. *USFQ Law Review*, 8(1), 175–202. <https://doi.org/10.18272/ulr.v8i1.2184>

Rosas-Lanas, G., & Pila-Cárdenas, G. (2023). La protección de datos personales en Ecuador Una revisión histórica-normativa de este derecho fundamental en el país suramericano. *Revista Internacional de Cultura*, 13(2), 1–16. <https://doi.org/10.37467/revvisual.v10.4568>

Secretaría de Asuntos Jurídicos de la OEA. (2022). *Principios Actualizados sobre la Privacidad y la Protección de Datos Personales* (1a ed.). https://www.oas.org/es/sla/cji/docs/Publicacion_Proteccion_Datos_Personales_Principios_Actualizados_2021.pdf

Vinueza Ochoa, N. V., Macias Álvarez, M. Á., & Maldonado Manzano, R. L. (2024). Implementación de medidas de seguridad y principio de conservación de datos según la ley orgánica de protección de datos personales en instituciones públicas de Babahoyo, Ecuador. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 66(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.46377/dilemas.v11i2.4080>

Zambrano Rendón, A. D., Cedeño-Valarezo, L. C., Loor Morales, M. E., & Zambrano Zambrano, J. A. (2023). Análisis de los derechos a la intimidad y privacidad sobre los datos personales en la legislación Ecuatoriana. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 7(1), 7–16. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v7i1.5793>

Robótica Educativa como Estrategia de Aprendizaje y Desarrollo de la Personalidad en Niños con Autismo

Educational Robotics as a Learning Strategy and Personality Development for Children with Autism

Autores

✉ *¹ *Cristhy Nataly Jiménez Granizo*



✉² *Manuel Joaquín Machado Sotomayor*



¹Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ciencias de la Educación Humanas y Tecnologías, Carrera de Pedagogía de la Informática, Ecuador, Riobamba.

²Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ciencias de la Educación Humanas y Tecnologías, Carrera de Educación Básica, Ecuador, Riobamba.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Jiménez Granizo, C. N., & Machado Sotomayor, M. J. (2024). Robótica Educativa como Estrategia de Aprendizaje y Desarrollo de la Personalidad en Niños con Autismo. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(2), pp. 102–110. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.6870>

Enviado: 29/07/2024

Aceptado: 06/11/2024

Publicado: 13/11/2024

Resumen

En un entorno educativo cada vez más diverso, se enfrenta el desafío de proporcionar una educación inclusiva y de calidad a estudiantes con necesidades educativas específicas (NEE), entre ellos los niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA). El autismo, un trastorno del desarrollo neurológico, afecta la comunicación, la socialización y el comportamiento, lo que dificulta la adaptación a entornos educativos convencionales. Este estudio aborda la implementación de estrategias pedagógicas basadas en robótica educativa para facilitar el proceso educativo de una niña de siete años con autismo. La investigación abordó el caso de estudio de una estudiante de segundo año de Educación General Básica, diagnosticada con TEA. Mediante técnicas cualitativas como la observación y entrevistas, se identificaron sus características y necesidades específicas. La indagación previa reveló que el sujeto de estudio enfrenta dificultades en la motricidad fina, la socialización y la comunicación, además de comportamientos repetitivos y sensibilidad sensorial. La propuesta pedagógica desarrollada incluyó el uso de kits de robótica para mejorar la motricidad fina, fomentar la obediencia, facilitar la comunicación y reducir comportamientos disruptivos. La implementación parcial de estas estrategias mostró resultados positivos en el desarrollo de habilidades académicas y sociales de la niña con autismo, destacando la eficacia de la tecnología como herramienta educativa inclusiva. Esta investigación subraya la importancia de adaptar el currículo a las necesidades individuales, promoviendo un entorno educativo más inclusivo y efectivo para estudiantes con autismo.

Palabras clave: robótica educativa; estrategia de aprendizaje; propuesta pedagógica; necesidades educativas específicas; autismo.

Abstract

In an increasingly diverse educational environment, the challenge of providing inclusive and high-quality education to students with specific educational needs (SEN), including children with Autism Spectrum Disorder (ASD), is faced. Autism, a neurological developmental disorder, affects communication, socialization, and behavior, making it difficult to adapt to conventional educational settings. This study addresses the implementation of pedagogical strategies based on educational robotics to facilitate the educational process of a seven-year-old girl with autism. The research focused on a case study of a second-year General Basic Education student diagnosed with ASD. Through qualitative techniques such as observation and interviews, her characteristics and specific needs were identified. Preliminary investigation revealed that the subject faces difficulties in fine motor skills, socialization, and communication, as well as repetitive behaviors and sensory sensitivity. The developed pedagogical proposal included the use of robotics kits and visual programming applications to improve fine motor skills, encourage compliance with instructions, facilitate communication, and reduce disruptive behaviors. The partial implementation of these strategies showed positive results in the development of academic and social skills in the girl with autism, highlighting the effectiveness of technology as an inclusive educational tool. This research underscores the importance of adapting the curriculum to meet individual needs, fostering a more inclusive and effective educational environment for students with autism.

Keywords: educational robotics; learning strategy; pedagogical proposal; special educational needs; autism.



1. Introducción

En un mundo diverso y en constante evolución, la educación busca promover la igualdad de oportunidades. Sin embargo, en este viaje hacia la equidad, nos encontramos con una realidad que desafía nuestras concepciones tradicionales. No todos los estudiantes alcanzan el mismo nivel de aprendizaje, especialmente aquellos con Necesidades Educativas Específicas (NEE), las cuales representan una brecha para lograr un aprendizaje universal (Francisco et al., 2020).

En el contexto de las NEE, el autismo constituye un trastorno del desarrollo neurológico que presenta desafíos educativos. Los niños con autismo suelen tener dificultades para adaptarse a entornos educativos convencionales debido a sus necesidades y estilos de aprendizaje únicos, afectando su comportamiento, comunicación y socialización (Figueroa & Román, 2021; Morris & Crocq, 2020). Estos desafíos resaltan la importancia de adaptar el currículo para crear entornos educativos más inclusivos (García & Fernández, 2022; Vazquez et al., 2020).

La educación inclusiva enfrenta el reto de proporcionar estrategias que atiendan las necesidades de estos estudiantes con NEE por lo que, es necesario contar con estrategias adecuadas que promuevan ayudar su aprendizaje y desarrollo (Schwalb, 2022). En este contexto, la tecnología, particularmente la robótica educativa, surge como una herramienta poderosa para mejorar el aprendizaje y la participación social de los estudiantes con autismo (Anwar et al., 2019; Benitti, 2012). A pesar de que los estudios sobre el uso de la robótica en educación especial resaltan su potencial para mejorar habilidades sociales y de comunicación en niños con autismo, facilitando las interacciones guiadas y repetitivas (Cabibihan et al., 2013), hoy en día no está claro cómo integrar estas herramientas en el currículo educativo y adaptarlas a las necesidades individuales de los estudiantes.

Este manuscrito sintetiza el trabajo realizado en la exploración y propuesta de estrategias pedagógicas basadas en robótica educativa que puedan ser consideradas en adaptaciones curriculares para atender el proceso educativo de una niña con trastorno del espectro autista (TEA). El estudio identificó las características de la niña y planteó estrategias que promuevan su participación social y adaptación al proceso de enseñanza aprendizaje. Los resultados indicaron que el uso de la tecnología y específicamente de la robótica educativa permite desarrollar estrategias pedagógicas innovadoras, mejorando la comunicación y adquisición de habilidades académicas y sociales en niños con TEA, promoviendo así su inclusión activa en el proceso educativo.

Influencia del autismo en el aprendizaje y desarrollo de la personalidad

El autismo infantil es considerado un trastorno neurológico que afecta el comportamiento, la comunicación y la interacción social desde la infancia y persiste a lo largo de la vida (Baldares & Orozco, 2012). Los niños con autismo suelen tener dificultades para entender y expresar emociones, y para relacionarse adecuadamente con los demás. También pueden manifestar comportamientos repetitivos y alta sensibilidad a estímulos sensoriales (Agrela et al., 2024; Hernández et al., 2015).

A pesar de los avances en la comprensión del autismo, no se ha identificado una causa única. Se presume que su origen proviene de una combinación de factores genéticos y ambientales (Kowalczyk, 2021). Algunos estudios señalan que las variaciones genéticas que pueden aumentar el riesgo de desarrollar el trastorno aunque no en todos los casos (García et al., 2019).

El autismo influye significativamente en el proceso de aprendizaje y desarrollo de la personalidad de los niños. Según Donzino (2020), las dificultades de comunicación, la interacción social limitada, los comportamientos repetitivos y las sensibilidades sensoriales son características comunes que complican el desarrollo educativo. La falta de habilidades verbales y no verbales dificulta la expresión de necesidades y la comprensión de las instrucciones de los maestros. Además, los estímulos sensoriales abrumadores y la necesidad de rutinas estrictas pueden interferir con la capacidad de adaptación a las dinámicas escolares habituales (Naranjo, 2022).

En cuanto al desarrollo de la personalidad, los niños con autismo enfrentan desafíos particulares. González et al. (2023) mencionan que, debido a las dificultades en la interacción social y la comunicación, pueden experimentar baja autoestima y autoconcepto. La frustración y ansiedad también son comunes, derivadas de las barreras de comunicación y la interacción social. No obstante, algunos niños desarrollan intereses y talentos únicos que contribuyen positivamente a su personalidad, y con el apoyo adecuado, pueden mejorar sus habilidades de empatía y comprensión.

Estrategias tecnológicas de atención para niños con autismo en etapa escolar

Las estrategias educativas tecnológicas desempeñan un rol fundamental en la atención de niños con autismo en etapa escolar, facilitando su aprendizaje y mejorando su inclusión en entornos educativos. La educación inclusiva busca integrar a estos niños en aulas regulares con el apoyo necesario, promoviendo la interacción social y el desarrollo de habilidades académicas (Vazquez et al., 2020). Para

aqueellos con dificultades en la comunicación verbal, se emplean sistemas alternativos, como el uso de pictogramas y dispositivos de comunicación aumentativa (García & Fernández, 2022), que les permiten expresar sus necesidades y participar activamente en el aula.

La adaptación del currículo es igualmente crucial ya que personalizar el contenido, los métodos y la evaluación es esencial para asegurar una educación inclusiva y eficaz (Rangel, 2017), y en este ámbito, la tecnología ha sido una herramienta clave. Entre las innovaciones más efectivas se encuentra la robótica educativa, que utiliza robots y herramientas tecnológicas para enseñar conceptos complejos de manera interactiva y adaptada a las necesidades de los estudiantes (Domínguez, 2019). Estas herramientas no solo fomentan el aprendizaje de habilidades cognitivas y académicas, sino también emocionales y sociales, al ofrecer un entorno estructurado y predecible que resulta especialmente beneficioso para los niños con autismo.

La robótica educativa tiene un impacto significativo en los niños con autismo, dado que les ofrece un entorno controlado donde pueden aprender de manera más efectiva. Tal como se menciona en Hernández y Cruz (2020), estos sistemas interactivos no solo mejoran la comprensión de conceptos académicos, sino que también fomentan el desarrollo de habilidades sociales y emocionales. Además, los robots, al poder imitar el comportamiento humano, facilitan la práctica de interacciones sociales en un ambiente seguro, reduciendo las barreras que estos niños enfrentan al interactuar con otras personas. Los robots sociales, en particular, brindan la posibilidad de practicar habilidades sociales de una manera no amenazante y controlada, lo que resulta en una mejora significativa en la adquisición de estas destrezas (Agrusti & Bonavolontà, 2022).

Otro avance importante son las tecnologías de Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA). Estas herramientas electrónicas permiten que los niños con dificultades en el habla puedan expresar sus necesidades y comunicarse con su entorno, mejorando su inclusión y participación en las actividades escolares (Santos et al., 2023). Asimismo, el uso de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) proporciona entornos inmersivos donde los niños pueden practicar habilidades sociales y emocionales, preparándolos para situaciones reales dentro de un entorno seguro y controlado (Hendea & Răcășan, 2023).

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y la robótica educativa también han demostrado ser beneficiosas para los niños con autismo. Estas herramientas permiten diseñar entornos de aprendizaje personalizados, lo que mejora la atención y el progreso académico de los estudiantes (Montenegro et al., 2024). Además, las TIC permiten que los educadores ajusten los contenidos de acuerdo con las necesidades específicas de cada niño, mientras que los robots proporcionan interacciones estructuradas que facilitan el aprendizaje de habilidades sociales (Gallo & Montoya, 2023). Estos robots, al ofrecer retroalimentación inmediata,

refuerzan comportamientos positivos y habilidades de comunicación, siendo elementos clave en la enseñanza de niños con autismo (Arslanyilmaz et al., 2021).

Finalmente, el software de evaluación y seguimiento se ha convertido en una herramienta fundamental para monitorear el progreso de los niños con autismo. Al proporcionar datos en tiempo real, este software permite a los educadores realizar ajustes inmediatos en las estrategias de enseñanza, asegurando así que cada intervención tecnológica esté adaptada a las necesidades individuales de cada estudiante. Esta personalización no solo maximiza la eficacia de las intervenciones, sino que también contribuye significativamente al éxito académico y social de los niños, promoviendo su inclusión y desarrollo (Arslanyilmaz et al., 2021).

2. Materiales y Métodos

La investigación de tipo cualitativa y con alcance exploratorio, se centra en el estudio de caso de Pamela (nombre protegido), una niña de 7 años diagnosticada con Trastorno del Espectro Autista (TEA), que cursa el segundo año de Educación General Básica en una escuela fiscal de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo y que por temas de confidencialidad sus datos reales no pueden ser revelados. Es importante mencionar que, toda la información para la determinación del caso de estudio fue tomada de la ficha de diagnóstico del Departamento de Consejería Estudiantil (DECE) de la institución educativa. Este enfoque cualitativo es adecuado porque permite captar las particularidades de Pamela, esenciales para comprender su desarrollo y necesidades dentro del contexto educativo. La investigación es exploratoria porque pretende descubrir patrones y dinámicas en el comportamiento y el progreso de Pamela, sin buscar establecer relaciones causales generales.

El estudio exploratorio de corte transversal, realizado durante el segundo trimestre del periodo lectivo 2023-2024, derivó en una investigación de tipo propositiva en la que se diseñaron diversas estrategias tecnológicas basadas en robótica educativa, orientadas a integrarse en las adaptaciones curriculares para la atención de niños con autismo en etapa escolar. En particular, el estudio de caso se centró en la situación de Pamela (nombre protegido), una niña diagnosticada con TEA, y su experiencia educativa en un entorno escolar convencional. A lo largo de la investigación se recopiló información detallada sobre su perfil, historia evolutiva, dificultades académicas, comportamiento en clase y otros aspectos relevantes que permitieron comprender y contextualizar su proceso educativo, contribuyendo al desarrollo de estrategias inclusivas y efectivas.

Durante la investigación se utilizó principalmente técnicas cualitativas de recopilación de información, como por ejemplo la observación de campo del desempeño de Pamela en el aula de clases mediante el apoyo de instrumentos como la guía de observación. Así mismo, se llevaron a cabo entrevistas a los familiares directos de Pamela y personal de la institución educativa, utilizando como instrumentos la guía de entrevista y



los consentimientos informados. Adicionalmente, se analizaron las fichas de diagnóstico académico de Pamela proporcionadas por el Departamento de Consejería Estudiantil (DECE) de la institución educativa. Para realizar la valoración integral del desarrollo de las habilidades de Pamela, se establecieron criterios específicos, los cuales se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de evaluación de las habilidades motoras y sociales aplicados en el caso de estudio.

Criterio	Descripción	Método de medición
Habilidades Motoras	Evaluación de destrezas motoras finas y gruesas.	Observación de campo y tareas específicas
Habilidades Sociales	Interacciones con compañeros y respuesta a estímulos.	Guía de observación y entrevistas
Participación en Clase	Nivel de involucramiento en actividades grupales.	Registro diario de participación
Regulación Emocional	Manejo de emociones en situaciones de estrés.	Escalas de autoevaluación y observación

Fuente: Los autores.

Por otra parte, la investigación además incluyó el método bibliográfico para recopilar información sobre estrategias tecnológicas utilizadas en la educación de niños con autismo, evaluado sus fortalezas, debilidades para determinar las posibilidades certeras de integración en entornos educativos tradicionales como parte de las adaptaciones curriculares para Pamela con el objetivo de apoyar su proceso de aprendizaje.

La elección de realizar el estudio con una sola niña como caso de estudio se justifica desde una perspectiva educativa y científica-metodológica y de atención a la diversidad. En el ámbito de la inclusión y atención a la diversidad, los enfoques cualitativos permiten una comprensión profunda de las experiencias individuales y las interacciones específicas con la robótica educativa. Este tipo de investigación enriquece el conocimiento sobre cómo estas herramientas pueden adaptarse a las necesidades particulares de cada niño, lo que resulta fundamental para desarrollar estrategias efectivas en contextos educativos diversos, donde la generalización no siempre es viable ni pertinente.

Desde el punto de vista educativo, centrarse en un caso específico permite a los educadores y terapeutas adaptar las estrategias de enseñanza de manera individualizada, observando cómo la robótica educativa impacta en el desarrollo de habilidades cognitivas, emocionales y sociales de la niña. Este tipo de investigación puede generar conocimientos valiosos sobre prácticas efectivas que pueden ser extrapoladas a situaciones

similares, aunque no se busque una generalización estadística.

Metodológicamente, este enfoque permite un rigor en la recolección y análisis de datos, favoreciendo la obtención de información rica y contextualizada. Al no pretender abarcar grandes muestras, el estudio se centra en la profundidad del análisis, lo que puede contribuir a la construcción de teorías educativas más robustas que se ajusten a las realidades diversas de los estudiantes con autismo. En este sentido, el caso de estudio se convierte en un vehículo para explorar y comprender cómo la robótica educativa puede ser un recurso valioso en la promoción de la inclusión y el desarrollo personal en contextos educativos específicos.

3. Resultados y Discusión

Análisis del Caso de Estudio

El caso de estudio presentado pertenece a una niña de 7 años de edad, que cursa el Segundo año de Educación General Básica, en una escuela fiscal de la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo. Dentro de las instituciones educativas existen protocolos ya establecidos, para identificar a estudiantes con necesidades educativas especiales, y de acuerdo con la reglamentación vigente, las adaptaciones curriculares solo deben realizarse cuando estos casos detectados sean verificados por los componentes de salud correspondientes. En el caso de Pamela, ya cuenta con un diagnóstico por parte del Ministerio de Salud, que determina que la estudiante padece de Trastorno del Espectro Autista. La niña proviene de una familia conformada por su mamá y su hermana de 3 años ya que sus padres son divorciados. La madre es quién está más pendiente de la atención y cuidado de Pamela y recibe poca ayuda de los familiares.

En la perspectiva de su historia evolutiva, se conoce que el embarazo fue complicado y de alto riesgo. Durante la gestación, la madre tuvo varias amenazas de aborto, sufrió sangrados y presentó enfermedades en el embarazo; como anemia, ansiedad, preeclampsia y rechazo al feto. El parto fue por cesárea, la niña tuvo un peso de 7.50 libras y 48 cm de estatura. Su alimentación fue con leche materna y fórmula desde el inicio hasta los 6 meses que le introdujo alimentos sólidos. Debido que en la etapa de crecimiento presentó un nivel bajo de desarrollo motor y escasa habilidad para manipular los objetos, además de problemas del lenguaje, la madre acudió al pediatra, realizando los estudios necesarios que determinaron que Pamela padece TEA.

Análisis de desempeño académico y conductual

En el ámbito escolar, la niña ha presentado dificultades en diversas áreas. Su motricidad fina no está desarrollada y carece de coordinación visomotora. No tiene capacidad para esperar y solo obedece aproximadamente el 50% de las indicaciones.

Emite sonidos sin intencionalidad y es dependiente para ponerse los zapatos. Aún no controla los esfínteres y necesita ayuda para lavarse las manos y usar el baño. No guarda sus pertenencias, sino que las arroja, y no socializa con nadie, pasando todo el tiempo sola y entreteniéndose por sí misma sin hablar.

Permanece sentada por periodos muy cortos y, durante la mayor parte de la clase, camina por el aula. Busca hacer travesuras, como arrojar objetos y rayar las paredes. No le agrada el ruido y se exaspera fácilmente. Se irrita cuando desea algo y no lo obtiene, llegando a golpear y tirarse al suelo. Sin embargo, disfruta amasar plastilina, hacer garabatos y pasar las hojas de cuentos, aunque finalmente termina rompiéndolos. No socializa con otros niños, le resulta complicado relacionarse con pares, se torna agresiva con sus compañeros de clase por lo que no

es capaz de integrarse en actividades grupales. Le gusta mirar la naturaleza y ha demostrado interés por jugar con animales pequeños.

Propuesta pedagógica

Luego de realizar el análisis de campo y con base en la información de la ficha de diagnóstico de Pamela, se elaboró una propuesta de estrategias tecnológicas y específicamente de robótica educativa. La propuesta que se presenta se justifica en el reto y la necesidad del sistema educativo actual, donde implica la atención a estudiantes con necesidades educativas en el cual se debe satisfacer los requerimientos de todos los estudiantes en miras de alcanzar un diseño universal del aprendizaje. En la tabla 2 se resume la propuesta pedagógica elaborada.

Tabla 2. Propuesta pedagógica con estrategias de robótica educativa para niños con autismo.

TÍTULO: PROPUESTA PEDAGÓGICA CON ESTRATEGIAS DE ROBÓTICA EDUCATIVA PARA NIÑOS CON AUTISMO	
1. OBJETIVOS DE LA PROPUESTA	
<ul style="list-style-type: none"> o Mejorar la motricidad fina y la coordinación visomotora. o Desarrollar habilidades de espera y obediencia a indicaciones. o Fomentar la comunicación intencional y reducir comportamientos disruptivos. o Incrementar la capacidad de socialización y participación en actividades grupales. o Facilitar la regulación emocional y reducir la frustración. 	
2. ESTRATEGIAS DE ROBÓTICA EDUCATIVA	
Estrategia	Actividades
Desarrollo de motricidad fina y coordinación visomotora	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades de Ensamblaje: Utilizar kits de robótica educativa que requieran ensamblar piezas pequeñas. Estas actividades ayudan a mejorar la motricidad fina y la coordinación mano-ojo. Los kits pueden incluir piezas grandes y resistentes que se adapten a su nivel actual de destreza. - Programación Básica con Bloques: Introducir programación con bloques visuales (como Scratch o Tynker) para crear comandos simples. Esto ayuda a desarrollar la coordinación visomotora a través de la manipulación de dispositivos digitales y físicos.
Capacidad de espera y obediencia a indicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Robots con Respuesta a Comandos: Utilizar robots educativos que respondan a comandos simples. Esto le permite practicar la espera y la obediencia a través de la interacción con robots que realizan tareas específicas en respuesta a instrucciones. - Juegos de Turnos: Implementar juegos de robótica que requieran turnos. Por ejemplo, un robot que debe completar una tarea en un tiempo determinado, donde los niños tienen que esperar su turno para dar instrucciones.
Comunicación intencional y reducción de comportamientos disruptivos	<ul style="list-style-type: none"> - Robots como Intermediarios de Comunicación: Utilizar robots que pueden emitir sonidos o luces para facilitar la comunicación. Esto puede ayudar a los niños a expresar sus necesidades o emociones a través de una herramienta visual o auditiva. - Programación de Reacciones: Enseñar a los niños a programar robots para que realicen ciertas acciones en respuesta a eventos específicos. Esto puede ayudarla a comprender la causa y efecto, reduciendo la frustración y los comportamientos agresivos.
Socialización y participación en actividades grupales	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos en Equipo: Diseñar actividades grupales con robótica que requieran colaboración. Por ejemplo, construir un robot en grupo o programar un robot para realizar una tarea en equipo. Esto promueve la interacción con sus compañeros y fomenta habilidades de trabajo en equipo. - Juegos Cooperativos con Robots: Organizar juegos que involucren robots y que requieran cooperación. Los robots pueden ser parte de un juego en el que los niños y sus compañeros deben colaborar para lograr un objetivo común.
Regulación emocional y reducción de frustración	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades de Relajación con Robots: Introducir robots que ofrezcan actividades relajantes o que puedan ser programados para realizar acciones calmantes, como emitir música suave o realizar movimientos lentos. - Sesiones de Amasado Virtual: Crear actividades con aplicaciones que simulen el proceso de amasar o crear, permitiendo a los niños experimentar una actividad similar a amasar plastilina, pero de manera virtual.
3. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN	



- **Sesiones individualizadas:** Inicialmente, realizar sesiones individuales para adaptar las actividades a su nivel y progreso. Evaluar continuamente el avance en la motricidad fina, la obediencia a las indicaciones y la capacidad de socialización.
 - **Monitoreo del progreso:** Registrar el progreso en las áreas específicas y ajustar las actividades según sea necesario. Utilizar observaciones y registros de comportamiento para ajustar las estrategias y asegurar que se cumplan los objetivos pedagógicos.

4. RECURSOS RECOMENDADOS

- o Kits de Robótica Educativa: LEGO Mindstorms, VEX IQ, Code&Go o kits similares adaptados para la edad y habilidades de los niños.
- o Aplicaciones de Programación Visual: Scratch, Tynker o similares.
- o Software educativo y herramientas de autor: PICA App, Búho Boo entre otras aplicaciones específicas.

Fuente: Los autores.

Aplicación de la propuesta pedagógica

Con la finalidad de verificar la eficacia de la propuesta pedagógica se llevó a cabo su aplicación de manera parcial con la niña sujeto de estudio. Las siguientes tablas resumen los resultados de la aplicación de las estrategias en el desempeño académico y socio emocional del caso de estudio.

En la tabla 3 se presenta el registro fotográfico como evidencia de la aplicación de la estrategia de desarrollo de motricidad fina y coordinación visomotora. Esta estrategia dio como resultado que la niña sujeta de estudio mejoró su concentración mientras realizaba la actividad de ensamblaje con un kit de recursos prediseñados. Los resultados determinaron que la niña completó la actividad sin desconcentrarse y además se fomentó la motricidad fina y coordinación visomotora.

La mejora en la concentración observada en la niña durante la actividad de ensamblaje se alinea con estudios recientes que destacan la importancia de actividades estructuradas en el desarrollo infantil. Según Kintschner et al. (2024), las actividades que implican el uso de habilidades de motricidad fina, como el ensamblaje de piezas, son esenciales para el desarrollo cognitivo y físico en la infancia, activando además en el cerebro regiones asociadas con la atención y la concentración.

Tabla 3. Aplicación de la estrategia de desarrollo de motricidad fina y coordinación visomotora.

ESTRATEGIA: Desarrollo de motricidad fina y coordinación visomotora		
Actividad aplicada	Resultado	Registro fotográfico
Actividades de Ensamblaje	Utilizando kits de robótica educativa, la niña demostró interés en el armado de piezas mejorando su concentración, motricidad fina y coordinación visomotora.	

Fuente: Los autores.

Mediante la tabla 4 resume la aplicación de la estrategia de capacidad de espera y obediencia a indicaciones. Tomando en cuenta que de acuerdo con el diagnóstico inicial se determinó que la niña tiene un gusto especial por la naturaleza y los animales pequeños, se utilizó el robot Mouse que permite generar movimientos en el ratón mediante comandos de direccionalidad. La niña programó los movimientos y esperó que se ejecutara la secuencia programada con total atención y paciencia. Por supuesto, es necesario puntualizar que, aunque la robótica educativa puede ser considerada como una estrategia que en este caso particular busca mejorar el conocimiento, actitud y bienestar de la niña con TEA, tal como se establece en el trabajo de Daniela & Lytras (2019), si la tarea es demasiado compleja y no se proporciona apoyo pedagógico, puede ocasionar efectos opuestos causando desmotivación y rechazo en el niño.

Tabla 4. Aplicación de la estrategia de capacidad de espera y obediencia a indicaciones.

ESTRATEGIA: Capacidad de espera y obediencia a indicaciones		
Actividad aplicada	Resultado	Registro fotográfico
Robot con respuesta a comandos	A través del Robot Mouse Code&Go, la niña experimentó la interacción con robots que realizan tareas específicas en respuesta a instrucciones de movimiento.	

Fuente: Los autores.

El resultado de la aplicación de la estrategia de socialización y participación en actividades grupales se puede observar en la tabla 5. Se planificó una actividad grupal que consistió en programar conjuntamente con otra niña, una secuencia de acciones que permita realizar movimientos en el robot Mouse. La actividad estuvo diseñada para lograr una interacción coordinada entre ambas participantes y fomentar la comunicación para alcanzar la meta propuesta.

Al finalizar la actividad, se observó un aumento significativo en la interacción verbal y no verbal entre las participantes, evidenciado por el número de intercambios de ideas y la calidad de las instrucciones que se proporcionaron mutuamente. Se registró que la mayoría de las interacciones fueron positivas, lo que sugiere un avance en las habilidades sociales de la niña caso de estudio. Este resultado destaca lo evidenciado en los estudios recogidos por Alghamdi et al. (2023) sobre las actividades de robótica que permiten a los niños con autismo desarrollar no solo habilidades técnicas, sino también competencias sociales para participar y colaborar con sus pares.

Tabla 5. Aplicación de la estrategia de socialización y participación en actividades grupales.

ESTRATEGIA: Socialización y participación en actividades grupales		
Actividad aplicada	Resultado	Registro fotográfico
Juegos cooperativos con Robots	La niña se involucró en actividades de colaboración con otros niños, mejorando sus habilidades sociales y de cooperación.	

Fuente: Los autores.

En cuanto a los resultados de la aplicación de la estrategia de comunicación intencional y reducción de comportamientos disruptivos, en la tabla 6 se resume el principal hallazgo. Considerando que una de las características de los niños con autismo es la poca tolerancia a estímulos sonoros y visuales, se planificó una actividad de interacción con un robot lego que realiza movimientos delicados y emite sonidos suaves ante estímulos controlados por mando a distancia. Los resultados permitieron evidenciar que la niña toleró estos estímulos e interactuó con el robot de manera lúdica. Esto concuerda con varios de los estudios recopilados en Santos et al. (2023), en los que se menciona que la interacción y control de robots trasciende a una mayor autonomía y adaptabilidad.

Tabla 6. Aplicación de la estrategia de comunicación intencional y reducción de comportamientos disruptivos.

ESTRATEGIA: Comunicación intencional y reducción de comportamientos disruptivos		
Actividad aplicada	Resultado	Registro fotográfico
Programación de reacciones	Utilizando un kit de robot educativo, la niña comprendió la causa y efecto en respuesta a ciertas acciones programadas, reduciendo la frustración y los comportamientos agresivos	

Fuente: Los autores.

De acuerdo a los resultados de la implementación de las estrategias propuestas, fue posible determinar que el uso de actividades

con robótica educativa fomentó en la niña no solo habilidades cognitivas sino también mejoró sus habilidades sociales. Durante la intervención con las estrategias propuestas, se logró motivar la concentración de la niña en una tarea específica, situación que antes no era posible en las actividades tradicionales con la maestra. Así mismo, la habilidad social mejoró puesto que la niña demostró capacidad para trabajar con pares sin mostrar la agresividad sino al contrario demostrando amabilidad y actitud positiva al trabajo en equipo.

4. Conclusiones

La investigación sobre la robótica educativa como estrategia de aprendizaje y desarrollo de la personalidad en niños con autismo, revela hallazgos significativos que podrían influir en futuras intervenciones pedagógicas. Este estudio, al centrarse en la aplicación de la robótica educativa como herramienta pedagógica innovadora, destaca cómo este enfoque puede potenciar el aprendizaje inclusivo. A través de la evaluación de las necesidades individuales de los estudiantes, se puede diseñar una propuesta educativa que considere sus características particulares, lo que permite una personalización de las estrategias que favorezcan su desarrollo integral.

Los resultados obtenidos sugieren que la robótica educativa puede mejorar la motricidad fina y la coordinación visomotora en niños con autismo. A través del caso de estudio, se logró determinar que al participar en actividades que implicaban el ensamblaje y la programación de robots se promueve el desarrollo de habilidades motoras esenciales, lo que se tradujo en un avance significativo en su destreza manual. Esta práctica, al ser activa y lúdica, no solo incrementó su coordinación mano-ojo, sino que también motivó su interés por el aprendizaje. De este modo, futuras investigaciones pueden ampliar este enfoque, explorando su aplicabilidad en una muestra más amplia de niños, lo que permitiría establecer patrones de desarrollo y efectividad en diversos contextos educativos.

Asimismo, la investigación evidenció cómo la robótica educativa puede ser una herramienta eficaz para mejorar la capacidad de seguir instrucciones y esperar turnos. A través de interacciones con robots que respondían a comandos simples, el sujeto de estudio demostró un avance en su obediencia y paciencia. Este tipo de aprendizaje colaborativo puede ser replicado en otros entornos, permitiendo a los educadores implementar estrategias que fomenten no solo el cumplimiento de normas, sino también el desarrollo de habilidades sociales fundamentales. Las futuras investigaciones deberían considerar la creación de programas de robótica educativa que incluyan estas prácticas, buscando siempre la inclusión y el respeto por la diversidad.

Finalmente, se resalta que la robótica educativa no debe ser entendida como un mero recurso tecnológico, sino como un medio que propicia el desarrollo de habilidades cognitivas, emocionales



y sociales en niños con autismo. La innovación pedagógica que se busca en este estudio se orienta hacia la personalización de la enseñanza, teniendo en cuenta las individualidades de cada niño, desde sus estilos de aprendizaje hasta sus necesidades educativas especiales. Esta perspectiva sugiere que, al implementar la robótica educativa, se pueden generar prácticas más efectivas y contextualizadas que promuevan la inclusión y el bienestar de todos los estudiantes, garantizando que cada uno de ellos tenga la oportunidad de alcanzar su máximo potencial.

Contribución de los autores

Cristhy Nataly Jiménez Granizo: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición del artículo. **Manuel Joaquín Machado Sotomayor:** Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Anexos

A.1 Matriz de los estudios incluidos en la revisión sistemática

Referencias bibliográficas

- Agrela, F., Dos Santos, F., Schmitz, V., Silva, G., Avila, E., & Utnick, S. (2024). Características do autismo: Uma revisão de literatura. *Emergentes-Revista Científica*, 4(2), 293-302. <https://doi.org/10.60112/erc.v4i2.146>
- Agrusti, F., & Bonavolontà, G. (2022). Educational robotics for special needs students: Teachers' perspectives on pre-service training. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies (ECPS Journal)*, 26, 199-217. <https://doi.org/10.7358/ecps-2022-026-agbo>
- Alghamdi, M., Alhakbani, N., & Al-Nafjan, A. (2023). Assessing the potential of robotics technology for enhancing educational for children with autism spectrum disorder. *Behavioral Sciences*, 13(7), 598.
- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 9(2), 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223>
- Arsilanyilmaz, A., Briley, M., Loto, M. B., Fernberg, C., Beadle, G., & Coldren, J. (2021). An Accessible Computing Curriculum for Students with Autism Spectrum Disorders. *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, 17-23. <https://www.learntechlib.org/p/219107/>
- Baldares, M. J. V., & Orozco, W. N. (2012). Autismo infantil. *Revista cúpula*, 26(2), 44-58.
- Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>
- Cabibihan, J., Javed, H., Ang, M., & Aljunied, S. (2013). Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, 5(4), 593-618. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0202-2>
- Daniela, L., & Lytras, M. D. (2019). Educational Robotics for Inclusive Education. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), 219-225. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9397-5>
- Domínguez, D. (2019). El Trastorno del Espectro Autista (TEA) y el uso de las Tecnologías de la información y comunicación (TIC). *International Journal of New Education*, 4, Article 4. <https://doi.org/10.24310/IJNE2.2.2019.7447>
- Donzino, G. (2020). Consideraciones sobre algunas consecuencias del diagnóstico de trastorno del espectro autista. *Cuestiones de infancia: Revista de Psicoanálisis con Niños y Adolescentes*, 21(2), 1-17.
- Figueroa, C. S., & Román, F. Q. (2021). Estrategias docentes para la inclusión de niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) en la escuela. *Pluriversidad*, 8, 127-143. <https://doi.org/10.31381/pluriversidad.v1i8.4584>
- Francisco, M. P. B., Hartman, M., & Wang, Y. (2020). Inclusion and special education. *Education Sciences*, 10(9), 238. <https://doi.org/10.3390/educsci10090238>
- Gallo, S., & Montoya, J. (2023). Análisis de las competencias digitales de los docentes de la Escuela de Educación Básica «Jesús Infante» en el periodo lectivo 2023-2024. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 7(2), 71-78. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Informaticaysistemas/article/view/6160>

- García, A., Alpizar, O., & Guzmán, G. (2019). Autismo: Revisión conceptual. *Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 6(11), 26-31.
- García, G., & Fernández, I. (2022). Estrategia didáctica para fortalecer la inclusión de los niños con autismo del Centro de Educación Inicial Agripina Murillo de Guillem Del Cantón Portoviejo en el año 2021. *Revista EDUCARE-UPEL-IPB-Segunda Nueva Etapa 2.0*, 26(Extraordinario), 345-367. <https://doi.org/10.46498/reduipb.v26iExtraordinario.1697>
- González, R. M., Justiz, M. M., & Pérez Lara, D. M. (2023). El desarrollo de habilidades sociales en educandos con Trastorno del Espectro Autista. *Revista Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 14(3).
- Hendea, M. Ștefania, & Răcășan, R. (2023). Curricular adaptations for children with autism spectrum disorders in mainstream school. *Education and Applied Didactics (EAD)*, 7(1), 33-40.
- Hernández, D. Q., & Cruz, P. A. L. (2020). Influencia del desarrollo tecnológico en el diagnóstico y manejo del autismo infantil. *Medimay*, 27(4), 552-563.
- Hernández, O., Risquet, D., & León, M. (2015). Algunas reflexiones sobre el autismo infantil. *Medicentro Electrónica*, 19(3), 178-181.
- Kintschner, N. R., Blascovi-Assis, S. M., dos Santos, P., & Amato, C. A. de L. H. (2024). Evaluation of fine motor skills of children with Down syndrome in the handling of the material LEGO® education. *Cadernos de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento*, 24(1), 120-133.
- Kowalczyk, M. S. (2021). ¿Qué sabemos sobre las condiciones del espectro autista? Formación e investigación en autismo: Una deuda pendiente en la sociedad argentina. *Análisis de prácticas y experiencias pedagógicas*, 75-107.
- Montenegro, E., Zumba, E., Tacan, A., & Ruth, I. (2024). Adaptaciones curriculares con base en las Tecnologías de Información y Comunicación para estudiantes con necesidades educativas especiales. *Sinergias Educativas*, 9(1). <https://doi.org/10.37954/se.v9i1.439>
- Morris, D. J., & Crocq, M.-A. (2020). Neurodevelopmental disorders—The history and future of a diagnostic concept. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 22(1), 65-72. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2020.22.1/macrocq>
- Naranjo, J. (2022). El trastorno del espectro autista infantil y su influencia en el aprendizaje escolar en niños de cuarto año de Educación General Básica [B.S. thesis, Universidad Laica Vicente Rocafuerte]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5303>
- Rangel, A. (2017). Orientaciones pedagógicas para la inclusión de niños con autismo en el aula regular. Un apoyo para el docente. *Telos*, 19(1), 81-102.
- Santos, L., Annunziata, S., Geminiani, A., Ivani, A., Giubergia, A., Garofalo, D., Caglio, A., Brazzoli, E., Lipari, R., Carrozza, M. C., Ambrosini, E., Olivieri, I., & Pedrocchi, A. (2023). Applications of Robotics for Autism Spectrum Disorder: A Scoping Review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s40489-023-00402-5>
- Schwalb, C. (2022). ¿Niños con autismo en escuelas regulares?: Discursos y percepciones con respecto a los niños con autismo y su inserción al sistema educativo regular en Lima [Bachelor Tesis, pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/22810>
- Vazquez, T. C. V., Herrera, D. G. G., Encalada, S. C. O., & Álvarez, J. C. E. (2020). Estrategias didácticas para trabajar con niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA). *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, 5(1), 589-612.



Diseño y usabilidad en una App de realidad aumentada (R-A) para la difusión de piezas cerámicas de cultura PURUHÁ

Design and Usability in an Augmented Reality (AR) App for the Dissemination of Ceramic Pieces from the PURUHÁ Culture

Autores

- ✉ * Tatiana Janeth Bravo Cedeño 
- ✉ Edison Amador Miguez Gordillo 
- ✉ Manuel David Isín Vilema 
- ✉ Geonatan Octavio Peñafiel Barros 

Facultad de Ciencias de la Educación Humanas y Tecnologías, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Resumen

Este artículo de investigación examina el diseño y la usabilidad de una aplicación móvil de Realidad Aumentada (AR) para promover la cultura cerámica Puruhá. Subraya la importancia de integrar principios de diseño centrado en el usuario (UCD) para asegurar que las aplicaciones de AR sean no solo visualmente atractivas, sino también funcionales y accesibles. Se emplea el marco de usabilidad de Nielsen (1993) para evaluar la efectividad, eficiencia y satisfacción que proporciona la aplicación. El estudio incorpora elementos multimedia y gamificación, como sugieren Hirsh-Pasek et al. (2015), para mejorar el compromiso educativo. La base teórica incluye la teoría de la carga cognitiva (Sweller, 1988) y la importancia del diseño intuitivo (Norman, 1988) en las herramientas educativas. La investigación sigue una metodología descriptivo-cuantitativa, utilizando encuestas post-prueba para evaluar la usabilidad de la aplicación entre 40 estudiantes universitarios. Los hallazgos revelan una alta usabilidad, una entrega educativa efectiva y una experiencia de usuario positiva, con recomendaciones para mejorar la accesibilidad y las funciones de sonido. El estudio destaca el potencial de la AR para enriquecer la educación cultural y preservar el patrimonio.

Palabras clave: Realidad Aumentada (AR), Usabilidad, Diseño Centrado en el Usuario (UCD), Patrimonio Cultural, Tecnología Educativa, Teoría de la Carga Cognitiva, Diseño Interactivo.

Abstract

This research paper examines the design and usability of a mobile Augmented Reality (AR) application for promoting Puruhá ceramic culture. It underscores the importance of integrating user-centered design (UCD) principles to ensure that AR applications are not only visually appealing but also functional and accessible. Nielsen's (1993) usability framework is employed to assess the effectiveness, efficiency, and satisfaction provided by the application. The study incorporates multimedia elements and gamification, as suggested by Hirsh-Pasek et al. (2015), to enhance educational engagement. The theoretical foundation includes cognitive load theory (Sweller, 1988) and the significance of intuitive design (Norman, 1988) in educational tools. The research follows a descriptive-quantitative methodology, utilizing post-test surveys to evaluate the application's usability among 40 university students. Findings reveal high usability, effective educational delivery, and positive user experience, with recommendations for improving accessibility and sound features. The study highlights the potential of AR in enriching cultural education and preserving heritage.

Keywords: Augmented Reality (AR), Usability, User-Centered Design (UCD), Cultural Heritage, Educational Technology, Cognitive Load Theory, Interactive Design

Comó citar el artículo:

Bravo Cedeño, T. J., Miguez Gordillo, E. A., Isín Vilema, M. D. & Peñafiel Barros, G. O. 2024. Diseño y usabilidad en una App de realidad aumentada (R-A) para la difusión de piezas cerámicas de cultura PURUHÁ. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*. 8(2), pp. 111-121. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.7010>.

Enviado: 20/09/2024

Aceptado: 02/12/2024

Publicado: 04/12/2024



1. Introducción

La usabilidad de las aplicaciones móviles de Realidad Aumentada (RA) desempeña un papel crucial en la eficacia de la difusión de contenidos culturales. En el caso de las piezas cerámicas de la cultura Puruhá, una aplicación de RA no solo debe ser visualmente atractiva, sino que debe ofrecer una experiencia de usuario intuitiva y enriquecedora. Nielsen (1993) define la usabilidad como la capacidad de un producto para ser utilizado de manera efectiva y eficiente por usuarios específicos. En el contexto de las aplicaciones de RA para la difusión cultural, la usabilidad se traduce en una interfaz que permita a los usuarios interactuar con las piezas cerámicas de forma natural y comprensible, sin distracciones innecesarias.

El Diseño Centrado en el Usuario (User Centered Design) es fundamental para garantizar la usabilidad de una aplicación de RA. Según Benyon, Turner y Turner (2005), el UCD implica una profunda comprensión de las necesidades y expectativas de los usuarios. En el caso de la cultura Puruhá, esto significa crear una experiencia que no solo presente información sobre las piezas cerámicas, sino que también fomente la conexión emocional y cultural del usuario con estas.

La integración efectiva de elementos multimedia es otro aspecto clave en el diseño de aplicaciones de RA para la difusión cultural. Paivio (1986) sostiene que la combinación de texto, imágenes y sonidos mejora la comprensión y el recuerdo de la información. En una aplicación de RA para la cultura Puruhá, esto podría implicar superponer animaciones que muestren el proceso de elaboración de las piezas cerámicas, o incluir audioguías con narraciones de expertos sobre la historia y el significado cultural de cada pieza.

Además de ser informativas, las aplicaciones de RA deben ser entretenidas para mantener el interés de los usuarios. Hirsh-Pasek et al. (2015) subrayan la importancia de la gamificación en el aprendizaje. En el contexto de la cultura Puruhá, esto podría incluir desafíos o juegos que inviten a los usuarios a identificar características específicas de las piezas cerámicas o a reconstruir virtualmente una vasija a partir de fragmentos.

La personalización es otra dimensión que puede mejorar significativamente la experiencia del usuario en aplicaciones de RA. Según Radu et al. (2021), las herramientas personalizables permiten que los usuarios ajusten las funcionalidades de la aplicación según sus preferencias o nivel de conocimiento, lo que fomenta un aprendizaje más profundo. En el caso de la cultura Puruhá, la aplicación podría ofrecer modos para principiantes y expertos, o permitir a los usuarios elegir su recorrido interactivo basado en intereses específicos como el diseño artístico o los contextos históricos.

Un aspecto técnico que también contribuye a la usabilidad

es la optimización del rendimiento de la aplicación. Investigaciones recientes, como las de Lee et al. (2022), enfatizan la importancia de reducir tiempos de carga, garantizar transiciones fluidas entre elementos interactivos y optimizar el consumo de recursos del dispositivo móvil. Esto es particularmente relevante en regiones donde los usuarios pueden no tener acceso a dispositivos de gama alta o conexiones de internet rápidas.

La accesibilidad inclusiva es otro principio que no debe pasarse por alto. Gomez et al. (2020) resaltan que las aplicaciones culturales de RA deben ser diseñadas pensando en usuarios con diferentes capacidades físicas y cognitivas. Esto podría incluir subtítulos para audioguías, narraciones visuales para usuarios con discapacidades auditivas o una interfaz simplificada para personas con limitaciones tecnológicas.

El impacto emocional que genera una experiencia de RA bien diseñada puede ser determinante en la conexión del usuario con el contenido cultural. Según Johnson et al. (2023), las aplicaciones que evocan emociones positivas, como sorpresa o admiración, no solo mejoran la experiencia general, sino que también aumentan la retención de información. En este sentido, incorporar narrativas inmersivas sobre los mitos y tradiciones de la cultura Puruhá podría transformar la aplicación en un puente emocional hacia el pasado cultural del usuario.

Antecedentes

La aplicación de la realidad aumentada (RA) en el ámbito educativo ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años. Diversos estudios han explorado el potencial de esta tecnología para enriquecer la experiencia de aprendizaje y mejorar la comprensión de conceptos complejos (Milgram & Kishino, 1994; Azuma, 1997). En el campo del patrimonio cultural, la RA ha demostrado ser una herramienta valiosa para la visualización y la interpretación de objetos y sitios históricos (Schreiner, 2008).

En el contexto de la educación cultural, investigaciones previas han destacado la importancia de integrar tecnologías inmersivas para fomentar la participación activa de los estudiantes y promover la conexión emocional con el patrimonio cultural (Prensky, 2001; Dede, 2009). Estudios como el de (Prensky, 2001) han explorado la efectividad de las aplicaciones de RA para enseñar historia y cultura, demostrando que los estudiantes que utilizaron estas herramientas mostraron un mayor nivel de engagement y una mejor retención de la información.

Además, la gamificación, es decir, la incorporación de elementos de juego en contextos no lúdicos, ha demostrado ser una estrategia efectiva para aumentar la motivación y

el compromiso de los estudiantes (Deterding et al., 2011). Estudios como el de Koperwas et al. (2014) han explorado la efectividad de las aplicaciones de RA para enseñar historia y cultura, demostrando que los estudiantes que utilizaron estas herramientas mostraron un mayor nivel de engagement y una mejor retención de la información.

En el ámbito del diseño de interfaces, Sweller (1988) resalta que la teoría de la carga cognitiva ha sido ampliamente utilizada para guiar el desarrollo de materiales educativos. Esta teoría sugiere que la cantidad de información que un aprendiz puede procesar a la vez es limitada, por lo que es fundamental diseñar interfaces que minimicen la carga cognitiva y permitan a los estudiantes concentrarse en los aspectos más relevantes del contenido.

El diseño de aplicaciones educativas debe fundamentarse en el aprendizaje y el desarrollo cognitivo de los usuarios. Por tanto, las creaciones de interfaces guían y facilitan la comprensión y retención de la información. Sweller (1988), sostiene que el aprendizaje efectivo ocurre cuando la carga cognitiva es adecuada de acuerdo a los recursos o herramientas presentados al estudiante. En el contexto del diseño de aplicaciones, implica la creación de interfaces intuitivas que eviten la sobrecarga de información, permitiendo que los estudiantes se concentren en los aspectos relevantes del contenido educativo.

En este sentido, Moreno y Mayer (2007) subrayan la importancia de considerar tanto el contenido educativo como la manera en que se presenta para optimizar el aprendizaje. También, Sweller, Ayres y Kalyuga (2011) destacan la necesidad de diseñar materiales que minimicen la carga cognitiva innecesaria, permitiendo que los estudiantes se centren en el aprendizaje significativo. Además, estos autores enfatizan que un diseño bien estructurado facilita la adquisición de conocimientos al promover una interacción más eficiente entre el estudiante y el material educativo.

Diseño Centrado en el Usuario

El enfoque de diseño centrado en el usuario (UCD) es fundamental para desarrollar aplicaciones que respondan a las necesidades y capacidades de los usuarios. Según Benyon, Turner y Turner (2005), el UCD implica una profunda comprensión de los usuarios y sus contextos de uso. En este sentido, Norman (1988) menciona que el UCD se centra en hacer que los productos sean fáciles de usar y que respondan a las necesidades específicas de los usuarios.

Benyon, Turner y Turner (2005) indican que la comprensión al usuario requiere una investigación para conocer las características, comportamientos y preferencias de los usuarios. Esta fase inicial es importante para garantizar que el diseño final sea relevante y útil para el público objetivo. Por tanto, Nielsen (1993) indica la importancia de crear prototipos y someterlos a pruebas con usuarios reales para identificar problemas de usabilidad y realizar mejoras continuas. Por lo cual, permitirá mejorar el producto, en base al feedback directo de los usuarios.

En este sentido, Preece, Rogers y Sharp (2015) señalan que los productos diseñados con la metodología del diseño centrado en el usuario no solo son más fáciles de usar, sino que también son más agradables y amigables, lo cual, es importante en la construcción de aplicaciones educativas. Por tanto, el uso del DCU puede generar una experiencia de usuario donde puede aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes.

Usabilidad

Nielsen (1993) define la usabilidad como la medida en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar metas específicas con efectividad, eficiencia y satisfacción. En el contexto educativo, el éxito de una aplicación está determinada por la usabilidad y el fácil aprendizaje de los usuarios. En este contexto, la importancia de crear aplicaciones es que no solo sean funcionales, sino también fáciles de usar y agradables para los usuarios.

También, Norman (2002) indica que un diseño efectivo debe permitir a los usuarios completar sus tareas sin errores o dificultades significativas. Esto implica una interfaz clara y procedimientos de interacción que los usuarios puedan seguir fácilmente. Para Rubin y Chisnell (2008) argumentan que un diseño eficiente reduce el tiempo y esfuerzo necesario para realizar tareas, lo cual es crucial para mantener la productividad del usuario. Shackel (1991) define la satisfacción como el grado en que los usuarios encuentran agradable el uso del producto. Una interfaz intuitiva y atractiva puede aumentar significativamente la satisfacción del usuario, fomentando una experiencia positiva y un uso repetido. Por tanto, estos componentes son claves en la medición de la usabilidad.

En este contexto, la evaluación de la usabilidad en aplicaciones educativas implica varios métodos, entre ellos pruebas de usabilidad, análisis heurísticos y evaluaciones de accesibilidad. Estas evaluaciones ayudan a identificar problemas de diseño que pueden afectar negativamente la experiencia del usuario. Hirsh-Pasek et al. (2015) sugieren que las aplicaciones educativas deben ser tanto educativas como entretenidas para mantener el interés y la motivación de los niños.

En el análisis de la aplicación se utilizó la prueba de usabilidad como método, permitió evaluar y mejorar la usabilidad de la App. Nielsen (1994) sugiere que estas pruebas, que implican observar a los usuarios mientras interactúan con la aplicación, pueden identificar problemas de usabilidad y áreas de mejora. Esta metodología proporciona información valiosa sobre la experiencia del usuario y permite realizar ajustes necesarios.

Diseño Accesible

El diseño accesible es fundamental para garantizar que todos los usuarios, independientemente de sus capacidades, puedan utilizar aplicaciones educativas. Esto implica la implementación de características como texto alternativo para imágenes, subtítulos para contenido de audio y interfaces que sean navegables con diferentes dispositivos de entrada (W3C, 2018). En este sentido, proporcionar alternativas textuales para contenido no textual, como imágenes, audios y videos,



y utilizar colores contrastantes y tamaños de texto ajustables para facilitar la lectura.

También, Paciello (2000) señala que la información debe ser presentada de manera clara y sencilla, y organizada lógicamente. Además, se deben proporcionar ayudas contextuales para asistir a los usuarios en la comprensión y navegación del contenido. Por tanto, la claridad y simplicidad de la información debe ser comprensible y el manejo de la interfaz. En este contexto, las aplicaciones educativas deben ser diseñadas para ser inclusivas, asegurando que todos los niños tengan igualdad de oportunidades para aprender y desarrollarse. Esto es especialmente importante en contextos educativos, donde las necesidades de aprendizaje de los estudiantes pueden variar significativamente (UNICEF, 2017).

2. Materiales y Métodos

El estudio corresponde a un artículo de investigación enfocado en la usabilidad de una aplicación móvil de Realidad Aumentada (R-A) para la difusión de piezas de cerámica de la cultura PURUHÁ. Se empleó un enfoque cuantitativo descriptivo, aplicando encuestas (post-test) para analizar la efectividad de la aplicación. La investigación se llevó a cabo con un grupo de estudiantes expertos en el uso de tecnologías, quienes cursan el tercer y cuarto semestre en la Universidad Nacional de Chimborazo.

La muestra incluyó a 40 jóvenes de tercer y cuarto semestre de la carrera de pedagogía de la informática de la facultad de ciencias de la educación, humanas y tecnologías de la Universidad Nacional de Chimborazo, ubicada en la provincia de Chimborazo, con una población total de 52 estudiantes en el rango de 19 a 30 años de edad. Se utilizaron instrumentos de encuestas para recoger datos numéricos sobre la usabilidad de la aplicación después de su implementación.

Se empleó un diseño de investigación descriptivo-correlacional para evaluar la usabilidad de una aplicación móvil de Realidad Aumentada (RA) diseñada para promover la cultura Puruhá. A través de un enfoque cuantitativo, se analizaron diversos aspectos de la interfaz, incluyendo la legibilidad, la claridad de los elementos visuales, la eficiencia de la navegación y la pertinencia del contenido. Se utilizó una encuesta Post-test para recolectar datos sobre la percepción de los usuarios respecto a la usabilidad de la aplicación. Siguiendo a Ñaupas (2011), se buscó determinar la relación entre las características de la aplicación y la usabilidad percibida por los estudiantes.

Los principales instrumentos de investigación para la recolección de datos fueron cuestionarios estructurados (Post-test), que permitieron reunir información numérica sobre la usabilidad

de la aplicación antes y después de su implementación. Estos cuestionarios incluyeron preguntas específicas para evaluar la facilidad de uso, la satisfacción de los usuarios y la efectividad en la transmisión del contenido cultural. Además, el diseño de los cuestionarios se basó en criterios de usabilidad estándar, asegurando así la recolección de datos relevantes y comparables.

Así mismo, para determinar la validez de los instrumentos y comprensión del mismo, se recurrió a la opinión de tres expertos en el área de las TIC en la Educación de la Carrera de Pedagogía de la Informática de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para la aplicación de los instrumentos se usaron canales digitales como Google Forms y el análisis de los datos se realizó con Microsoft Excel.

El procedimiento sistemático de las fases de la investigación que se llevó a cabo es:

Fase 1. Análisis Inicial de Aplicaciones de Realidad Aumentada para la Difusión de la Cultura Puruhá:

En la fase inicial, se realizó una revisión en internet para analizar la existencia de aplicaciones de Realidad Aumentada (R-A) dedicadas a la difusión de la cultura Puruhá, específicamente su cerámica. Este análisis incluyó el estudio de aplicaciones previas y recursos disponibles para evaluar si existían herramientas tecnológicas que cumplieran con este propósito. El objetivo de esta revisión fue identificar las condiciones actuales de las aplicaciones existentes, explorar los recursos disponibles para aprender sobre la cerámica Puruhá y determinar las áreas que podrían ser mejoradas o desarrolladas en una nueva aplicación.

Fase 2. Diseño y elaboración de material para la app. En esta fase se realizaron los siguientes pasos para el diseño y elaboración de la app.:

Fase 2.1. Diseño y Planificación: Al entender el diseño de la app, se desarrolla un mapa de navegación y wireframes para estructurar y visualizar la interfaz de usuario de manera efectiva. El mapa de navegación proporciona una representación gráfica de cómo los usuarios interactúan con la aplicación, mostrando las diferentes pantallas y las conexiones entre ellas. Esto facilita la comprensión del flujo general y la jerarquía de la información.

Por otro lado, los wireframes actúan como bocetos detallados o plantillas que ilustran la disposición de los elementos en cada pantalla, incluyendo botones, menús y áreas de contenido. Estos wireframes permiten diseñar la experiencia de usuario y ajustar los elementos visuales y funcionales antes del desarrollo final. Juntos, el mapa de navegación y los wireframes aseguran que la estructura de la app sea clara, funcional y alineada con los objetivos establecidos en las fases anteriores del proyecto.

Fase 2.2. Creación de Recursos Visuales: Se elaboraron recursos visuales utilizando herramientas como Photoshop, Blender. La creación de estos recursos incluyó el diseño de imágenes y gráficos en Photoshop, el modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender, y la implementación de elementos de línea gráfica para asegurar una coherencia visual en la aplicación. Estos recursos se desarrollaron con base a la revisión en la web que indicaba una preferencia por el género de aventura, y se integraron en la aplicación de Realidad Aumentada para enriquecer la experiencia de los usuarios y facilitar la difusión de la cultura Puruhá.

Fase 2.3. Desarrollo de la Experiencia de Realidad Aumentada: Se diseñaron y programaron los ambientes de Realidad Aumentada (R-A) para la difusión de piezas de cerámica de la cultura Puruhá. El diseño de los entornos se llevó a cabo en Unity, creando escenarios interactivos que permiten a los usuarios explorar las piezas de cerámica en un formato inmersivo. La programación se realizó utilizando Visual Studio Code, en combinación con Android JDK para Unity para asegurar la compatibilidad con dispositivos móviles. Vuforia fue empleado para el reconocimiento y seguimiento de imágenes, facilitando que los usuarios escaneen los códigos QR, y accedan a la experiencia de R-A mediante sus tabletas o celulares.

La intervención permitió a los usuarios interactuar con el contenido a través de la aplicación y comparar su experiencia con el formato físico del material. Cada sesión de interacción tuvo una duración aproximada de entre 0,30 segundos y 3 minutos. El post-test se enfocó en medir varios aspectos de la usabilidad de la aplicación, incluyendo la legibilidad y claridad de los botones y cuadros de texto, la capacidad de la aplicación para cumplir su objetivo educativo, la adecuación de los colores, el tiempo de carga, la claridad en la navegación, la funcionalidad añadida por los efectos visuales, la idoneidad del uso de R-A y la presencia de sonido. Esta evaluación proporcionó datos detallados sobre la efectividad de la aplicación en la mejora de la experiencia del usuario y en la difusión de la cultura Puruhá.

3. Resultados y Discusión

Discusión

En la Fase 1, se realizó un análisis de aplicaciones de realidad aumentada (RA) existentes enfocadas en la difusión cultural, especialmente de piezas de cerámica. Esta revisión identificó limitaciones en las aplicaciones previas, particularmente en términos de interacción y accesibilidad. Los tres expertos consultados, con especialización en tecnología educativa, señalaron la importancia de incorporar elementos que fortalezcan la conexión cultural, recomendando la inclusión de componentes narrativos y de gamificación para mejorar el interés del usuario y la retención de la información cultural. A través de esta revisión, se identificaron varias aplicaciones que han sido pioneras en integrar la (RA) con el objetivo de preservar y compartir el patrimonio cultural.

A continuación, se mencionan algunas de las aplicaciones analizadas:

1. Google Arts & Culture: Esta plataforma permite explorar colecciones de arte y patrimonio de todo el mundo a través de RA. Con una amplia variedad de objetos culturales, incluye una opción para visualizar las piezas en 3D y ubicarlas en el espacio físico del usuario a través de la cámara del dispositivo. Aunque es una herramienta poderosa para promover la educación cultural, presenta limitaciones en la personalización del contenido y la interacción profunda con los objetos.

2. ARTive: Esta aplicación está diseñada específicamente para obras de arte en 3D, utilizando RA para animar y dar vida a las obras al ser visualizadas a través de la pantalla de un teléfono móvil. Su enfoque está más orientado a artistas visuales, pero también puede adaptarse a contextos educativos. Su limitación es la falta de interacción directa con el contenido más allá de la visualización, lo que reduce su potencial como herramienta educativa dinámica.

3. Smartify: A través de RA, Smartify permite a los usuarios explorar el patrimonio cultural y artístico de museos de todo el mundo. Esta aplicación proporciona información sobre las piezas, así como la opción de ver las obras en diferentes ángulos, y en algunos casos, incluso poder interactuar con el entorno de

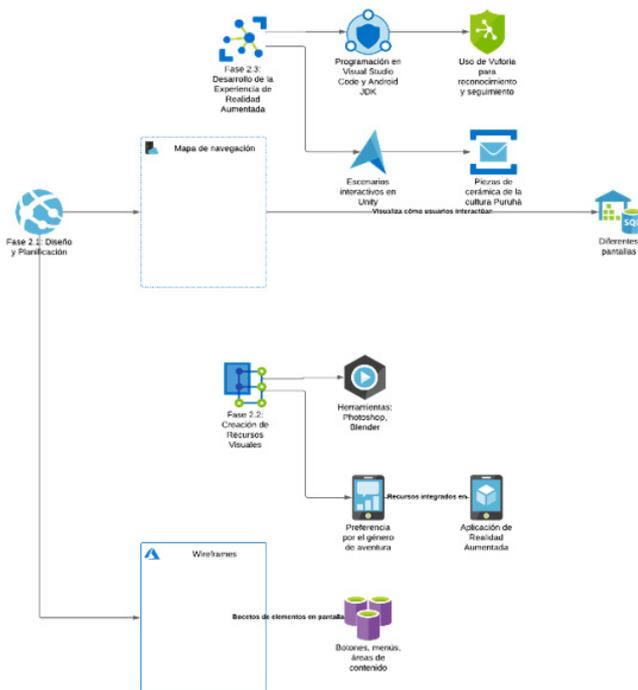


Gráfico 1. Fases de elaboración

Nota : El grafico muestra el orden para elaborar la app de Realidad Aumentada (R-A).

Fase 3. Recolección de datos luego de aplicar la realidad aumentada para la difusión de la cultura Puruhá.

En esta fase, se realizó el post-test utilizando el material desarrollado en la fase 2 para evaluar la interacción de los usuarios con la aplicación de Realidad Aumentada (R-A) dedicada a la

la pieza. Aunque útil para los museos, la interacción se mantiene básica y no incluye elementos narrativos que fomenten la conexión emocional con el usuario.

4. Museum of the World (British Museum): Esta aplicación permite a los usuarios explorar una gran cantidad de artefactos del Museo Británico mediante la RA. Aunque la aplicación ha sido aclamada por su enfoque educativo, los usuarios a menudo se quejan de que la falta de narración y contexto cultural impide una inmersión completa.

Limitaciones Identificadas en las Aplicaciones Analizadas

A pesar de las innovaciones en RA para la difusión cultural, las aplicaciones existentes presentan algunas limitaciones clave, las cuales fueron observadas en los resultados del análisis realizado. Entre ellas se destacan:

- **Interacción Básica:** La mayoría de las aplicaciones se limitan a ofrecer vistas 3D de los objetos sin opciones de interacción profunda o modificaciones del contenido, lo que reduce la posibilidad de que los usuarios se involucren activamente con las piezas.
- **Accesibilidad:** Muchas de las aplicaciones no están completamente optimizadas para usuarios con discapacidades o con acceso limitado a tecnología avanzada, lo que puede excluir a una audiencia amplia.
- **Falta de Elementos Narrativos:** Aunque algunas aplicaciones incluyen información escrita sobre las piezas, la ausencia de narrativas interactivas o contextuales hace que la experiencia sea menos inmersiva. La mayoría de los usuarios desean más que solo la visualización de la pieza, buscan una conexión emocional con la historia detrás del objeto.
- **Falta de elementos que hablen sobre la cultura Puruhá:** Las app's analizadas tiene una difusión cultural centrada en un enfoque euro centrista lo cual dificulta que en la red existan posibilidades de que alguna de ella difunda la cultura Puruhá.

Recomendaciones de los Expertos Consultados

Los tres expertos en tecnología educativa consultados, quienes tienen experiencia en la integración de RA en entornos educativos, señalaron la importancia de incorporar características adicionales que mejoren la conexión cultural y educativa de las aplicaciones. Estas recomendaciones incluyeron:

- **Incorporación de Elementos Narrativos:** Se sugirió que las aplicaciones incluyan historias detalladas sobre la cultura, el contexto histórico y las tradiciones asociadas a las piezas, con el fin de proporcionar una experiencia más rica y significativa.
- **Gamificación:** Se recomendó el uso de la gamificación para

incentivar la participación del usuario. Esto podría incluir actividades interactivas como desafíos, cuestionarios, o misiones que permitan al usuario “descubrir” información sobre las piezas de forma divertida y dinámica.

• **Enfoque Interdisciplinario:** Se sugirió que una de las formas más efectivas de aumentar el impacto de estas aplicaciones es hacer que trabajen en conjunto con otras disciplinas. Por ejemplo, integrar la RA con tecnologías de geolocalización para situar las piezas en su contexto original, o vincularlas con aspectos lingüísticos y socioculturales específicos de la región de origen. Esto, dijo, no solo enriquecería la experiencia visual, sino que permitiría a los usuarios obtener una comprensión más profunda y contextualizada del patrimonio.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados del análisis de las aplicaciones, destacando sus características y limitaciones:

Aplicación	Características	Limitaciones	Posibles Mejoras
Google Arts & Culture	Visualización en 3D de objetos culturales, accesibilidad global.	Falta de interacción y personalización.	Incluir narraciones interactivas y elementos de gamificación para mayor inmersión.
ARTivive	Animación de obras de arte en 3D a través de RA.	Limitada a visualización sin interacción directa.	Incorporar contenido educativo y contextual para reforzar el aprendizaje.
Smartify	Explora obras de arte con RA, acceso a museos internacionales.	Interacción básica, sin narrativas contextuales.	Añadir componentes narrativos y educativos sobre las piezas y su origen cultural.
Museum of the World	Exploración del patrimonio cultural mediante RA.	Falta de personalización y contexto histórico profundo.	Integrar gamificación y más información contextual para profundizar la experiencia.

Tabla 2. Análisis de Aplicaciones de Realidad Aumentada en la Difusión Cultural

Nota. Esta tabla resume las aplicaciones de RA analizadas, destacando sus características, limitaciones y posibles mejoras según los expertos consultados.

Este análisis de aplicaciones de RA en la difusión cultural reveló

que, si bien existen avances significativos en la visualización y promoción de piezas patrimoniales, hay un claro margen de mejora en términos de interactividad, accesibilidad y elementos narrativos. La incorporación de nuevas funcionalidades, como la gamificación, los componentes narrativos contextualizados y enfoques interdisciplinarios, podría transformar estas herramientas en experiencias más ricas y educativas, favoreciendo una conexión más profunda entre los usuarios y las piezas culturales. Las recomendaciones de los expertos servirán como base para el diseño de una nueva propuesta que busque superar estas limitaciones y enriquecer la experiencia educativa a través de la RA.

En la Fase 2, al entender el diseño de la app, se desarrolla un mapa de navegación y wireframes para estructurar y visualizar la interfaz de usuario de manera efectiva. El mapa de navegación proporciona una representación gráfica de cómo los usuarios interactúan con la aplicación, mostrando las diferentes pantallas y las conexiones entre ellas. Esto facilita la comprensión del flujo general y la jerarquía de la información.

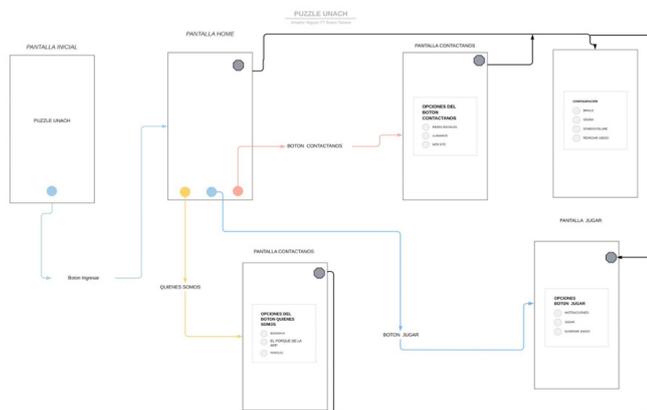


Gráfico 2. Mapa de Navegación

Nota: Aquí se puede observar el flujo de navegación que tendrá la app

Por otro lado, los wireframes actúan como bocetos detallados que ilustran la disposición de los elementos en cada pantalla, incluyendo botones, menús y áreas de contenido. Estos wireframes permiten diseñar la experiencia de usuario y ajustar los elementos visuales y funcionales antes del desarrollo final.

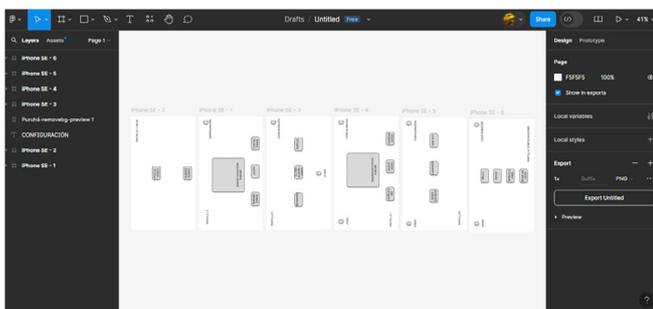


Gráfico 3. Wireframes realizados en Figma

Nota: Bocetos iniciales de la estructura de la app

Juntos, el mapa de navegación y los wireframes aseguran que la estructura de la app sea clara, funcional y alineada con los objetivos establecidos en las fases anteriores del proyecto.

Se elaboraron recursos visuales utilizando herramientas como Photoshop, Blender. La creación de estos recursos incluyó el diseño de imágenes y gráficos en Photoshop, el modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender, y la implementación de elementos de línea gráfica para asegurar una coherencia visual en la aplicación. Estos recursos se desarrollaron con base a la revisión exhaustiva en internet que indicaba una preferencia por el género de aventura, y se integraron en la aplicación de Realidad Aumentada para enriquecer la experiencia de los usuarios y facilitar la difusión de la cultura Puruhá.



Gráfico 4. Logotipo con adobe-photoshop

Nota: Se elaboro el nombre de app y en si su representación textual



Gráfico 5. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 1.

Nota: Modelo 3D Vasija Humanoide Puruhá



Gráfico 6. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 1.

Nota: Modelo 3D Vasija Humanoide Puruhá

Se diseñaron y programaron los ambientes de Realidad Aumentada (R-A) para la difusión de piezas de cerámica de la cultura Puruhá. El diseño de los entornos se llevó a cabo en Unity (Figura 7 y 8), creando escenarios interactivos que permiten a los usuarios explorar las piezas de cerámica en un formato inmersivo. La programación se realizó utilizando Visual Studio Code (Figura 9), en combinación con Android JDK para Unity para asegurar la compatibilidad con dispositivos móviles. Vuforia fue empleado para el reconocimiento y seguimiento de imágenes, facilitando que los usuarios escaneen los códigos QR (Figura 10) y accedan a la experiencia de R-A mediante sus tablets o celulares.

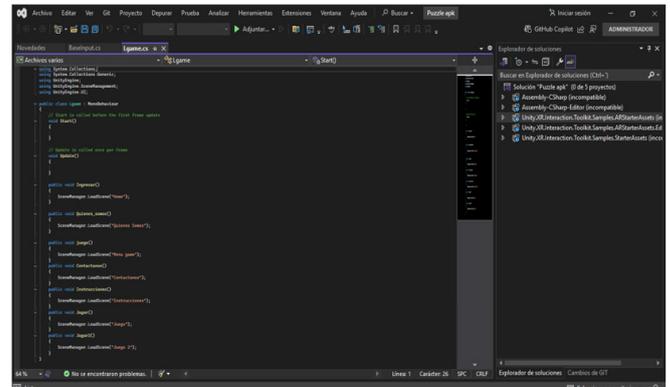


Gráfico 9. Programación utilizando Visual Studio Code para generar la lógica de programación para la app
Nota: Se programa una lógica básica para dar interactividad a los botones.



Gráfico 9. Código Qr generado para usar la experiencia en la App
Nota : Para la elaboración de este código Qr se usa la web <https://es.qr-code-generator.com/>

fácilmente comprendida y retenida. Estos aspectos aseguran una interacción más fluida y eficiente, mejorando la experiencia general del usuario.

En la Fase 3, correspondiente a la recolección de datos posterior a la aplicación de la realidad aumentada para la difusión de la cultura Puruhá, se implementó una evaluación post-test mediante encuestas virtuales a los usuarios. Este post-test, basado en un enfoque cuantitativo, se diseñó con el objetivo de medir diversos aspectos clave de la herramienta, tales como la legibilidad, la facilidad de navegación y la accesibilidad. Al tratarse de un método de investigación cuantitativa, el post-test permitió obtener datos numéricos que ayudaron a valorar el impacto

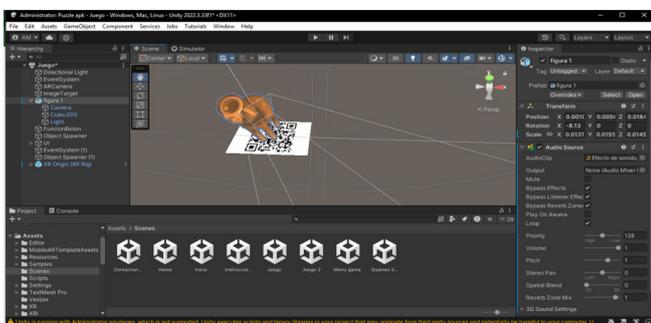


Gráfico 7. Elaboración de la experiencia de R-A y forma de la app en Unity
Nota: Se puede observar la posición de reconocimiento de objetos mediante Vuforia

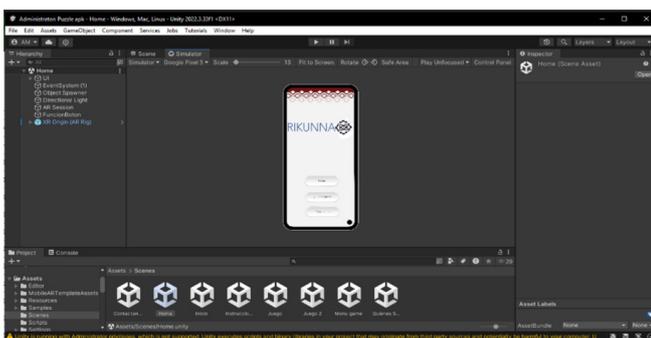


Gráfico 8. Elaboración de la experiencia de R-A y forma de la app en Unity
Nota: Elaboración de entorno.

El diseño destaca por su organización clara de la información, lo que facilita la comprensión y el acceso rápido a los contenidos. La facilidad de navegación es otro aspecto clave, permitiendo a los usuarios encontrar lo que necesitan sin complicaciones. Estos elementos son fundamentales para garantizar una experiencia de usuario positiva, alineándose con los principios de usabilidad. La estructura coherente del diseño contribuye a que la información sea

real de la realidad aumentada en la experiencia del usuario. A través de las encuestas, se buscaba identificar en qué medida la implementación de esta tecnología mejoró la interacción de los usuarios con el contenido cultural y si cumplió con sus expectativas.

La principal finalidad de este post-test fue comprobar si la aplicación de la realidad aumentada había influido de manera positiva en la percepción y experiencia general de los usuarios. A través de las respuestas obtenidas, se pudo evaluar no solo la efectividad de la herramienta en términos de su funcionalidad, sino también cómo los usuarios se sintieron al interactuar con ella. Este análisis permitió identificar fortalezas y debilidades del diseño, proporcionando información valiosa para futuros ajustes y mejoras en la plataforma. De esta manera, se garantizó que la tecnología utilizada cumpliera con su propósito educativo y cultural, facilitando una mejor experiencia de aprendizaje y difusión de la cultura Puruhá.

Resultados

Al analizar los resultados de la encuesta, se evidencia que la aplicación educativa sobre la cultura Puruhá ha logrado transmitir de manera efectiva los contenidos culturales, cumpliendo así con los objetivos planteados. Estos hallazgos respaldan las investigaciones de Echeverría (2000) sobre el potencial de las tecnologías emergentes para la enseñanza. No obstante, la inclusión de la realidad aumentada, como señalan Azuma (1997) y Sheridan (2009), presenta un gran potencial para enriquecer aún más la experiencia de aprendizaje.

Sin embargo, es necesario abordar algunas inconsistencias en la implementación del sonido y garantizar una mayor accesibilidad para optimizar el proceso

educativo, a continuación, se muestra los resultados agrupados en la siguiente tabla de datos:

La mejora de la accesibilidad, como el uso de texto alternativo, contrastes adecuados y opciones de navegación claras, puede hacer que la aplicación sea más amigable para personas con diversas discapacidades. Los usuarios tienen una percepción positiva sobre la aplicación, destacando su legibilidad, claridad en la navegación, y la adecuación de los efectos visuales y el tamaño del texto. Sin embargo, hay algunas áreas de mejora, como asegurar la presencia de sonido y aumentar la accesibilidad para diversos dispositivos. Implementar las recomendaciones proporcionadas podría mejorar aún más la experiencia del usuario y la eficacia educativa de la aplicación.

4. Conclusiones

El desarrollo de la aplicación educativa sobre la cultura Puruhá, empleando tecnologías de realidad aumentada (RA), ha resultado en un producto final que no sólo cumple con los objetivos educativos establecidos, sino que también exhibe altos niveles de usabilidad y aceptación entre los usuarios. La implementación de una metodología centrada en el usuario, apoyada en la investigación formativa, ha permitido un enfoque iterativo que facilitó la identificación de áreas de mejora y la optimización continua de la aplicación.

Nº	Pregunta	Resultado (%)	Implicaciones	Recomendaciones
1	¿La letra, los botones y cuadros de texto son legibles y claros?	83.3% Sí	Alta legibilidad mejora la UX	Mantener la coherencia tipográfica.
2	¿La aplicación cumple con su objetivo de enseñar de la cultura Puruhá?	80% Sí	Contenido educativo efectivo	Analizar las opiniones negativas para mejorar el contenido.
3	¿Los colores son los adecuados?	83.3% Sí	Paleta de colores adecuada	Mantener la coherencia cromática y asegurar contraste suficiente.
4	¿La app se carga de manera óptima?	80% Normal, 20% Muy rápida	Tiempos de carga aceptables	Optimizar aún más para dispositivos de menor capacidad.
5	¿Al navegar la app usted identifica claramente la sección u opción que está utilizando?	83.3% Sí	Navegación intuitiva	Mantener la jerarquía de información.
6	¿Los efectos visuales añaden funcionalidad a la app?	100% Sí	Efectos visuales funcionales	Continuar utilizando efectos visuales para mejorar la UX.
7	Describe el tamaño del texto	83.3% Adecuado	Tamaño de texto legible	Mantener la coherencia en el tamaño de fuente.
8	¿El uso de R-A es adecuado?	100% Sí	RA efectivo para el aprendizaje	Explorar nuevas aplicaciones de la RA en el contenido.
9	¿Existe sonido en la app?	60% No, 40% Sí	Inconsistencia en el uso de sonido	Establecer una estrategia clara para el uso de sonido.
10	¿Alguna Recomendación?	Variadas	Mejorar accesibilidad, compatibilidad, reducir protagonismo de la cámara	Implementar las recomendaciones de los usuarios.

Tabla 2. Tabla de datos con sus resultados

Nota : La tabla muestra una app efectiva, pero con áreas a mejorar en sonido, accesibilidad y optimización.



Este proyecto ha demostrado de manera efectiva la viabilidad del uso de tecnologías de RA en la educación, evidenciando su potencial para enriquecer la experiencia de aprendizaje. La integración de elementos interactivos y visuales no solo facilita la comprensión de conceptos culturales complejos, sino que también fomenta el interés y la motivación de los usuarios por explorar la rica herencia cultural de los Puruhá.

Los hallazgos destacan la importancia de aplicar metodologías de diseño centradas en el usuario en el desarrollo de herramientas educativas. Este enfoque asegura que las aplicaciones no solo sean funcionales, sino que también respondan a las necesidades y expectativas de los usuarios, lo cual es crucial para el éxito y la sostenibilidad de proyectos educativos en contextos digitales. Al involucrar al usuario en el diseño, se mejora la accesibilidad, la usabilidad y la efectividad de las herramientas, garantizando su adaptación a distintos contextos y audiencias.

La combinación de un diseño iterativo y un enfoque centrado en el usuario ha permitido crear una aplicación que no solo educa, sino que también inspira a los usuarios, contribuyendo así a la preservación y difusión de la cultura Puruhá en un formato accesible y atractivo. Este estudio aporta evidencias sobre la efectividad de las tecnologías emergentes en la educación cultural y plantea oportunidades futuras para la integración de la realidad aumentada en otras áreas educativas.

Agradecimientos

Agradecimiento a familiares de los autores de este trabajo de investigación quienes apoyan de forma indirecta al desarrollo y ejecución del mismo.

Contribución de los autores

Tatiana Janeth Bravo Cedeño: Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Redacción – borrador original del artículo. Software. **Manuel David Isín Vilema:** Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Redacción – borrador original del artículo. **Edison Amador Miguez Gordillo:** Software, Análisis formal, Redacción – borrador original del artículo. **Geonatan Octavio Peñafiel Barros:** Software.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Apéndice o Anexo

A.1. Instrumento de investigación. Post test

PRUEBA DE USUARIO

B I U ↺ ↻

Objetivo: Evaluar la aplicación Rikkunav y validar los patrones de interfaz de usabilidad aplicados en la misma.

1. La letra los botones y cuadros de textos son legibles y claros *
 Sí
 No
2. La aplicación cumple con su objetivo de enseñar de la cultura Puruhá *
 Sí
 No
3. Los colores son los adecuados *
 Sí
 No
4. La app se carga: *
 Muy rápida
 Rápida
 Normal
 Lenta
5. Al navegar la app usted identifica claramente la sección u opción que esta utilizando *
 Sí
 No
6. Los efectos visuales añaden funcionalidad a la app. *
 Sí
 No
7. Describa el tamaño del texto *
 Demasiado pequeño
 Adecuado
 Demasiado grande
8. El uso de RA es adecuado *
 Sí
 No
9. Existe sonido en la app *
 Sí
 No
10. Recomendaciones *
Texto de respuesta larga

Referencias bibliográficas

- ARTivive. (s.f.). ARTivive – Aumenta tu arte con realidad aumentada. ARTivive. <https://artivive.com/>
- Azuma, R. T. (1997). Una revisión de la realidad aumentada. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Benyon, D., Turner, P., & Turner, S. (2005). Diseño de sistemas interactivos: Personas, actividades, contextos, tecnologías. Pearson Educación.
- Blender Foundation. (s.f.). Blender [Software]. <https://www.blender.org/>
- British Museum. (s.f.). Museum of the World. British Museum. <https://britishmuseum.withgoogle.com/>
- Dede, C. (2009). Interfaces inmersivas para la participación y el aprendizaje. *Science*, 323(5910), 66-69.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). De los elementos de diseño de juegos a la jugabilidad: Definiendo la “gamificación”. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, 9–15.
- Echeverría, J. (2000). Los señores del aire: Telépolis y el tercer entorno. Editorial Destino.
- Gomez, R., Fernández, M., & Torres, S. (2020). Accesibilidad en aplicaciones móviles: Principios y técnicas para diseñar para todos. *Revista de Tecnologías Inclusivas*, 5(2), 45-62.
- Google Arts & Culture. (s.f.). Explora las colecciones de museos de todo el mundo con Google Arts & Culture. Google.
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Poniendo la educación en las aplicaciones “educativas”: Lecciones de la ciencia del aprendizaje. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3–34.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (2023). El impacto emocional del diseño en el aprendizaje: Teoría y práctica. *Educational Psychology Review*, 35(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09610-4>
- Lee, J., Park, M., & Kim, Y. (2022). Optimización del rendimiento de aplicaciones móviles en entornos de baja conectividad: Desafíos y soluciones. *Journal of Mobile Computing*, 38(4), 98-113. <https://doi.org/10.1109/JMCC.2022.3054571>
- Microsoft. (s.f.). Visual Studio Code [Software]. <https://code.visualstudio.com/>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). Una taxonomía de las pantallas visuales de realidad mixta. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2007). Entornos de aprendizaje multimodal interactivos: Edición especial sobre entornos de aprendizaje interactivo: Cuestiones y tendencias contemporáneas. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309–326.
- Nielsen, J. (1993). Ingeniería de la usabilidad. Academic Press.
- Norman, D. A. (1988). El diseño de los objetos cotidianos. Basic Books.
- Paciello, M. G. (2000). Accesibilidad web para personas con discapacidades. CRC Press.
- Paivio, A. (1986). Representaciones mentales: Un enfoque de codificación dual. Oxford University Press.
- Prensky, M. (2001). Aprendizaje basado en juegos digitales. McGraw-Hill.
- Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2015). Diseño de la interacción: Más allá de la interacción humano-computadora. John Wiley & Sons.
- QR Code Generator. (s.f.). Generador de códigos QR. QR Code Generator. Recuperado el 27 de noviembre de 2024
- Rubin, J., & Chisnell, D. (2008). Manual de pruebas de usabilidad: Cómo planificar, diseñar y realizar pruebas efectivas. John Wiley & Sons.
- Schreiner, M. (2008). Realidad aumentada en museos y galerías de arte. *Journal of Cultural Heritage*, 9(3), 349–354.
- Shackel, B. (1991). Usabilidad-contexto, marco, definición, diseño y evaluación. En B. Shackel & S. J. Richardson (Eds.), Factores humanos para la usabilidad informática (pp. 21–37). Cambridge University Press.
- Sheridan, T. B. (2009). Reflexiones sobre la telepresencia y la presencia virtual. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(1), 120–126.
- Smartify. (s.f.). Smartify - La app para amantes de los museos. Smartify. <https://smartify.org/>
- Sweller, J. (1988). Carga cognitiva durante la resolución de problemas: Efectos sobre el aprendizaje. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Teoría de la carga cognitiva. Springer.
- UNICEF. (2017). Educación inclusiva: El derecho a la educación para los niños con discapacidades. UNICEF.
- Unity Technologies. (s.f.). Unity (versión 2020) [Software]. Unity Technologies. <https://unity.com/es>
- Vuforia PTC Inc. (s.f.). Vuforia [Software]. <https://www.ptc.com/es/products/augmented-reality/vuforia>
- Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). (2023). W3C Web Accessibility Initiative. W3C. <https://www.w3.org/TR/WCAG21>





La inteligencia artificial en la formación académica primaria y secundaria en el Ecuador

Artificial intelligence in primary and secondary education in Ecuador

Resumen

Este estudio evalúa la viabilidad de incorporar la inteligencia artificial (IA) en los currículos académicos de las instituciones educativas primarias y secundarias de Ecuador. La investigación se desarrolló mediante un análisis exhaustivo de datos estadísticos disponibles en el sitio web oficial del Ministerio de Educación del Ecuador, abarcando los periodos académicos de 2009-2010 a 2022-2023. Se exploraron variables como el número de estudiantes matriculados, la equidad de género, el tipo de institución (fiscales, fiscomisionales, municipales y particulares) y el acceso a internet, empleando técnicas de minería de datos mediante herramientas como Python en Google Colab. Los hallazgos reflejan un panorama mixto: mientras que existe una equidad destacable en la matrícula estudiantil, las desigualdades en el acceso a internet persisten, con casi la mitad de las instituciones educativas careciendo de conectividad. Además, se identificó una disminución en el número de instituciones operativas en el país, lo que podría tener implicaciones a largo plazo en la cobertura educativa. Otro hallazgo clave fue la falta de capacitación docente en tecnologías emergentes como la IA, lo cual representa un desafío crítico para su implementación efectiva. Estos resultados no solo subrayan la necesidad de políticas gubernamentales que impulsen un modelo educativo más interactivo y digitalmente accesible, sino que también ofrecen un marco para diseñar intervenciones estratégicas. Este enfoque busca preparar a los estudiantes para las demandas de un futuro tecnológicamente competitivo, al tiempo que fomenta el desarrollo de competencias digitales esenciales desde una edad temprana.

Palabras clave: Inteligencia artificial, educación, acceso a internet, desigualdad digital, capacitación docente, políticas gubernamentales.

Abstract

This study evaluates the feasibility of incorporating artificial intelligence (AI) into the academic curricula of primary and secondary educational institutions in Ecuador. The research was conducted through an exhaustive analysis of statistical data available on the official website of the Ministry of Education of Ecuador, covering the academic periods from 2009-2010 to 2022-2023. Variables such as the number of enrolled students, gender equity, the type of institution (public, semi-public, municipal, and private), and internet access were explored using data mining techniques with tools like Python on Google Colab. The findings present a mixed panorama: while there is remarkable equity in student enrollment, inequalities in internet access persist, with almost half of the educational institutions lacking connectivity. Furthermore, a decrease in the number of operational institutions in the country was identified, which could have long-term implications for educational coverage. Another key finding was the lack of teacher training in emerging technologies such as AI, representing a critical challenge for its effective implementation. These results highlight not only the need for government policies to promote a more interactive and digitally accessible educational model but also provide a framework for designing strategic interventions. This approach aims to prepare students for the demands of a technologically competitive future while fostering the development of essential digital skills from an early age.

Keywords: Artificial intelligence, education, internet access, digital inequality, teacher training, government policies.

Autores

- ✉ * Roberto Wellington Acuña Caicedo 
- ✉ Christian Ruperto Caicedo Plúa 
- ✉ Antonieta Rodríguez Gonzalez 
- ✉ Lenin Jonatan Pin Garcia 

Universidad Estatal del Sur de Manabí,
Facultad de Ciencias Técnicas, Carrera de
Tecnologías de la Información, Ecuador,
Jipijapa.

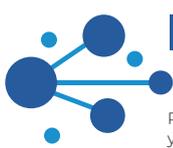
*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Acuña Caicedo, R.W. , Caicedo Plúa, C.R.,
Rodríguez Gonzalez, A. del C. y Pin Garcia,
L.J. 2024. La inteligencia artificial en la
formación académica primaria y secundaria
en el Ecuador. *Informática y Sistemas:
Revista de Tecnologías de la Informática
y las Comunicaciones*. 8(2), pp. 122-133.
<https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.7056>

Enviado: 14/10/2024
Aceptado: 18/12/2024
Publicado: 23/12/2024





1. Introducción

Actualmente, las tecnologías de la información y comunicación (TIC) han transformado la interacción humana a través de las redes sociales, impactando a los más de 8.079 millones de habitantes del planeta según datos a diciembre del 2023 (Worldometer, 2023). Esta transformación ha redefinido los métodos de trabajo, así como las formas de expresarse, compartir opiniones e ideas (Acuña Caicedo et al., 2022). Este cambio paradigmático ha sido impulsado por la existencia de 8.460 millones de líneas de celulares móviles activas, 5.160 millones de usuarios de internet y 4.760 millones de usuarios activos en diversas plataformas de redes sociales (We Are Social, 2023a).

La creciente interconexión global a dado lugar a una sociedad más integrada y dinámica (Azzaakiyyah, 2023). En este contexto, el acceso a internet y dispositivos tecnológicos se ha convertido en un eje central para adquirir nuevos conocimientos, tanto en programas de educación formal como informal lo que constituye un pilar clave para el desarrollo personal y profesional. Este fenómeno es un componente esencial de la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0, donde la tecnología impulsa la generación y distribución del conocimiento (Nemorin et al., 2023a).

En el ámbito de la educación formal, la UNESCO reporta que aproximadamente 235 millones de estudiantes estaban matriculados en instituciones universitarias en el año 2023 (UNESCO, 2023). Paralelamente, en el sector de la formación no convencional, plataformas de aprendizaje en línea como Edx (Edx, 2021), Coursera (Coursera, 2021), Udemy (Udemy, 2021), Miriadax (Miriadax, n.d.), entre otras desempeñan un rol significativo en el enriquecimiento educativo de los estudiantes. Estas plataformas ofrecen una amplia gama de recursos que facilitan el aprendizaje autodirigido y el desarrollo de habilidades esenciales para un mercado laboral en constante evolución.

Sin embargo, desde el 30 de noviembre de 2022, todo este progreso se vio acelerado con la puesta a disposición de los usuarios informáticos de herramientas de inteligencia artificial. Este avance fue liderado por la introducción de ChatGPT-3.5, un chatbots desarrollado por OpenAI. (Chiu et al., 2023). En 2023, este proceso se consolidó con el lanzamiento de ChatGPT-4, una versión de pago con capacidades ampliadas (LXA, 2023; Search Engine Journal, 2023; WiziShop, 2023), además del surgimiento de cientos de herramientas innovadoras en el campo de inteligencia artificial (AIFINDY, 2023). Estos avances han redefinido las capacidades de los chatbots, abriendo nuevas posibilidades para la investigación y la innovación tecnológica.

En el marco de los avances globales en inteligencia artificial

(IA), OpenAI no ha sido el único actor clave en este progreso tecnológico; otras grandes empresas como Microsoft, Google y Amazon también están impulsando significativamente el desarrollo de esta tecnología. Estas compañías buscan consolidar su liderazgo en el mercado mediante innovaciones que equilibran el progreso con principios éticos diseñados para proteger la privacidad y promover el bienestar social (Talbot, 2023). Sin embargo, más allá de estas corporaciones, numerosos proyectos de investigación en países como Estados Unidos, China, Taiwán y Turquía están generando aportes valiosos, especialmente en el ámbito educativo (Dogan et al., 2023).

Estos esfuerzos han demostrado su capacidad para transformar la educación, mejorando el rendimiento académico a través de la integración de habilidades STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) (Escobar et al., 2022). Además, están ampliando las posibilidades de enseñanza-aprendizaje, facilitando el acceso al conocimiento y fortaleciendo la formación de docentes (Audrey Azoulay: Aprovechando al Máximo La Inteligencia Artificial | El Correo de La UNESCO, n.d.).

Para garantizar que estos avances sean inclusivos y beneficien a todos los sectores de la sociedad, es esencial que gobiernos e instituciones educativas, tanto públicas como privadas, implementen políticas que promuevan la capacitación tecnológica de los docentes. (Fomento de Un Ecosistema Digital Para La IA (Principio de IA de La OCDE) - OECD.AI, n.d.). Este tipo de formación no solo les permitirá utilizar herramientas de IA de manera efectiva en el aula, sino también impactar positivamente en las familias y comunidades, especialmente en aquellas en situación de vulnerabilidad. Por ende, los docentes desempeñan un papel fundamental en la creación de entornos de aprendizaje inclusivos y equitativos, que aprovechen el potencial de la tecnología para impulsar el desarrollo integral de los estudiantes (García-Carrión & Allotey, 2022)(Flores-Vivar et al., n.d.).

Ecuador, por su parte, se encuentra en una posición favorable en términos de conectividad a nivel de usuarios particulares y hogares. Con una población de 16,94 millones en 2022 (INEC, 2022), el país alcanza un alto nivel de acceso a internet, que abarca al 81,3% de sus habitantes (14,72 millones). Asimismo, el 73,5% de la población (13,30 millones) utiliza redes sociales de manera activa, lo que evidencia un alto grado de interacción digital. Además, las conexiones móviles activas superan incluso a la población total, alcanzando 16,70 millones, equivalentes al 92,33% de los habitantes (92,33% de la población) (We Are Social, 2023b).

Asimismo, en el sector educativo, durante el periodo académico 2022-2023, Ecuador contaba con 15.997 instituciones de educación primaria y secundaria: 12.341 fiscales (77,15%),

626 fiscomisionales (3,91%), 107 municipales (0,67%) y 2.923 particulares (18,27%). La matrícula total fue de 4.322.138 estudiantes, distribuidos equitativamente entre mujeres (49,67%) y hombres (50,33%). Por tipo de institución, los estudiantes se encontraban en instituciones fiscales (75,41%), fiscomisionales (5,98%), municipales (0,75%) y particulares (17,85%). Del total, el 96,7% fue promovido, mientras que el 1,3% no aprobó y el 2,1% abandonó los estudios (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023b).

En contraste, en el período 2022-2023, solo el 49,60% de las instituciones educativas en Ecuador tenían acceso a internet (7.935 de 16.997). Las instituciones particulares presentaban la mayor conectividad (82,38%), seguidas de las municipales (67,29%), fiscomisionales (62,94%) y fiscales (41,01%). Por otro lado, el 50,40% de las instituciones (8.062) carecían de acceso, siendo las fiscales las más afectadas (58,99%).

Los datos para esta investigación se obtuvieron del sitio web del Ministerio de Educación del Ecuador y se procesaron mediante técnicas de minería de datos. Este análisis permitió identificar la situación de la matrícula estudiantil, la capacitación docente y la infraestructura tecnológica en las instituciones educativas. El objetivo principal fue evaluar la capacidad de las instituciones primarias y secundarias para integrar herramientas de inteligencia artificial (IA) en sus currículos, considerando variables como el acceso a internet, las capacidades tecnológicas y las tendencias globales en la adopción de IA, apoyándose en estudios internacionales y mejores prácticas. A partir de este análisis, se formularon recomendaciones estratégicas para orientar a las autoridades educativas en la optimización de la infraestructura y la capacitación docente, con el fin de modernizar los procesos curriculares y preparar a los estudiantes para las crecientes demandas tecnológicas, garantizando una educación inclusiva y de alta calidad. (Udvaros & Forman, 2023).

Este documento está organizado de la siguiente manera: La Sección 2 revisa la investigación sobre “La inteligencia artificial en la formación académica primaria y secundaria en el Ecuador”, la Sección 3 explica la metodología y los recursos utilizados para desarrollar este trabajo. Posteriormente, en la Sección 4 se presentan los resultados, en la Sección 5 se discuten los resultados. Finalmente, en la Sección 6 se extraen conclusiones y se proponen oportunidades para futuros trabajos.

Investigación relacionada

La revisión de la literatura evidencia avances significativos en la integración de la inteligencia artificial (IA) en la educación a nivel global, con implicaciones directas para el contexto ecuatoriano. Por ejemplo, Montenegro et al. (2023) (Montenegro-Rueda et al., 2023) destacan el impacto positivo de herramientas como ChatGPT en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Este estudio subraya la importancia de capacitar a los docentes en el uso efectivo de tecnologías emergentes, un aspecto crucial también para Ecuador, donde las brechas en la capacitación docente representan un desafío estructural para la implementación de IA

en el sistema educativo.

Por su parte Baidoo-Anu et al. (2023), (BAIDOO-ANU & ANSAH, 2023) analizan aplicaciones concretas de IA, como tutorías personalizadas y evaluaciones automáticas, así como limitaciones, incluyendo sesgos en los datos y comprensión limitada de contextos. Estas conclusiones son especialmente relevantes para Ecuador, donde casi la mitad de las instituciones educativas carecen de acceso a internet, dificultando la integración de soluciones tecnológicas avanzadas. La capacitación docente y el acceso a infraestructura adecuada son elementos críticos para superar estas limitaciones.

El estudio de Nemorin et al. (2023), (Nemorin et al., 2023b) ofrece una perspectiva global sobre las políticas educativas relacionadas con la IA, explorando las desigualdades socioeconómicas y las implicaciones geopolíticas de su adopción. Este enfoque invita a reflexionar sobre cómo las políticas en Ecuador pueden adaptarse para reducir las desigualdades tecnológicas entre regiones urbanas y rurales, donde las instituciones fiscales enfrentan mayores restricciones de conectividad.

Holmes et al. (2021), (Miao et al., 2021) en un informe para la UNESCO, vinculan la implementación de la IA en la educación con el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 4. Sus propuestas de marcos políticos para la IA en educación pueden servir de guía para Ecuador, donde es crucial diseñar políticas que aborden tanto las necesidades tecnológicas como la equidad educativa, preparando a los estudiantes para competir en un mercado laboral cada vez más exigente.

Finalmente, Nguyen et al., (Nguyen et al., 2023) resaltan la importancia de una gobernanza ética en la implementación de la IA en educación, abordando temas como la privacidad de datos, la transparencia y la sostenibilidad. Este enfoque es particularmente relevante para Ecuador, donde la incorporación de la IA en la educación debe ser regulada cuidadosamente para garantizar el respeto a los principios éticos y la inclusión de todas las comunidades educativas.

En síntesis, los estudios analizados coinciden en la necesidad de una formación docente robusta, políticas educativas sólidas y consideraciones éticas para integrar la IA en el ámbito educativo. Para Ecuador, estas recomendaciones ofrecen una hoja de ruta clara: abordar las brechas de infraestructura y capacitación, mientras se fomenta un uso responsable y equitativo de la tecnología en un sistema educativo marcado por desigualdades significativas.

2. Materiales y Métodos

El análisis de esta investigación se fundamenta en un enfoque metodológico integral que combina técnicas cuantitativas y cualitativas. En primer lugar, se realizó una revisión sistemática de literatura que permitió identificar tendencias globales y regionales en la adopción de la inteligencia artificial (IA) en la educación. Este análisis contextualizó los desafíos específicos de



Ecuador, lo que resultó fundamental para enmarcar los hallazgos dentro de un contexto global.

Posteriormente, se recopilaron datos relacionados con la matrícula estudiantil y el acceso a internet en instituciones educativas primarias y secundarias. Estos datos, disponibles públicamente en el sitio web del Ministerio de Educación, abarcaron los periodos académicos de 2009-2010 a 2022-2023.

Además, los datos fueron procesados mediante técnicas de minería de datos utilizando Python en Google Colab. El uso de esta plataforma se justificó por el tamaño del archivo que contenía los datos, el cual requería un poder de cómputo superior al de un equipo de escritorio convencional. Herramientas específicas como Pandas y Matplotlib facilitaron la extracción de patrones clave, particularmente en variables críticas como la disponibilidad de internet en instituciones fiscales y rurales.

Por otro lado, el enfoque cualitativo complementó el análisis cuantitativo mediante una evaluación de las políticas educativas vigentes en Ecuador. Esto permitió identificar las limitaciones estructurales que afectan la adopción de tecnologías emergentes, así como proponer soluciones orientadas a mejorar la capacitación docente y cerrar la brecha digital.

En consecuencia, la combinación de estos enfoques proporciona un marco sólido para interpretar los resultados, formulando recomendaciones estratégicas que no solo promuevan la integración efectiva de la IA en los currículos académicos, sino

que también garanticen un acceso equitativo a las herramientas tecnológicas. De este modo, se busca preparar a los estudiantes ecuatorianos para enfrentar los retos de un entorno global cada vez más competitivo y tecnológicamente avanzado.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de esta investigación evidencian tanto avances como desafíos en el sistema educativo ecuatoriano frente a la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA). Entre los hallazgos más relevantes, se identificó una reducción progresiva en el número de instituciones educativas durante los últimos 13 años, así como desigualdades significativas en el acceso a internet, con casi la mitad de las instituciones careciendo de conectividad adecuada. No obstante, se destaca la equidad en la matrícula estudiantil entre géneros y el potencial de implementar estrategias para fortalecer la capacitación docente en tecnologías emergentes. Estos resultados subrayan la urgencia de políticas públicas inclusivas que impulsen un modelo educativo digitalmente accesible y orientado a las demandas del siglo XXI. A continuación, se presentan los principales resultados de esta investigación, acompañados de un análisis detallado que conecta estas evidencias con implicaciones prácticas y recomendaciones estratégicas para el desarrollo del sistema educativo ecuatoriano.

La tabla 1 evidencia una significativa disminución en el

Tabla 1: Instituciones educativas de nivel primario y secundario del Ecuador
Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Periodo	Fiscal	%	Fiscomisional	%	Municipal	%	Particular	%	Total
2009-2010	19.789	71,57	865	3,13	520	1,88	6.477	23,42	27.651
2010-2011	19.555	72,64	782	2,91	348	1,29	6.234	23,16	26.919
2011-2012	19.916	72,03	1.297	4,69	327	1,18	6.111	22,10	27.651
2012-2013	19.411	73,37	1.187	4,49	306	1,16	5.554	20,99	26.458
2013-2014	18.287	74,42	979	3,98	283	1,15	5.024	20,45	24.573
2014-2015	17.243	73,95	893	3,83	262	1,12	4.919	21,10	23.317
2015-2016	14.072	75,55	733	3,94	176	0,94	3.644	19,57	18.625
2016-2017	13.066	75,91	684	3,97	129	0,75	3.334	19,37	17.213
2017-2018	12.545	75,46	658	3,96	122	0,73	3.299	19,84	16.624
2018-2019	12.495	75,48	658	3,97	115	0,69	3.287	19,86	16.555
2019-2020	12.385	75,41	669	4,07	113	0,69	3.256	19,83	16.423
2020-2021	12.383	76,40	652	4,02	109	0,67	3.065	18,91	16.209
2021-2022	12.367	76,84	645	4,01	108	0,67	2.975	18,48	16.095
2022-2023	12.341	77,15	626	3,91	107	0,67	2.923	18,27	15.997

número de instituciones educativas primarias y secundarias en Ecuador entre los periodos académicos 2009-2010 y 2022-2023, pasando de 27.651 a 15.997, lo que representa una reducción del 42,13%. Las instituciones particulares registraron la mayor caída porcentual (-54,87%), mientras que las fiscales, aunque aumentaron su proporción en el sistema del 71,57% al 77,15%, disminuyeron en términos absolutos un 37,64%. Por su parte, las fiscomisionales y municipales también sufrieron reducciones importantes, del 27,63% y 79,42%, respectivamente. Este descenso generalizado plantea preocupaciones sobre el acceso y

Tabla 2: Matrícula de estudiantes por sexo período académico
 Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Periodo Académico	Matrícula de Mujeres	%	Matrícula de Varones	%	Matrícula de alumnos
2009-2010	2.035.658	49,61	2.067.566	50,39	4.103.224
2010-2011	2.091.495	49,47	2.136.273	50,53	4.227.768
2011-2012	2.169.819	49,53	2.210.727	50,47	4.380.546
2012-2013	2.209.103	49,65	2.240.113	50,35	4.449.216
2013-2014	2.258.481	49,53	2.301.657	50,47	4.560.138
2014-2015	2.341.575	49,52	2.387.007	50,48	4.728.582
2015-2016	2.292.624	49,54	2.335.322	50,46	4.627.946
2016-2017	2.269.918	49,54	2.311.965	50,46	4.581.883
2017-2018	2.236.591	49,53	2.279.476	50,47	4.516.067
2018-2019	2.217.826	49,58	2.255.195	50,42	4.473.021
2019-2020	2.186.926	49,62	2.220.104	50,38	4.407.030
2020-2021	2.138.904	49,57	2.175.873	50,43	4.314.777
2021-2022	2.135.739	49,56	2.173.400	50,44	4.309.139
2022-2023	2.146.920	49,67	2.175.218	50,33	4.322.138

la cobertura educativa, destacando la creciente dependencia del sistema en las instituciones fiscales y las posibles repercusiones en la equidad y sostenibilidad de la educación en el país.

La tabla 2 evidencia una notable estabilidad en la proporción de matrícula entre mujeres y varones en el sistema educativo ecuatoriano durante el periodo 2009-2010 a 2022-2023, con un promedio de 49,5% y 50,5%, respectivamente, lo que refleja una equidad de género sostenida en el acceso a la educación. Sin embargo, la matrícula total alcanzó su punto más alto en 2014-2015 con 4.728.582 estudiantes, para luego disminuir progresivamente hasta 4.322.138 en 2022-2023, lo que equivale a una reducción del 8,6%. Este descenso plantea interrogantes sobre posibles barreras estructurales o demográficas que podrían estar afectando el acceso y la permanencia en el sistema educativo, resaltando la importancia de garantizar que cualquier intervención futura en el sector, como la implementación de tecnologías avanzadas, sea diseñada para mantener la equidad

Tabla 3: Mayores matriculas de estudiantes por período académico
 Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Mayor Matrícula	Periodo Académico	Matrícula de Mujeres	%	Matrícula de Varones	%	Matrícula de alumnos
1	2014-2015	2.341.575	49,52	2.387.007	50,48	4.728.582
2	2015-2016	2.292.624	49,54	2.335.322	50,46	4.627.946
3	2016-2017	2.269.918	49,54	2.311.965	50,46	4.581.883
4	2013-2014	2.258.481	49,53	2.301.657	50,47	4.560.138
5	2017-2018	2.236.591	49,53	2.279.476	50,47	4.516.067
6	2018-2019	2.217.826	49,58	2.255.195	50,42	4.473.021
7	2012-2013	2.209.103	49,65	2.240.113	50,35	4.449.216
8	2019-2020	2.186.926	49,62	2.220.104	50,38	4.407.030
9	2011-2012	2.169.819	49,53	2.210.727	50,47	4.380.546
10	2022-2023	2.146.920	49,67	2.175.218	50,33	4.322.138
11	2020-2021	2.138.904	49,57	2.175.873	50,43	4.314.777
12	2021-2022	2.135.739	49,56	2.173.400	50,44	4.309.139
13	2010-2011	2.091.495	49,47	2.136.273	50,53	4.227.768
14	2009-2010	2.035.658	49,61	2.067.566	50,39	4.103.224

lograda en el acceso entre mujeres y varones.

La tabla presenta los mismos datos de la tabla anterior, pero ordenados de mayor a menor matrícula total por período académico. Se observa que el periodo con la mayor matrícula fue 2014-2015, con 4.728.582 estudiantes (49,52% mujeres y 50,48% varones), mientras que el de menor matrícula fue 2022-2023, con 4.322.138 estudiantes (49,67% mujeres y 50,33% varones). A lo largo del tiempo, los porcentajes de matrícula entre mujeres y varones se mantuvieron estables, con una ligera superioridad masculina. Esta tendencia decreciente en la matrícula total resalta la importancia de analizar factores como cambios demográficos, económicos o educativos, que puedan estar limitando el acceso o la permanencia en el sistema educativo. Identificar y abordar estas posibles barreras es esencial para garantizar un acceso equitativo y sostenido a la educación.

La tabla 4, muestra la evolución de la matrícula en instituciones educativas fiscales, fiscomisionales, municipales y particulares en Ecuador entre 2009-2010 y 2022-2023, destacando la preeminencia de las instituciones fiscales, que promediaron un 72,8% del total de matriculas y alcanzaron su punto más alto en 2021-2022 con un 77,15%. Aunque en términos absolutos la matrícula en estas instituciones creció de 2.832.992 en 2009-2010 a 3.259.496 en 2022-2023, las instituciones fiscomisionales, municipales y particulares mostraron disminuciones significativas. Las particulares, por ejemplo, redujeron su matrícula de 970.880 (23,66%) en 2009-2010 a 771.632 (17,85%) en 2022-2023, una caída del 20,5%, mientras que las municipales, con la menor participación, disminuyeron



Tabla 4: Matricula de estudiantes por tipo de instituciones educativas
Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Periodo	Fiscal	%	Fiscomisional	%	Municipal	%	Particular	%	Total
2009-2010	2.832.992	69,04	244.751	5,96	54.601	1,33	970.880	23,66	4.103.224
2010-2011	2.927.970	69,26	265.164	6,27	46.434	1,10	988.200	23,37	4.227.768
2011-2012	3.059.318	69,84	270.377	6,17	47.168	1,08	1.003.683	22,91	4.380.546
2012-2013	3.128.742	70,32	276.745	6,22	48.683	1,09	995.046	22,36	4.449.216
2013-2014	3.271.526	71,74	274.388	6,02	50.107	1,10	964.117	21,14	4.560.138
2014-2015	3.433.234	72,61	286.761	6,06	47.283	1,00	961.304	20,33	4.728.582
2015-2016	3.435.973	74,24	284.877	6,16	40.037	0,87	867.059	18,74	4.627.946
2016-2017	3.408.217	74,38	284.067	6,20	37.582	0,82	852.017	18,60	4.581.883
2017-2018	3.338.229	73,92	286.135	6,34	36.147	0,80	855.556	18,94	4.516.067
2018-2019	3.288.624	73,52	285.755	6,39	36.433	0,81	862.209	19,28	4.473.021
2019-2020	3.219.939	73,06	286.382	6,50	35.191	0,80	865.518	19,64	4.407.030
2020-2021	3.297.505	76,42	269.742	6,25	34.173	0,79	713.357	16,53	4.314.777
2021-2022	3.324.405	77,15	259.054	6,01	33.652	0,78	692.028	16,06	4.309.139
2022-2023	3.259.496	75,41	258.503	5,98	32.507	0,75	771.632	17,85	4.322.138

en un 40,45% durante el mismo periodo. Estos datos reflejan una creciente dependencia del sector fiscal, pero también evidencian desafíos para las instituciones no fiscales en mantener su participación en el sistema educativo. En este contexto, resulta crucial fortalecer la infraestructura y el acceso tecnológico en todos los tipos de instituciones, considerando herramientas como la Inteligencia Artificial (IA) para cerrar brechas de calidad y equidad, promoviendo así una educación inclusiva y alineada con las demandas del siglo XXI.

La tabla 5 refleja la evolución del acceso a internet en las instituciones educativas de Ecuador entre los periodos 2009-2010 y 2022-2023, mostrando un incremento sostenido en la conectividad, aunque con algunas fluctuaciones recientes. En 2009-2010, solo el 18,90% de las instituciones (5.226 de un total de 27.651) tenían acceso a internet. El máximo nivel se alcanzó en 2021-2022, con el 51,79% (8.336 instituciones conectadas), pero en 2022-2023 la proporción descendió ligeramente al 49,60% (7.935 instituciones). A pesar de estos avances, en muchos casos la conectividad es insuficiente para implementar procesos académicos de calidad. Además, más del 50% de las instituciones aún carecen de acceso a internet, limitando la adopción de tecnologías avanzadas como la Inteligencia Artificial (IA). Esto pone de manifiesto la necesidad urgente de políticas públicas enfocadas en fortalecer la infraestructura tecnológica y asegurar un acceso equitativo, esencial para modernizar el sistema educativo y reducir la brecha digital.

Tabla 5: Acceso a internet - Instituciones educativas por periodo académico
Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Periodo académico	Si	%	No	%	Total, instituciones
2009-2010	5.226	18,90	22.425	81,10	27.651
2010-2011	6.060	22,51	20.859	77,49	26.919
2011-2012	6.820	24,66	20.831	75,34	27.651
2012-2013	8.857	33,48	17.601	66,52	26.458
2013-2014	8.980	36,54	15.593	63,46	24.573
2014-2015	9.005	38,62	14.312	61,38	23.317
2015-2016	7.979	42,84	10.646	57,16	18.625
2016-2017	7.532	43,76	9.681	56,24	17.213
2017-2018	7.551	45,42	9.073	54,58	16.624
2018-2019	7.752	46,83	8.803	53,17	16.555
2019-2020	7.824	47,64	8.599	52,36	16.423
2020-2021	7.862	48,50	8.347	51,50	16.209
2021-2022	8.336	51,79	7.759	48,21	16.095
2022-2023	7.935	49,60	8.062	50,40	15.997

Tabla 6: Acceso a internet por tipo de institución y periodo académico - Porcentaje por tipo de institución
Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Periodo	Fiscal						Fiscomisional					
	Si	%	No	%	Total	%	Si	%	No	%	Total	%
2009-2010	2.090	10,56	17.699	89,44	19.789	71,57	278	32,14	587	67,86	865	3,13
2010-2011	2.629	13,44	16.926	86,56	19.555	72,64	304	38,87	478	61,13	782	2,91
2011-2012	3.286	16,50	16.630	83,50	19.916	72,03	328	25,29	969	74,71	1.297	4,69
2012-2013	5.078	26,16	14.333	73,84	19.411	73,37	369	31,09	818	68,91	1.187	4,49
2013-2014	5.283	28,89	13.004	71,11	18.287	74,42	377	38,51	602	61,49	979	3,98
2014-2015	5.263	30,52	11.980	69,48	17.243	73,95	409	45,80	484	54,20	893	3,83
2015-2016	4.809	34,17	9.263	65,83	14.072	75,55	403	54,98	330	45,02	733	3,94
2016-2017	4.502	34,46	8.564	65,54	13.066	75,91	401	58,63	283	41,37	684	3,97
2017-2018	4.509	35,94	8.036	64,06	12.545	75,46	397	60,33	261	39,67	658	3,96
2018-2019	4.680	37,45	7.815	62,55	12.495	75,48	407	61,85	251	38,15	658	3,97
2019-2020	4.747	38,33	7.638	61,67	12.385	75,41	413	61,73	256	38,27	669	4,07
2020-2021	4.887	39,47	7.496	60,53	12.383	76,40	407	62,42	245	37,58	652	4,02
2021-2022	5.601	45,29	6.766	54,71	12.367	76,84	379	58,76	266	41,24	645	4,01
2022-2023	5.061	41,01	7.280	58,99	12.341	77,15	394	62,94	232	37,06	626	3,91

	Municipal						Particular						Total
	Si	%	No	%	Total	%	Si	%	No	%	Total	%	
40	7,69	480	92,31	520	1,88	2.818	43,51	3.659	56,49	6.477	23,42	27.651	
59	16,95	289	83,05	348	1,29	3.068	49,21	3.166	50,79	6.234	23,16	26.919	
62	18,96	265	81,04	327	1,18	3.144	51,45	2.967	48,55	6.111	22,10	27.651	
69	22,55	237	77,45	306	1,16	3.341	60,15	2.213	39,85	5.554	20,99	26.458	
70	24,73	213	75,27	283	1,15	3.250	64,69	1.774	35,31	5.024	20,45	24.573	
78	29,77	184	70,23	262	1,12	3.255	66,17	1.664	33,83	4.919	21,10	23.317	
75	42,61	101	57,39	176	0,94	2.692	73,87	952	26,13	3.644	19,57	18.625	
68	52,71	61	47,29	129	0,75	2.561	76,81	773	23,19	3.334	19,37	17.213	
69	56,56	53	43,44	122	0,73	2.576	78,08	723	21,92	3.299	19,84	16.624	



66	57,39	49	42,61	115	0,69	2.599	79,07	688	20,93	3.287	19,86	16.555
70	61,95	43	38,05	113	0,69	2.594	79,67	662	20,33	3.256	19,83	16.423
66	60,55	43	39,45	109	0,67	2.502	81,63	563	18,37	3.065	18,91	16.209
61	56,48	47	43,52	108	0,67	2.295	77,14	680	22,86	2.975	18,48	16.095
72	67,29	35	32,71	107	0,67	2.408	82,38	515	17,62	2.923	18,27	15.997

La tabla 6 evidencia desigualdades significativas en el acceso a internet por tipo de institución educativa en Ecuador entre 2009-2010 y 2022-2023. Las instituciones fiscales, que representan la mayor proporción del sistema educativo, incrementaron su conectividad del 10,56% al 41,01%, pero aún el 58,99% carece de acceso, reflejando la mayor brecha digital del sistema. En contraste, las fiscomisionales alcanzaron un 62,94% de conectividad en 2022-2023, mientras que las municipales y particulares presentaron los mayores niveles, con 67,29% y 82,38%, respectivamente. Sin embargo, el impacto general de estas últimas es limitado debido a su menor participación en el sistema. Para un análisis más crítico, sería necesario identificar las razones detrás de las disparidades geográficas en conectividad, considerando factores como la infraestructura regional, políticas locales o diferencias presupuestarias. Provincias con mejor conectividad pueden implementar con mayor rapidez herramientas como la Inteligencia Artificial (IA), lo que genera un efecto desigual en la calidad educativa entre regiones. Por ello, resulta esencial diseñar estrategias específicas que prioricen el cierre de estas brechas, asegurando una modernización equitativa del sistema educativo a nivel nacional.

La tabla 7, detalla el acceso a internet en instituciones educativas por provincia durante el periodo 2022-2023, destacando variaciones significativas en conectividad. Provincias como Tungurahua (84,15%) y Santa Elena (82,53%) lideran en proporción de instituciones conectadas, mientras que Pichincha y El Oro también muestran niveles destacados con el 79,92% y 76,91%, respectivamente. En contraste, provincias como Orellana (19,79%) y Pastaza (18,64%) registran los índices más bajos de conectividad, evidenciando una brecha digital marcada entre regiones. Guayas, aunque lidera en números absolutos con 1.547 instituciones conectadas, tiene un porcentaje de conectividad del 60,55%, reflejando desafíos aún significativos en una provincia de alta densidad poblacional. Este panorama subraya la urgente necesidad de políticas diferenciadas que prioricen las provincias con menor conectividad, especialmente aquellas en regiones rurales y amazónicas, para garantizar condiciones equitativas

Tabla 7: Acceso a internet por provincia período 2022-2023
 Fuente Datos abierto Ministerio de Educación del Ecuador.

Provincia	SI	%	NO	%	Total
Azuay	558	66,04	287	33,96	845
Bolivar	115	28,26	292	71,74	407
Carchi	97	61,78	60	38,22	157
Cañar	168	49,56	171	50,44	339
Chimborazo	248	52,43	225	47,57	473
Cotopaxi	272	52,31	248	47,69	520
El Oro	423	76,91	127	23,09	550
Esmeraldas	217	27,36	576	72,64	793
Galapagos	16	69,57	7	30,43	23
Guayas	1547	60,55	1008	39,45	2555
Imbabura	215	70,49	90	29,51	305
Loja	395	35,84	707	64,16	1102
Los Rios	282	34,52	535	65,48	817
Manabi	721	33,63	1423	66,37	2144
Morona Santiago	176	28,07	451	71,93	627
Napo	84	31,23	185	68,77	269
Orellana	74	19,79	300	80,21	374
Pastaza	55	18,64	240	81,36	295
Pichincha	1409	79,92	354	20,08	1763
Santa Elena	189	82,53	40	17,47	229
Santo Domingo de los Tsachilas	208	51,61	195	48,39	403
Sucumbios	112	26,92	304	73,08	416
Tungurahua	239	84,15	45	15,85	284
Zamora Chinchipe	115	37,46	192	62,54	307

de acceso a herramientas tecnológicas como la Inteligencia Artificial (IA). Reducir estas desigualdades es crucial para promover un sistema educativo inclusivo que brinde igualdad de oportunidades a todos los estudiantes, independientemente de su ubicación geográfica.

Tabla 8: Características de computadores para trabajar con herramientas de IA.

Fuente: Los autores

Característica	Descripción
Procesador	Intel Core i5, i7, i9 o AMD Ryzen
Memoria RAM	8, 12, 32 Gb, o superior
Tarjeta grafica	Tarjetas gráficas dedicadas, como las de la serie NVIDIA GeForce RTX o las AMD Radeon
Almacenamiento	Disco en estado Solido
Conectividad a internet	Estable y rápida
Sistema operativo	Últimas versiones de Windows, macOS y Linux
Puertos y conectividad	USB, HDMI/DisplayPort
Refrigeración	Sistema de refrigeración para mantener el hardware a temperaturas óptimas
Software compatible	Software necesario para ejecutar herramientas de IA, como frameworks de aprendizaje automático (TensorFlow, PyTorch), herramientas de análisis de datos (Python, R), entre otros.

Finalmente, la tabla 8, basada en información proporcionado por ChatGPT, establece las especificaciones mínimas requeridas para que un computador se conecte de manera eficiente a internet y sea capaz de utilizar herramientas de inteligencia artificial (IA) y otras aplicaciones avanzadas. Esta tabla es esencial, pues señala los requisitos tecnológicos básicos para asegurar que tanto estudiantes como educadores puedan explotar plenamente el potencial de estas tecnologías emergentes en el ámbito educativo.

Discusión

La integración de herramientas avanzadas de inteligencia artificial, tales como ChatGPT, Gemini, y Claude, en nuestro diario vivir, está revolucionando diversos sectores, especialmente la educación. Estudios recientes como el de Montenegro-Rueda et al. (2023) (Montenegro-Rueda et al., 2023), evidencian que estas tecnologías ofrecen una adaptabilidad excepcional a las necesidades individuales de cada estudiante, actuando como tutores virtuales que brindan apoyo continuo y personalizado. Esta personalización enriquece notablemente la experiencia educativa, creando un entorno más interactivo y coherente con los requerimientos de la era digital. Sin embargo, la implementación de estas herramientas enfrenta desafíos importantes, como la creciente dependencia de la tecnología y preocupaciones éticas

relacionadas con la privacidad y los sesgos algorítmicos (Nguyen et al., 2023). A pesar de estos retos, el desarrollo de estas herramientas señala un paso decisivo hacia un modelo educativo más dinámico, que responde eficazmente a las demandas del siglo XXI.

La capacitación docente en el uso de herramientas de inteligencia artificial (IA) es vital para su adopción en los centros educativos de niveles primarios y secundarios. Baidoo-Anu y Anshah (2023) (BAIDOO-ANU & ANSAH, 2023), resaltan la importancia de formar a los educadores en el manejo de la IA para maximizar su potencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En Ecuador, la plataforma “Me capacito” (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023a), ofrece programas personalizados para docentes, un esfuerzo que se alinea con los hallazgos presentados en las tablas 6 y 8, que destacan la necesidad de capacitación efectiva y equipamiento adecuado para el uso de tecnologías avanzadas. Sin embargo, para garantizar su eficacia, es fundamental enfatizar enfoques prácticos, formación continua, y retroalimentación constante en los programas.

El acceso a internet y recursos tecnológicos en instituciones primarias y secundarias de Ecuador revela significativas disparidades regionales. Provincias como Pichincha y Santa Elena muestran altas tasas de acceso (79,92% y 82,53% respectivamente), mientras que Orellana y Pastaza enfrentan serias limitaciones (19,79% y 18,64%), como lo evidencia la tabla 7. Estas diferencias indican una brecha digital que impacta la calidad educativa y la preparación de docentes y estudiantes en entornos digitales. La tabla 5 también refleja que, aunque se ha avanzado en conectividad, el 49,6% de las instituciones aún carece de acceso, lo que subraya la urgencia de políticas gubernamentales para mejorar la infraestructura tecnológica. Alianzas con empresas como Starlink (SpaceX, n.d.) podrían ser clave para brindar conectividad a las regiones más apartadas.

En el contexto de esta investigación, basada en los datos del Ministerio de Educación de Ecuador, se identifica una limitación importante en la información disponible. Aunque las tablas 1 y 2 muestran tendencias claras en la disminución de instituciones educativas y una equidad de género sostenida en la matrícula estudiantil, faltan detalles críticos sobre la capacidad del ancho de banda, calidad de los equipos informáticos y preparación docente. Esta carencia limita la planificación adecuada para implementar programas de IA en los currículos educativos. Además, la tabla 3 evidencia una disminución progresiva en la matrícula total, resaltando la necesidad de estrategias para abordar barreras estructurales y demográficas que afecten el acceso y la permanencia en el sistema educativo.

El gobierno del Ecuador, a través del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, ha generado el documento “Diagnóstico sobre la Inteligencia Artificial en Ecuador” (2021), que ofrece un análisis detallado del estado actual de la IA en el país (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2021). Este esfuerzo coincide con las recomendaciones de Vanegas et



al. (2024) (Jay Vanegas et al., 2024), quienes proponen que los gobiernos desarrollen estrategias nacionales de IA en educación para orientar políticas y recursos de manera efectiva. La tabla 4, que refleja la creciente dependencia del sistema educativo ecuatoriano en las instituciones fiscales, subraya la necesidad de estas políticas para fortalecer la equidad educativa y fomentar el desarrollo de todas las modalidades institucionales.

Finalmente, la cooperación internacional desempeña un papel crucial en el desarrollo educativo, especialmente a través de proyectos financiados por entidades internacionales. Akour y Alenezi (2022) (Akour & Alenezi, 2022), destacan que estas colaboraciones son esenciales para complementar los esfuerzos gubernamentales en mejorar infraestructura tecnológica y capacitar al profesorado. Este tipo de cooperación es particularmente relevante para Ecuador, dado su rezago en el desarrollo de IA frente a países del Cono Sur como Argentina, Brasil y Chile (Barragán-Martínez, 2023).

Para resolver los problemas identificados, se propone un enfoque integral que incluya mejorar la infraestructura tecnológica, priorizando las regiones con menor acceso, como lo reflejan las tablas 5 y 7, mediante tecnologías como internet satelital. Además, se recomienda implementar programas obligatorios de capacitación docente, como lo resaltan las tablas 6 y 8, enfatizando enfoques prácticos adaptados a las necesidades regionales. Es fundamental establecer sistemas de monitoreo que recopilen datos precisos sobre equipamiento y conectividad, en línea con los desafíos evidenciados en las tablas 1 y 4, y fomentar alianzas público-privadas para garantizar financiamiento sostenible. Finalmente, se debe desarrollar una estrategia nacional de IA en educación, basada en los hallazgos de esta investigación, que garantice equidad, calidad y sostenibilidad a largo plazo, beneficiando a todos los estudiantes independientemente de su contexto geográfico o socioeconómico.

4. Conclusiones

La integración de herramientas de inteligencia artificial (IA) en los procesos pedagógicos es una estrategia viable y transformadora que puede revolucionar el modelo educativo tradicional en Ecuador. Con una matrícula total que alcanzó su punto más alto en 2014-2015 con 4.728.582 estudiantes y que disminuyó a 4.322.138 en 2022-2023, la adopción de tecnologías avanzadas como la IA puede ser clave para revitalizar el sistema educativo, mejorando la calidad y preparando a los estudiantes para un mercado laboral cada vez más competitivo.

La capacitación docente se presenta como un factor fundamental. Solo el 41,01% de las instituciones fiscales, que concentran más

del 75% de la matrícula estudiantil, tienen acceso a internet. Esto subraya la necesidad de implementar programas de formación continua que combinen teoría y práctica, permitiendo a los docentes adquirir experiencia directa en el uso de herramientas tecnológicas. Es vital que estos programas sean regionalmente adaptados para garantizar una implementación efectiva en todas las modalidades educativas.

La brecha digital es uno de los mayores desafíos del sistema educativo. En 2022-2023, solo el 49,6% de las instituciones educativas en Ecuador contaban con acceso a internet, y provincias como Orellana (19,79%) y Pastaza (18,64%) enfrentan conectividad extremadamente limitada. Un plan nacional de conectividad, que aproveche tecnologías como el internet satelital, es indispensable para garantizar que todas las instituciones educativas cuenten con los recursos necesarios para integrar la IA en sus procesos pedagógicos.

La falta de información específica sobre aspectos clave, como la capacidad del ancho de banda y la calidad de los equipos tecnológicos, representa una limitación significativa. Con un 84,15% de las instituciones en Tungurahua conectadas frente al 18,64% en Pastaza, es evidente que las disparidades regionales no solo afectan el acceso a tecnologías, sino también la preparación para integrar IA. Se recomienda realizar un levantamiento de información que permita planificar intervenciones basadas en necesidades específicas.

El equilibrio de género sostenido en las matrículas académicas, con un promedio de 49,5% de mujeres y 50,5% de varones entre 2009 y 2023, es un logro importante del sistema educativo ecuatoriano. Sin embargo, es crucial que las estrategias de implementación de IA continúen promoviendo esta equidad, asegurando que los avances tecnológicos estén al alcance de todos los estudiantes, sin importar su género o contexto socioeconómico.

El “Diagnóstico sobre la Inteligencia Artificial en Ecuador” elaborado en 2021 proporciona un marco relevante para el diseño de políticas públicas orientadas a la integración de IA en el sistema educativo. Estas políticas deben enfocarse en fortalecer las instituciones fiscales, que han incrementado su participación porcentual en el sistema educativo del 71,57% al 77,15% entre 2009 y 2023, mientras enfrentan limitaciones significativas en equipamiento y conectividad.

La cooperación internacional es esencial para complementar los esfuerzos nacionales en la modernización del sistema educativo. Países del Cono Sur, como Argentina y Brasil, han implementado estrategias robustas de desarrollo en IA. Ecuador debe capitalizar proyectos internacionales para cerrar la brecha tecnológica y asegurar que las instituciones educativas cuenten con los recursos necesarios para implementar estas tecnologías.

Finalmente, es imperativo que el gobierno ecuatoriano formule políticas integrales que impulsen la inversión en IA, tanto en educación como en sectores estratégicos. Estas políticas deben responder a la creciente dependencia del sector fiscal y a las disparidades identificadas en conectividad, asegurando que el sistema educativo ecuatoriano evolucione hacia un modelo más equitativo, inclusivo y alineado con los estándares internacionales.

Contribución de los autores

Roberto Wellington Acuña Caicedo: Conceptualización, Metodología, Software. **Nombres Apellidos:** Redacción – borrador original del artículo. **Christian Ruperto Caicedo Plúa:** Conceptualización, Investigación. **Antonietta del Carmen Rodríguez González:** Redacción – revisión y edición del artículo. **Lenin Jonatan Pin García:** Redacción – revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Acuña Caicedo, R. W., Gómez Soriano, J. M., & Melgar Sasieta, H. A. (2022). Bootstrapping semi-supervised annotation method for potential suicidal messages. In *Internet Interventions* (Vol. 28, p. 100519). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.invent.2022.100519>
- AIFINDY. (2023, December 15). AIFINDY | Mayor Directorio IA. Directorio IA. <https://aifindy.com/>
- Akour, M., & Alenezi, M. (2022). Higher Education Future in the Era of Digital Transformation. *Education Sciences*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/EDUCSCI12110784>
- Audrey Azoulay: *Aprovechando al máximo la inteligencia artificial* | *El Correo de la UNESCO*. (n.d.). Retrieved December 22, 2023, from <https://courier.unesco.org/en/articles/audrey-azoulay-making-most-artificial-intelligence>
- Azzaakiyyah, H. K. (2023). The Impact of Social Media Use on Social Interaction in Contemporary Society. *Technology and Society Perspectives (TACIT)*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.61100/TACIT.V1I1.33>
- BAÍDOO-ANU, D., & ANSAH, L. O. (2023). Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of ChatGPT in Promoting Teaching and Learning. *Journal of AI*, 7(1), 52–62. <https://doi.org/10.61969/JAI.1337500>
- Barragán-Martínez, X. (2023). Situación de la Inteligencia Artificial en el Ecuador en relación con los países líderes de la región del Cono Sur. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 23–38. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V16I2.4498>
- Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100118. <https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2022.100118>
- Coursera. (2021). *Coursera | Cursos Online de Universidades Top. Unete Gratis!* <https://es.coursera.org/>
- Dogan, M. E., Dogan, T. G., & Bozkurt, A. (2023). *The Use of Artificial Intelligence (AI) in Online Learning and Distance Education Processes: A Systematic Review of Empirical Studies*. <https://doi.org/10.3390/app13053056>
- Edx. (2021). edX | *Cursos online gratis de Harvard, MIT y más* | edX. <https://www.edx.org/es>
- Escobar, M., Majewski, H. M., Qazi, M., & Rawajfih, Y. (2022). Self-efficacy in STEM. *International Encyclopedia of Education: Fourth Edition*, 388–394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.13049-0>
- Flores-Vivar, J., Comunicar, F. G.-P.-, & 2023, undefined. (n.d.). Reflections on the ethics, potential, and challenges of artificial intelligence in the framework of quality education (SDG4). *Eprints.Rclis.Org*. <https://doi.org/10.3916/C74-2023-03>
- Fomento de un ecosistema digital para la IA (Principio de IA de la OCDE) - OECD.AI*. (n.d.). Retrieved December 22, 2023, from <https://oecd.ai/en/dashboards/ai-principles/P11>
- García-Carrión, R., & Allotey, E. (2022). International perspectives on community-engaged teacher education. *International Encyclopedia of Education: Fourth Edition*, 375–380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.04045-8>
- INEC. (2022). *Inicio - INEC. CENSO ECUADOR*. <https://www.censoecuador.gob.ec/>
- Jay Vanegas, W., Padilla Santamaria, M. G., & Rodelo Molina, M. K. (2024). Políticas públicas ante la revolución de la inteligencia artificial en Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG, ISSN-e 2477-9423, ISSN 1315-9984, Vol. 29, No. 106, 2024, Págs. 865-883, 29(106), 865–883*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9394102&info=resumen&idioma=ENG>
- LXA. (2023, December 15). La historia de OpenAI. *La Historia de OpenAI*. <https://www.lxahub.com/stories/the-history-of-openai>
- Miao, F., Holmes, W., Huang, R., & Zhang, H. (2021). *AI and education: A guidance for policymakers*. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=yyE7EAAAQBA->



- J&oi=fnd&pg=PA3&dq=W.+Holmes,+Z.+Hui,+F.+Miao,+H.+Ronghuai+AI+and+education:+A+guidance+for+policymakers+UNESCO+Publishing+(2021)&ots=cBg5E6rmRe&sig=ydLBh13QJb7Fl-GOzyjJSnsZ0hRY
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2023a). *Plataforma Mecapacito*. Plataforma Mecapacito. <https://eva-mecapacito.educacion.gob.ec/?redirect=0>
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2023b, December 10). *Datos Abiertos del Ministerio de Educación del Ecuador – Ministerio de Educación*. Datos Abiertos Del Ministerio de Educación Del Ecuador 2023. <https://educacion.gob.ec/datos-abiertos/>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2021). *DIAGNÓSTICO SOBRE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL ECUADOR*. <https://observatorioecuadordigital.mintel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/11/Proyecto-diagnostico-inteligencia-artificial-IA-en-Ecuador-Documento-final-JC-JO-MS-002.pdf>
- Miriadax*. (n.d.). Retrieved November 4, 2024, from <https://miriadax.net/>
- Montenegro-Rueda, M., Fernández-Cerero, J., Fernández-Batenero, J. M., & López-Meneses, E. (2023). Impact of the Implementation of ChatGPT in Education: A Systematic Review. *Computers 2023, Vol. 12*, Page 153, 12(8), 153. <https://doi.org/10.3390/COMPUTERS12080153>
- Nemorin, S., Vlachidis, A., Ayerakwa, H. M., & Andriotis, P. (2023a). AI hyped? A horizon scan of discourse on artificial intelligence in education (AIED) and development. *Learning, Media and Technology, 48*(1), 38–51. <https://doi.org/10.1080/17439884.2022.2095568>
- Nemorin, S., Vlachidis, A., Ayerakwa, H. M., & Andriotis, P. (2023b). AI hyped? A horizon scan of discourse on artificial intelligence in education (AIED) and development. *Learning, Media and Technology, 48*(1), 38–51. <https://doi.org/10.1080/17439884.2022.2095568>
- Nguyen, A., Ngo, H. N., Hong, Y., Dang, B., & Nguyen, B. P. T. (2023). Ethical principles for artificial intelligence in education. *Education and Information Technologies, 28*(4), 4221–4241. <https://doi.org/10.1007/S10639-022-11316-W/TABLES/1>
- Search Engine Journal. (2023, December 15). *Historia de ChatGPT: una cronología de chatbots de IA generativa*. Una Cronología de Chatbots de IA Generativa. <https://www.searchenginejournal.com/history-of-chatgpt-timeline/488370/#close>
- SpaceX. (n.d.). *Starlink*. Retrieved December 17, 2020, from <https://www.starlink.com/>
- Talbot, D. (2023). Knowledge, knowers, and power: understanding the ‘power’ of powerful knowledge. *Journal of Curriculum Studies, 55*(6), 633–645. <https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2256009>
- Udemy. (2021). *Cursos en línea - en cualquier momento y en cualquier lugar | Udemy*. <https://www.udemy.com/>
- Udvaros, J., & Forman, N. (2023). ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EDUCATION 4.0. *INTED2023 Proceedings, 1*, 6309–6317. <https://doi.org/10.21125/INTED.2023.1670>
- UNESCO. (2023). *Educación superior | UNESCO*. EDUCACION SUPERIOR. <https://www.unesco.org/es/education/higher-education>
- We Are Social. (2023a). *Digital 2023 - We Are Social Spain*. We Are Social. <https://wearesocial.com/es/blog/2023/01/digital-2023/>
- We Are Social. (2023b). *Digital 2023: Ecuador — DataReportal – Global Digital Insights*. Digital 2023: Ecuador. <https://datareportal.com/reports/digital-2023-ecuador>
- WiziShop. (2023, December 15). *Cronología de OpenAI: una perspectiva histórica de un pionero de la IA*. Una Perspectiva Histórica de Un Pionero de La IA. <https://wizi-shop.com/blog/openai-timeline>
- Worldometer. (2023, December 10). *Worldometer - Estadísticas mundiales en tiempo real*. Estadísticas Mundiales En Tiempo Real 2023. <https://www.worldometers.info/es/>



Especificación de Requisitos de Inteligencia Artificial en el Desarrollo de productos de Software

Artificial intelligence in primary and secondary education in Ecuador

Resumen

Autores

✉ * **Pablo Fernando Ordóñez Ordóñez**



✉ **Yamilka Valeria Erazo Aleaga**



Universidad Nacional de Loja, Facultad de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovable, Carrera de Computación, Ecuador, Loja.

En el desarrollo de tecnologías actuales que implican inteligencia artificial (IA), la especificación de requisitos adquiere una importancia crítica, pues garantiza que los sistemas cumplan con las expectativas funcionales, éticas y de rendimiento desde las etapas iniciales del proceso. Sin embargo, la ausencia de guías claras para la especificación de requisitos de la IA de un sistema, pueden llevar a una especificación deficiente, afectando la calidad y efectividad del software. Por lo tanto, este artículo propone un procedimiento formal para integrar los requisitos de IA en el proceso de desarrollo de software, utilizando el estándar IEEE 830 como base para la especificación. Esto se desarrolló en 2 fases haciendo uso de diferentes metodologías: la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) de Bárbara Kitchenham y GPEI, respectivamente. La primera fase consistió en la realización de una RSL mediante Parsifal para descubrir y analizar las prácticas actuales para la integración de requisitos de IA en el proceso de desarrollo de software, así como para la especificación de dichos requisitos. La segunda fase adaptó el estándar IEEE 830 para la especificación de requisitos de IA mediante la metodología GPEI de interacción con IA generativa. Los resultados mostraron que, en su mayoría, los proyectos de software que integran IA no cuentan con especificaciones adecuadas para los requisitos de IA, y, como respuesta, se diseñó una plantilla basada en el estándar IEEE 830 para guiar este proceso, que incluye dos tablas para la especificación de requisitos de IA, desarrolladas con IA generativa y análisis empírico.

Palabras clave: IEEE 830; requisitos de IA; IA generativa; ERS; GPEI, ChatGPT.

Abstract

In the development of current technologies involving artificial intelligence (AI), requirements specification becomes critically important to ensure that systems meet functional, ethical and performance expectations from the early stages of the process. However, the absence of clear guidelines for the AI requirements specification of a system can lead to poor specification, affecting the quality and effectiveness of the software. Therefore, this paper proposes a formal procedure for integrating AI requirements into the software development process, using the IEEE 830 standard as the basis for the specification. This was developed in 2 phases, making use of different methodologies: Barbara Kitchenham's Systematic Literature Review (SLR) and GPEI, respectively. The first phase consisted of conducting an SLR using Parsifal to discover and analyse current practices for the integration of AI requirements into the software development process, as well as for the specification of these requirements. The second phase adapted the IEEE 830 standard for AI requirements specification using the GPEI methodology for generative AI interaction. The results showed that, for the most part, software projects integrating AI do not have adequate AI requirements specifications, and in response, a template based on the IEEE 830 standard was designed to guide this process, which includes two tables for AI requirements specification, developed with generative AI and empirical analysis.

Keywords: IEEE 830; AI Requirements; generative AI; SRS; GPEI.

Comó citar el artículo:

Ordóñez Ordóñez, P. F. & Erazo Aleaga, Y. V. (2024). Especificación de Requisitos de Inteligencia Artificial en el Desarrollo de productos de Software. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(2), pp. 134–146. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.7147>

Enviado: 30/11/2024

Aceptado: 19/12/2024

Publicado: 23/12/2024



1. Introducción

A partir de los últimos años, el campo de la inteligencia artificial (IA) ha experimentado un avance significativo, transformando el desarrollo de software en un área con mejoras en la automatización y análisis de procesos mediante sistemas. El uso de la IA para este tipo de sistemas, entre otras innovaciones, ha beneficiado a diversos sectores, pero también, ha introducido complejidades adicionales, especialmente en la fase de ingeniería de requisitos (Acevedo-Castiblanco et al., 2023). La investigación en la ingeniería de requisitos ha avanzado significativamente, abordando la especificación de estos desde múltiples perspectivas, y, sabiendo que esta es una etapa crucial en cualquier proyecto de desarrollo, pues define lo que el sistema debe cumplir para ser aceptado como producto final, cualquier ambigüedad o falta de información en la especificación de requisitos puede comprometer el desarrollo completo del proyecto (de las Puebas Encinas & Sánchez Escribano, 2019). Estudios previos han explorado y desarrollado soluciones de software logrando resultados relevantes para la ingeniería de requisitos, pero limitados a la formalización específica de requerimientos de IA en sus productos. Por ejemplo, Abad et al. (2017) propusieron un enfoque basado en la clasificación automática de requisitos mediante técnicas de aprendizaje supervisado, mientras que Ramírez Leal et al. (2015) se centraron en el desarrollo de una metodología que aplica técnicas de inteligencia artificial para optimizar la comunicación entre los stakeholders y los ingenieros de requisitos, para la mejora del proceso de captura de requisitos.

A pesar de estos avances, persisten limitaciones importantes. Cuando los proyectos de software incorporan IA, los requisitos relacionados con esta tecnología suelen no estar claramente especificados o, en muchos casos, se omiten por completo. La ausencia de guías específicas para la documentación de estos requisitos que especifican las necesidades a cumplir a la hora de desarrollar esta parte del software, ha derivado en dificultades en el proceso de desarrollo, llevando consigo a problemas de calidad y eficiencias en los sistemas de IA implementados (Guevara & Ponjuán, 2022).

De esto se determina que la creciente demanda de soluciones basadas en IA ha hecho urgente la necesidad de integrar adecuadamente los requisitos de esta tecnología en los proyectos de software, lo que se refiere a una especificación precisa y clara de estos requisitos, ya que es esencial para garantizar el éxito de desarrollo del software que utilice IA, mejorando tanto la precisión como la adaptabilidad de los sistemas resultantes (Llerena Ocaña et al., 2023). Es por esto que, para abordar este problema, este estudio propone un procedimiento formal para la integración de los requisitos de inteligencia artificial en el proceso de desarrollo de software,

con un enfoque particular en la especificación, donde, la pregunta de investigación que guía este trabajo es: ¿Cómo se puede establecer un procedimiento formal para integrar los requisitos de IA en el desarrollo de software, asegurando una adecuada ingeniería de requisitos?

Para lograrlo, no bastó con la aplicación de teorías generales sobre la ingeniería de requisitos, pues fue necesario un enfoque original y adaptado a la naturaleza específica de los proyectos de IA. Mediante una revisión sistemática de la literatura, los hallazgos encontrados en 32 estudios, de un total de 163 revisados, constatan la importancia de usar formalmente una especificación de requisitos de IA en los productos de software, ya que solo el 46,86% de estos estudios seleccionados han abordado parte del proceso de ingeniería de requisitos dentro de proyectos de desarrollo con IA o que utilizan la inteligencia artificial para agilizarlo. Tal es el caso de trabajos enfocados en la adaptación de metodologías ágiles o modelos de trabajo, en las que se pueden incluir SCRUM o MLOps (Machine Learning Operations), para la inclusión de revisiones y ajustes iterativos en cada etapa del desarrollo, asegurando que los requisitos evolucionen en respuesta a cambios en el entorno operativo o en las necesidades del usuario, asegurando que el sistema de IA se mantenga relevante y efectivo a lo largo de su ciclo de vida (Pei et al., 2022; Subramanya et al., 2022).

Según lo obtenido, Tiwari & Malik (2024), entre otros autores, mencionan que las aplicaciones que integran inteligencia artificial más usadas dentro del desarrollo de software son aquellas que integran esta tecnología para mejorar la eficiencia y la calidad en los procesos de diferentes ámbitos. Estas aplicaciones incluyen sistemas de gestión de proyectos, análisis predictivo, ciberseguridad, herramientas de análisis de requisitos, sistemas de atención al cliente, aplicaciones de análisis de datos que permiten la toma de decisiones informadas en tiempo real, herramientas para la mejora de la comunicación, como chatbots (Rodríguez Vargas et al., 2024), junto con muchas otras.

De la mano de esta información recolectada, algunos autores, como Pei et al. (2022), han mostrado como cada vez son más los campos de conocimiento en los que la inteligencia artificial se ve involucrada y tiene una demanda por su necesidad, incluyendo la salud, educación y sector legal como los más destacados, pero también mencionando la ciberseguridad, finanzas, transporte, manufactura, mecánica, agricultura y demás.

Estos mismos autores han abordado el tema de la especificación de requisitos en proyectos que incorporan inteligencia artificial, a pesar de que las tendencias a la especificación formal de estos requisitos son muy escasas

según lo hallado. Ellos, junto con una variedad de autores, han expuesto cómo existe una incertidumbre inherente a los modelos de aprendizaje automático, la necesidad de iteración continua en la definición de requisitos y la importancia de la colaboración entre diferentes stakeholders. Se han analizado también técnicas y metodologías que pueden ser utilizadas para mejorar la captura y gestión de requisitos, destacando la necesidad de un enfoque flexible que se adapte a la naturaleza dinámica de los proyectos de IA. La escasez de procedimientos o guías se vio claramente en la investigación, pues, ninguno de los autores ha establecido una práctica clara, y, aunque entre ellos, como Necula et al. (2024), han revisado técnicas de inteligencia artificial para aplicarlas en la ingeniería de requisitos, los estudios encontrados han basado su atención en usar la IA para la mejora del proceso de recolección y análisis de requisitos de software, más no se han enfocado en los requisitos de la IA como tal.

Es por todo esto que, este trabajo presenta una contribución novedosa al abordar una guía práctica basada en el estándar IEEE 830, que incluye tablas para la especificación de requisitos funcionales y no funcionales que contemple los aspectos únicos de la IA desde las primeras etapas del desarrollo. A diferencia de investigaciones previas relacionadas con la integración de IA en el proceso de desarrollo de software, como la propuesta conceptual de Sarco Calapiña & Toaquiza Pacheco (2022) que presentó un enfoque que explora cómo las metodologías tradicionales y ágiles pueden adaptarse para incorporar algoritmos de IA, dando una visión interesante de cómo se puede adaptar el ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC) para proyectos que utilizan IA, o la taxonomía propuesta por Steidl et al. (2023) para describir el desarrollo continuo de IA en cuatro etapas, este estudio introduce una formalización práctica de la especificación de requisitos como una solución innovadora que no solo llena un vacío en la literatura, sino que también ofrece una herramienta práctica para los equipos de desarrollo que buscan integrar IA de manera eficiente y estandarizada en sus proyectos.

Bajo este contexto, este artículo se estructura de la siguiente manera para comprender cómo se desarrolló el trabajo presentado: la Sección 2 muestra los materiales y metodologías utilizadas; la Sección 3 muestra los resultados obtenidos y su discusión; finalmente, la Sección 4 muestra las conclusiones a las que se llegaron.

2. Materiales y Métodos

Se contextualiza el estado en el que se encuentra la especificación de requisitos de inteligencia artificial en los proyectos que desarrollan software, además del proceso de creación de una guía de especificación de requisitos basada en el estándar IEEE 830 diseñada para integrar los requisitos de IA. Para la investigación, se realizó una revisión sistemática de la literatura (RSL) siguiendo la metodología de Barbara Kitchenham y Charters. Para el establecimiento de la guía, se utilizó la metodología GPEI, propuesta por Juan David Velásquez, Carlos Franco y Lorena Cadavid en su estudio en 2023, haciendo uso de la

versión libre de ChatGPT 4.0.

Revisión Sistemática de la Literatura

Los pasos para la realización de la revisión Sistemática de la literatura establecida por Kitchenham y Charters, especifica el desarrollo de 3 etapas, de las cuales se detallarán las dos primeras: planificación de la revisión y realización de la revisión (Kitchenham & Charters, 2007).

A. Primera Etapa: Planificación de la Revisión

Dentro de la planificación, se establecieron parámetros sobre los cuales se guiaría la investigación para la recolección de la información, es decir, para obtener estudios relevantes que aporten a la investigación y así poder determinar qué avances y qué métodos están actualmente vigentes para la especificación de requisitos de IA dentro de proyectos de desarrollo de software.

Lo primero que se determinó fue el protocolo de revisión, lo que incluyó el establecimiento de objetivos, marco PICOC, palabras clave y sinónimos, y preguntas de investigación. Por su relevancia, a continuación, se indican las preguntas de investigación planteadas:

- **Pregunta 1:** ¿Qué tipos de aplicaciones en el campo del desarrollo de software están utilizando inteligencia artificial?
- **Pregunta 2:** ¿En qué campos del conocimiento se está utilizando software con inteligencia artificial?
- **Pregunta 3:** ¿Cómo se están especificando los requisitos del software en proyectos que incorporan inteligencia artificial?

Con el protocolo ya establecido, se diseñaron las cadenas de búsqueda, que en este caso fueron 4, y se diseñaron mediante el uso de las palabras clave y sinónimos de las mismas:

- (“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning”) AND (“software requirements” OR “requirements engineering” OR “software development process” OR “software development life cycle”) AND (“formal procedure” OR “formal process” OR “formal method” OR “integration” OR “incorporation”) AND (planning OR reviewing OR conducting OR reporting)
- (“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning”) AND (“software requirements” OR “requirements engineering”) AND (“software development process” OR “software development life cycle”) AND (“formal procedure” OR “formal process” OR “formal method” OR “framework” OR “approach”) AND (“integration” OR “incorporation” OR “effective integration”)
- (“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning” OR “intelligent systems”) AND (“software requirements” OR “requirements engineering” OR “requirements specification” OR “requirements elicitation” OR “requirements analysis”) AND (“software development process” OR “software development life cycle” OR sdhc OR “software engineering”) AND (“formal procedure” OR “formal process” OR “formal method” OR framework OR approach OR “formal integration” OR “effective integration” OR incorporation) AND (planning



OR reviewing OR conducting OR reporting OR “systematic review” OR “literature review”)

- (“Artificial Intelligence” AND “software development” AND “machine Learning” OR “computer visión” OR “Natural language processing”) AND “EcuCiencia”)

Lo siguiente fue definir las fuentes en las que se introducirían las cadenas planteadas para la búsqueda de estudios, determinando así: Scopus, Web of Science y Google Scholar. Como último paso de la planificación, se establecieron criterios de inclusión y exclusión, que se observan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión
 Fuente: Los autores

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Publicaciones en inglés y español	Publicaciones duplicadas
Estudios que aborden metodologías para la especificación, elicitación, análisis y validación de requisitos de software	Estudios que no se enfoquen en la integración de inteligencia artificial en el desarrollo de software
Estudios que traten sobre la integración de requisitos de inteligencia artificial en proyectos de desarrollo de software	Estudios que no proporcionen resultados empíricos o teóricos relevantes
Trabajos publicados desde 2019 hasta la fecha presente	Estudios no disponibles

B. Segunda Etapa: Realización de la Revisión

Para realizar la revisión, se identificó la investigación, refiriéndose esto a la búsqueda e importación de los estudios en las fuentes seleccionadas mediante las cadenas diseñadas. Seguidamente, se seleccionaron los estudios relevantes según los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

Una vez seleccionados los estudios relevantes para la investigación, se hizo una evaluación de calidad de los mismos, esto significó puntuar cada estudio entre 0 y 4. Para asignar el puntaje, cada estudio se sometió a 4 preguntas de calidad que se contestaron según la información proporcionada en él. Las preguntas fueron:

- ¿El estudio menciona uno o más softwares/herramientas/modelos asistidos por Inteligencia Artificial?
- ¿El estudio aborda el uso de software con Inteligencia Artificial en algún campo o área de conocimiento específica?
- ¿El estudio menciona o discute el uso de alguna norma o estándar para el establecimiento de requisitos en proyectos de

software que incorporan Inteligencia Artificial?

- ¿El estudio seleccionado aporta información relevante para la integración efectiva de requisitos de inteligencia artificial en el proceso de desarrollo de software?

• Para contestar a cada pregunta, se establecieron 3 respuestas: Sí, No y Parcialmente. A cada respuesta se le asignó un peso o puntaje: si el estudio contestaba con “Sí” a una pregunta, se le daba un puntaje de 1; si el estudio contestaba con “No” a una pregunta, no se le daba un puntaje de 0; finalmente, si el estudio contestaba con “Parcialmente” a una pregunta, se le daba un puntaje de 0,5. Luego de contestar a cada pregunta, las respuestas sumaban sus puntajes para obtener el puntaje final del estudio y saber qué tan relevante era para la investigación.

Lo siguiente fue extraer los datos más relevantes de cada estudio, por lo que se extrajeron los datos de: Autor(es), Año, Tipo de aplicación/herramienta/modelo del que trataba, tecnología de desarrollo, Campo o área de conocimiento, Estándar o norma de requisitos, Metodología, Tipo de documento, Trabajo desarrollado, el uso o no de formalidad de requerimientos, y si era o no novel.

Metodología GPEI

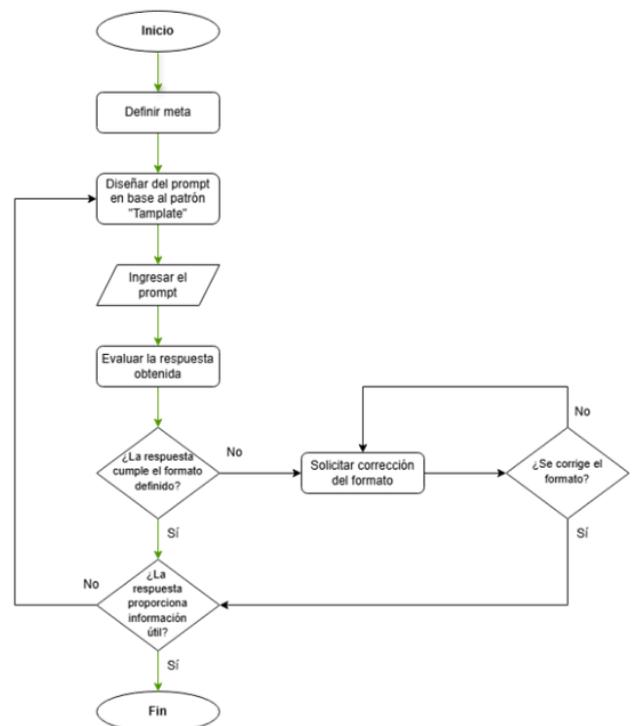


Figura 1. Proceso seguido para la creación de la tabla de especificación de requisitos en base a la metodología GPEI
 Fuente: Los autores

La metodología GPEI debe su nombre a las siglas Goal-Prompt-Evaluate-Iterate (Velásquez Henao et al., 2023), por cada una de las etapas en la que consiste. En esta investigación, se aplicaron únicamente las tres primeras etapas, pues la cuarta, siendo opcional, no se vio necesaria. En la Figura 1 se puede observar un diagrama de procesos que representa el proceso que se estableció seguir en base a esta metodología, donde, las flechas marcadas en color verde, reflejan la secuencia seguida durante el desarrollo.

A continuación, se explica el proceso realizado en cada una de las etapas.

A. Definición de la meta

En la primera etapa se definió la meta de cumplir con el siguiente objetivo: “Crear el diseño de una tabla de especificación de requisitos para proyectos de software que incorporen inteligencia artificial, utilizando como base la tabla de especificación de requisitos del estándar IEEE 830”.

El objetivo fue el obtener un diseño de una única tabla, pues, aunque se esperó tener dos tablas diferentes, una para requisitos funcionales y otra para no funcionales, si la respuesta obtenida era aceptable, mediante análisis se añadirían las distinciones de cada tabla.

B. Diseño del Prompt

Se usó de uno de los patrones de diseño de prompts establecidos por Velásquez Henao et al.. El patrón seleccionado fue “Template”, dentro de la categoría “Output Customization”. La selección del patrón se hizo debido a que, este permitía al usuario definir el formato en el que deseaba la respuesta de la IA generativa. Por ende, el prompt diseñado fue el mostrado en la Figura 2:

Número de requisito	[Inserte aquí el texto] (Se refiere al ID del requisito, por ejemplo: RF01)
Nombre de requisito	[Inserte aquí el texto]
Tipo	<input type="checkbox"/> Requisito <input type="checkbox"/> Restricción
Características	[Inserte aquí el texto] (Explicación básica del requisito, incluyendo de manera general lo que se espera de este requisito)
Descripción del requisito	[Inserte aquí el texto] (Explicación detallada y completa del requisito, incluyendo su funcionalidad y comportamiento esperado)
Fuente del requisito	[Inserte aquí el texto] (Especifica de dónde proviene el requisito, como usuarios, regulaciones o estándares industriales)
Requerimiento No Funcional	[Inserte aquí el texto] (Se refiere a los requerimientos no funcionales con los que se relaciona el requisito)
Prioridad del requisito	<input type="checkbox"/> Alta/Eencial <input type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional

En base a esta tabla del estándar IEEE 830, dime cómo podría modificarla para crear una plantilla que me sirva para especificar también requisitos de inteligencia artificial, tomando en cuenta que lo que quiero es integrar los requisitos de IA en el proceso de desarrollo de software. Debes mostrarme la tabla modificada en un formato igual que al de la imagen, es decir, en una tabla donde, a la derecha se muestren los parámetros de la tabla (los actuales y los añadidos), y a la izquierda se muestre el tipo de información que el usuario debe añadir para cada parámetro.

Figura 2. Prompt diseñado para la consulta en ChatGPT.

Fuente: Los autores

Este prompt permitió especificarle a la IA generativa, en este caso ChatGPT 4.0 versión libre, que como respuesta se requería una tabla de especificación de requisitos, basada en la tabla original del IEEE 830, que permitiera integrar parámetros cruciales relacionados con los requisitos de inteligencia artificial. Del mismo modo, se le pidió que estos parámetros se mostraran incluidos dentro de una tabla como la mostrada en la imagen.

C. Evaluación de la Respuesta

La respuesta obtenida por la IA se la puede observar en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Respuesta de ChatGPT al prompt diseñado
Fuente: Los autores

Número de requisito	(Se refiere al ID del requisito, por ejemplo: RF01)
Nombre de requisito	
Tipo	<input type="checkbox"/> Requisito <input type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/> Requisito de IA <input type="checkbox"/> Restricción de IA
Características	(Explicación básica del requisito de IA, incluyendo de manera general lo que se espera de este requisito)
Descripción del requisito	(Explicación detallada y completa del requisito de IA, incluyendo su funcionalidad, comportamiento esperado y métricas de rendimiento)
Fuente del requisito	(Especifica de dónde proviene el requisito de IA, como usuarios, regulaciones, estándares industriales o investigaciones académicas)
Requerimiento No Funcional	(Se refiere a los requisitos no funcionales con los que se relaciona el requisito de IA, como tiempos de respuesta, capacidad de procesamiento, interpretabilidad, etc.)
Prioridad del requisito	<input type="checkbox"/> Alta/Eencial <input type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional
Fuente de Datos	(Descripción de las fuentes de datos que se utilizarán para entrenar el modelo de IA, incluyendo calidad, cantidad, y representatividad de los datos)
Preprocesamiento de Datos	(Detalles sobre los procedimientos de preprocesamiento necesarios para los datos)
Métodos de Validación	(Descripción de los métodos de validación que se utilizarán para evaluar el modelo de IA)
Criterios de Éxito	(Especificación de los criterios de éxito y las métricas que deben cumplirse para considerar que el modelo de IA es adecuado para su uso)
Análisis de Sesgos	(Descripción de los posibles sesgos en los datos y en el modelo, y cómo se abordarán)

Esta respuesta se consideró aceptable en forma, ya que se apejó al formato especificado en el mensaje. Por otro lado, la respuesta fue tan completa como se esperaba, ya que incluyó los parámetros para los requisitos de inteligencia artificial en la tabla original, que sirvió como base para el diseño de las tablas de especificaciones que se desarrollarían más adelante. Como resultado, también fue tan precisa como se esperaba. En cuanto a la relevancia de la respuesta, se determinó que todos los parámetros enumerados eran relevantes y aplicables para especificar los requisitos de inteligencia artificial en los proyectos de software, ya que reflejan



la información que los proyectos deben documentar sobre la inteligencia artificial que se desarrollará. Por último, se observó que la respuesta no contenía elementos actualmente inexactos ni contextualmente inadecuados porque toda la información proporcionada se consideró precisa y dentro del contexto en el que se formuló la pregunta.

Como resultado, se obtuvo una base adecuada para diseñar las tablas de especificación de requisitos. Sin inconvenientes, este procedimiento se llevó a cabo solo una vez y no fue necesario repetirlo, y es por eso, que la 4ta fase de la metodología GPEI no se tomó en cuenta, pues no se necesitó de otra respuesta, y, por ende, no se necesitó repetir el proceso.

3. Resultados y Discusión

Se obtuvieron resultados tanto de la RSL como de la respuesta obtenida por ChatGPT a través del uso de la metodología GPEI. Por eso, a continuación, se muestran el análisis y síntesis de datos obtenidas de la RSL, así como la respuesta a las preguntas de investigación planteadas; luego, se expondrán las tablas de especificación de requisitos creadas, y, finalmente, se mostrarán el sitio web desarrollado con una plantilla dinámica.

Síntesis y análisis de datos de la RSL

Para el cálculo automático de los resultados estadísticos de los datos se utilizó Parsifal. El porcentaje de artículos encontrados por cada fuente fue el primer estadístico. El diagrama de sectores para estos porcentajes se muestra en la sección “a” de la Figura 3. Es posible observar que el 59,5% de los 163 artículos encontrados a través de las búsquedas fueron extraídos de Web of Science,

cuya fuente arrojó la mayor cantidad de resultados, mientras que el 39,3% fueron extraídos de Scopus, que se representa en rojo y tuvo el segundo mayor número de resultados. Debido a que solo se encontraron dos estudios, Google Scholar, representado en naranja, solo obtuvo el 1,2% de los resultados.

La siguiente estadística que se ofreció fue la cantidad de artículos que fueron encontrados y aceptados por cada fuente. En la sección “b” de la Figura 3 se observa el diagrama de barras, donde se muestran las cantidades de las tres fuentes. La cantidad de estudios recopilados de cada fuente se muestra en azul, mientras que la cantidad de estudios aceptados de esa fuente se muestra en rojo. Se extrajeron un total de 97 estudios de la Web of Science, pero solo se aceptaron 16. Se obtuvieron un total de 64 estudios de Scopus, de los cuales se aceptaron 14. Además, se extrajeron dos estudios de Google Scholar, ambos aceptados. En la sección de Referencias Bibliográficas, se pueden encontrar los 32 estudios aceptados y analizados.

La última estadística ofrecida fue la cantidad de artículos aceptados cada año. Esto se refiere a la cantidad de estudios publicados en cada uno de los seis años del intervalo de búsqueda (2019-2024). El diagrama de líneas generado para este análisis estadístico se muestra en la sección “c” de la Figura 3. Se puede observar que en 2019 se publicaron doce artículos, la cantidad aumentó a 20 en 2020 y luego a 28 en 2021, la cantidad disminuyó a 20 en 2022, coincidiendo con la cantidad reportada en 2020. El número de estudios aumentó a 28 en 2023, que fue el mismo que en 2021, y luego disminuyó a 20 en 2024, por lo que se puede demostrar que los resultados más altos encontrados se encontraron en las publicaciones publicadas en 2021 y 2023.

Preguntas de investigación RSL:

A. Pregunta 1: ¿Qué tipos de aplicaciones en el campo del desarrollo de software están utilizando inteligencia artificial?

Según la información obtenida de los estudios seleccionados, el uso de la inteligencia artificial en el desarrollo de software ha aumentado significativamente y ha dado lugar a un amplio abanico de aplicaciones. La aplicación de la inteligencia artificial en las diversas fases del desarrollo de software ha potenciado tanto la eficiencia como la calidad del producto final, enriqueciendo los modelos de requerimientos y mejorando la precisión de las estimaciones en proyectos de software (Devine et al., 2023; Laato et al., 2024). Por un lado, destaca el uso de herramientas de gestión asistidas por IA en el sector empresarial, que requieren sistemas que permitan a las empresas optimizar sus operaciones y apoyarlas en la toma de decisiones basadas en datos (Sarco Calpiña & Toaquiza Pacheco, 2022). Estas herramientas hacen uso de software de análisis predictivo, como

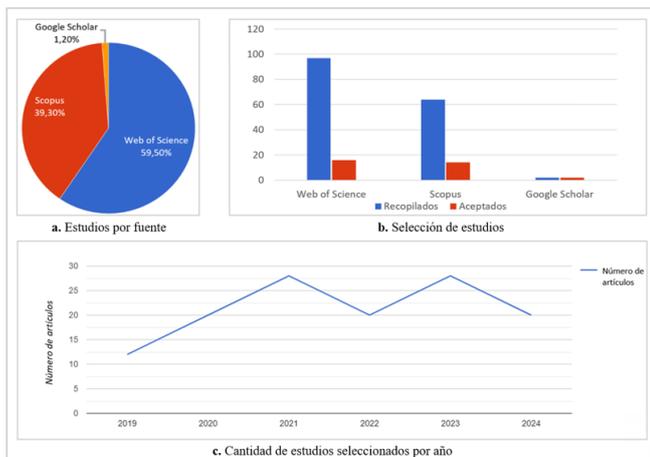


Figura 3. Bibliometría obtenida del análisis de datos.

Fuente: Los autores

es el caso de los sistemas de comercio electrónico que utilizan la inteligencia artificial para estimar precios y realizar predicciones más precisas (Barletta et al., 2023).

El software de análisis forense digital y el de monitorización de redes son dos tipos de aplicaciones en donde se está potenciando esta integración (Tiwarei & Malik, 2024). En el ámbito de la ciberseguridad, este tipo de aplicaciones son utilizadas y necesarias para la detección de comportamientos anómalos en redes y sistemas, que supongan riesgos de seguridad (Subramanya et al., 2022). Adicionalmente, dentro del ámbito de la tecnología, se están desarrollando herramientas para el software de gestión, pero en esta ocasión se trata de dispositivos que utilizan IA con el fin de aumentar su eficiencia y automatización (Ranawana & Karunananda, 2021).

También se ha producido un cambio en las herramientas utilizadas en el proceso de desarrollo de software, como lo demuestra la proliferación de aplicaciones dedicadas al análisis de requisitos, modelado conceptual y extracción automatizada de requisitos (Abualhaija et al., 2020). Estas herramientas, que integran inteligencia artificial en sus operaciones, emplean técnicas como el procesamiento del lenguaje natural y el aprendizaje profundo para aumentar su eficiencia y precisión en estos procesos, en particular en la especificación de requisitos (Necula et al., 2024). En consonancia con esto, también se ha observado que se están desarrollando modelos de IA que categorizan el feedback de los usuarios para que el equipo de desarrollo pueda comprender mejor sus necesidades y expectativas como usuarios finales (Pei et al., 2022).

Sin embargo, fue posible destacar de la investigación que, a pesar de la existencia de diversos tipos de aplicaciones que representan avances significativos, la integración de la inteligencia artificial en el desarrollo de software aún enfrenta desafíos en términos de interpretabilidad, ética y confiabilidad (Villamizar et al., 2021).

B. Pregunta 2: ¿En qué campos del conocimiento se está utilizando software con inteligencia artificial?

Relacionado con la respuesta a la primera pregunta de investigación, el uso de software de inteligencia artificial se está dando en numerosos campos o áreas de conocimiento, donde se pueden encontrar las aplicaciones mencionadas anteriormente. Esta integración se ha extendido a una gran variedad de campos, demostrando su versatilidad y potencial de cambio en los sectores beneficiados. A continuación, se enumeran los campos que se encuentran con mayor frecuencia en las LSR que se realizan:

- El campo de la salud es digno de destacar. En este sentido, la IA se está utilizando para desarrollar herramientas de diagnóstico asistidas por computadora, como las que apoyan la detección temprana de la retinopatía diabética (Barletta et al., 2023; Pei et al., 2022). En este campo, este tipo de avances no solo mejoran la precisión del diagnóstico de los pacientes, sino que también tienen el potencial de aumentar el acceso a los servicios de salud en sectores con pocos recursos (Guizzardi et al., 2023).

- Como ya se ha comentado, el ámbito de la ciberseguridad se está incluyendo en estas implementaciones de software con IA. Existen sistemas diseñados para reforzar la defensa de otros sistemas ante ciberamenazas cada vez más sofisticadas (Tiwarei & Malik, 2024), por ello, en este campo se utilizan software que detecta intrusiones, analiza la presencia de malware y predice vulnerabilidades del sistema, ya que utiliza la capacidad de la inteligencia artificial para procesar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real para realizar detecciones (Devine et al., 2023).

- También se está utilizando en el sector energético, concretamente en el mercado electrónico, para ayudar a la predicción de precios y la optimización de la distribución de energía (Devine et al., 2023). De esta forma, mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático, se analizan los patrones históricos de consumo y producción, así como los factores externos relacionados con la demanda del mercado y el clima, lo que conduce a una gestión más eficaz de los recursos energéticos y a una mejor planificación a largo plazo (Laato et al., 2024).

- Otra industria que está incorporando inteligencia artificial es la manufacturera y la automotriz, en concreto en las áreas de software de control de calidad, optimización de procesos y diseño asistido por computadora (Abualhaija et al., 2020). Esto significa que mediante el uso de software con inteligencia artificial (IA) se pueden analizar datos en tiempo real para identificar fallas en la producción, mejorar la eficiencia operativa y facilitar el diseño de productos innovadores (Ahmad et al., 2023). Con estas aplicaciones, la automatización inteligente está avanzando en este campo y ayudando a la evolución del sector de la Industria 4.0. También juegan un papel importante en la toma de decisiones basadas en datos (Asaad & Avksentieva, 2023).

- Otra área de conocimiento en la que se están utilizando software de inteligencia artificial es en el ámbito jurídico, que ha sufrido una transformación con la introducción de estos sistemas, ya que se utilizan para la extracción automatizada de datos jurídicos y el análisis de documentos legales (Sleimi et al., 2021). Con estas herramientas, el ámbito jurídico se vuelve más eficiente para la investigación jurídica y, al mismo tiempo, facilita el acceso a información pertinente en grandes colecciones de documentos legales (Abualhaija et al., 2020; Abdullah et al., 2021).

- El ámbito educativo también se incluye en estos campos. El software habilitado con IA se está utilizando para adaptar las experiencias de aprendizaje a las necesidades de los estudiantes, analizar su desempeño y agilizar los procedimientos administrativos (Franch, 2021). Cabe destacar que, tras la pandemia de Covid-19, las herramientas de IA han experimentado un aumento significativo debido al aumento de las necesidades específicas de los estudiantes durante el tiempo de clase en entornos de aprendizaje en línea, lo que provocó un aumento en la demanda de sistemas más sofisticados para este propósito (Georgievski, 2023; Ranawana & Karunananda, 2021; Rahman et al., 2023).



C. Pregunta 3: ¿Cómo se están especificando los requisitos del software en proyectos que incorporan inteligencia artificial?

Debido a la naturaleza dinámica e impredecible de la inteligencia artificial, la especificación de requisitos en proyectos de desarrollo de software que involucran IA ha generado desafíos únicos porque los métodos utilizados para definir y documentar los requisitos varían enormemente (Sarco Calpiña & Toaquiza Pacheco, 2022). Si bien este proceso ha experimentado varios avances, es fundamental señalar que no existe una norma o una directriz ampliamente aceptada para esta especificación de requisitos de IA en proyectos que la utilizan. La información encontrada en los estudios seleccionados muestra que los proyectos y organizaciones de desarrollo tienen diferentes niveles de formalidad para especificar los requisitos, lo que deja espacio para establecer estándares, procedimientos o lineamientos que permitan mejorar las prácticas en esta materia y asegurar una mayor consistencia y calidad (Ahmed et al., 2022; Albán & Franco Ortega, 2024). Como resultado, en respuesta a los desafíos, se están adoptando diversas metodologías y enfoques para trabajar en la captura y gestión de los requisitos.

Existe una clara tendencia en el uso de metodologías ágiles, como SCRUM y AUP (Agile Unified Process), para proyectos de inteligencia artificial. Con el objetivo de adaptarse a la evolución de los sistemas de IA en función de su exposición a más datos y escenarios de uso, esta tendencia se está desarrollando cambiando las metodologías para incluir ciclos de retrofeedback más frecuentes y una mayor flexibilidad en la definición de requisitos. Este enfoque se traduce en una especificación de requisitos más flexible e iterativa, algo que se vislumbra esencial en el desarrollo de este tipo de sistemas (Rivero et al., 2020; Pei et al., 2022).

De manera similar, los ciclos de desarrollo de software se están desarrollando específicamente para sistemas que incorporan aprendizaje automático. Estos modelos de ciclo de vida intentan incorporar las características únicas del desarrollo de sistemas de IA, que incluyen aspectos como la gestión y preparación de grandes conjuntos de datos, la elección y modificación de modelos y la evaluación del rendimiento del sistema en diversos contextos (Althar & Samanta, 2021; Núñez et al., 2024).

Otra innovación en este campo que está ganando cada vez más popularidad es el uso de ontologías, mediante las cuales se utilizan técnicas basadas en ellas para el diseño de requisitos esotéricos para la IA en sistemas en desarrollo. El objetivo de este método es definir formal y estructuralmente los requisitos, que son un componente crítico de los sistemas de inteligencia artificial debido a su capacidad de tomar decisiones por sí mismos y las consecuencias que se derivan de ello. Estas técnicas basadas

en ontologías permiten una mejor consideración y representación de los requisitos estéticos de la IA que deben ser incorporados en el diseño y desarrollo del sistema (Franch et al., 2020; Shafiq et al., 2021).

Además, existen técnicas de procesamiento de lenguaje natural y de aprendizaje automático que se utilizan para extraer y clasificar automáticamente los requisitos. Estas técnicas, consideradas como una herramienta útil, permiten el análisis de grandes volúmenes de texto de los que se pueden extraer y categorizar requisitos potenciales. Estos volúmenes de texto son archivos que pueden incluir documentación como archivos de proyectos anteriores, comentarios de usuarios, especificaciones técnicas, etc. Aunque esta técnica no se centra en el proceso de especificación de requisitos, se desarrolla en este ámbito para identificar requisitos que de otro modo serían pasados por alto por los altos estándares de forma tradicional (Morales-Ramirez et al., 2019; Perez-Verdejo et al., 2020; Anish et al., 2019).

El uso de modelos de trabajo MLOps (Machine Learning Operations) ha ganado popularidad como una forma de incorporar consideraciones específicas de inteligencia artificial a lo largo del ciclo de desarrollo de software porque, además de abordar los requisitos iniciales, estos modelos también manejan la gestión continua de los mismos a medida que el sistema evoluciona y se delega a producción (Subramanya et al., 2022; Li et al., 2020).

Por último, cabe destacar que recientemente se ha puesto el foco en las especificaciones de requisitos, que en este caso no funcionan dentro de los proyectos de desarrollo de software, incluida la IA. Aquí, hay un enfoque específico en áreas como la robustez, la equidad y la interpretabilidad de los sistemas o modelos. Esta especificación de prácticas ha sido posible gracias a la creación de manuales de buenas prácticas para el desarrollo de software asistido por inteligencia artificial, que tienen como objetivo proporcionar pautas y estándares sobre cómo los equipos deben abordar estos aspectos (Albán & Franco Ortega, 2024; Ijaz et al., 2019).

Tablas de especificación de requisitos creadas

A. Tabla de especificación de requisitos funcionales

La tabla de requisitos funcionales se diseñó a partir de la Tabla 2, ya que sirvió como base para su desarrollo. A estos parámetros base se agregaron dos métodos manuales más: Flujo Normal y Flujo Alternativo. En consecuencia, el diseño final de la tabla cuenta con 16 parámetros, nueve más que la tabla que se muestra en el papel. El diseño de la tabla tal como se incorporó al estándar se muestra en la Figura 4.

La tabla desarrollada para requisitos funcionales con integración

de IA ofrece una estructura más detallada y ajustada a las necesidades específicas de los sistemas de IA que la considerada en la sección tradicional IEEE 830 sobre requisitos específicos. La sección “3.2 Requisitos funcionales” de la plantilla estándar original se vuelve innecesaria cuando se integran todos los parámetros mostrados en la Figura 4. Esta redundancia que surgiría de mantener tanto la sección tradicional de requisitos funcionales como la nueva tabla se eliminó con la implementación de una tabla tan específica que ya no era necesario tener una sección que replicara la misma información que se establecía en las tablas generadas para cada requisito funcional. Al combinar todos los datos en una sola tabla, se esperaba evitar la duplicación de datos dentro del mismo documento de especificación de solicitud y facilitar la gestión y revisión de las solicitudes.

Como se muestra en la Figura 4 el diseño de la tabla de requerimientos funcionales incluye dos parámetros de la tabla conocida como “especificación de casos de uso”: Flujo Normal y Flujo Alternativo. Al agregar estos parámetros, se indicaron y establecieron dentro de la misma tabla las tareas específicas que debe realizar cada requerimiento funcional, eliminando así la necesidad de brindar detalles cruciales de cada requerimiento en una sección separada y facilitando la comprensión de cada requerimiento al consultar una sola sección. Como resultado, tener una sección después y agregar nuevamente estos requerimientos en una sección diferente no solo sería redundante, sino que también se determinaría como un proceso ineficiente.

Número de requisito	[Inserte aquí el texto] (Se refiere al ID del requisito, por ejemplo: RF01)		
Nombre de requisito	[Inserte aquí el texto]		
Tipo	<input type="checkbox"/> Requisito de Software	<input type="checkbox"/> Restricción de Software	<input type="checkbox"/> Requisito de IA <input type="checkbox"/> Restricción de IA
Características	[Inserte aquí el texto] (Explicación básica del requisito, incluyendo de manera general lo que se espera de este requisito)		
Descripción del requisito	[Inserte aquí el texto] (Explicación detallada y completa del requisito, incluyendo su funcionalidad y comportamiento esperado)		
Fuente del requisito	[Inserte aquí el texto] (Especifica de dónde proviene el requisito, como usuarios, regulaciones o estándares industriales)		
Requerimiento No Funcional	[Inserte aquí el texto] (Se refiere a los requerimientos no funcionales con los que se relaciona el requisito)		
Prioridad del requisito	<input type="checkbox"/> Alta/Esencial	<input type="checkbox"/> Media/Deseado	<input type="checkbox"/> Baja/ Opcional
Flujo Normal	Usuario: <small>No de acción</small> [Inserte aquí el texto] (Pasos detallados que describen el flujo normal de eventos dados por el usuario)	Sistema: <small>No de acción</small> [Inserte aquí el texto] (Pasos detallados que describen las variaciones posibles del flujo normal de eventos dados por el sistema)	
Flujo Alternativo	[Inserte aquí el texto] (Pasos detallados que describen las variaciones posibles del flujo normal) (El número de la acción alterna se compone del número de la acción normal de la cual sale el flujo alterno, más una letra en orden alfabético, por ejemplo: 1a, 1b, etc.)		
Fuente de Datos	[Inserte aquí el texto] (Descripción de las fuentes de datos que se utilizarán para entrenar el modelo de IA, incluyendo calidad, cantidad, y representatividad de los datos)		
Preprocesamiento de Datos	[Inserte aquí el texto] (Detalles sobre los procedimientos de preprocesamiento necesarios para los datos)		
Métodos de Validación	[Inserte aquí el texto] (Descripción de los métodos de validación que se utilizarán para evaluar el modelo de IA)		
Criterios de Éxito	[Inserte aquí el texto] (Especificación de los criterios de éxito y las métricas que deben cumplirse para considerar que el modelo de IA es adecuado para su uso)		
Análisis de Sesgos	[Inserte aquí el texto] (Descripción de los posibles sesgos en los datos y en el modelo, y cómo se abordarán)		
Impacto Ético	[Inserte aquí el texto] (Evaluación del impacto ético del uso del modelo de IA y medidas para mitigar cualquier efecto negativo)		

Figura 4. Tabla de especificación de requisitos funcionales
Fuente: Los autores

B. Tabla de Especificación de requisitos No Funcionales

Aun cuando fue diseñada de manera similar a la tabla anterior, esta tuvo varios cambios realizados específicamente para

especificar los requerimientos no funcionales. La tabla de requerimientos no funcionales fue diseñada con 14 parámetros, como se muestra en la Figura 5. De manera similar al diseño anterior, esta tabla fue incluida en la plantilla completa junto con una breve descripción de lo que se espera especificar dentro de cada uno de los parámetros de la misma. Un aspecto que se tomó en consideración en este diseño fue que, en el parámetro “Categoría”, se agregaron las clasificaciones de requerimientos no funcionales que se establecieron dentro de IEEE 830 porque la sección de la plantilla que se destinaba a esta clasificación, quedó omitida.

Esta tabla contiene toda la información pertinente, eliminando así la necesidad de repetir los detalles en una sección separada. Al concentrar toda la información en una sola tabla, se esperaba evitar la duplicación y facilitar la gestión y revisión de las solicitudes de una manera más efectiva. En otras palabras, se le dio la oportunidad al usuario de la plantilla de obtener toda la información necesaria y significativa sobre cada solicitud no funcional en una sección sin tener que consultarla en secciones separadas, con algunos datos en una sección y otros datos en otra. De esta manera, se determinó que la tabla diseñada optimizaría el proceso de revisión y gestión de las solicitudes no funcionales, y, es por esto, que la sección “3.3 Requisitos no funcionales” de la plantilla original del estándar IEEE 830, fue eliminada.

Al momento de eliminar esta sección se observó que el objetivo principal de la misma era clasificar los requerimientos no funcionales en sus seis categorías: confiabilidad, seguridad, disponibilidad, mantenibilidad y portabilidad. Al agregar las categorías de requerimientos no funcionales a la tabla diseñada, no sólo se optimizó el proceso de gestión, sino que también se determinó que la sección “3.3 Requisitos no funcionales” quedaría obsoleta e innecesaria, por lo que se consideró conveniente su eliminación.

Número de requisito	[Inserte aquí el texto] (Se refiere al ID del requisito, por ejemplo: RF01)			
Nombre de requisito	[Inserte aquí el texto]			
Tipo	<input type="checkbox"/> Requisito de Software	<input type="checkbox"/> Restricción de Software	<input type="checkbox"/> Requisito de IA	<input type="checkbox"/> Restricción de IA
Características	[Inserte aquí el texto] (Explicación básica del requisito, incluyendo de manera general lo que se espera de este requisito)			
Descripción del requisito	[Inserte aquí el texto] (Explicación detallada y completa del requisito, incluyendo su funcionalidad y comportamiento esperado)			
Fuente del requisito	[Inserte aquí el texto] (Especifica de dónde proviene el requisito, como usuarios, regulaciones o estándares industriales)			
Categoría	<input type="checkbox"/> Rendimiento	<input type="checkbox"/> Seguridad	<input type="checkbox"/> Fiabilidad	<input type="checkbox"/> Disponibilidad <input type="checkbox"/> Mantenibilidad <input type="checkbox"/> Portabilidad
Prioridad del requisito	<input type="checkbox"/> Alta/Esencial	<input type="checkbox"/> Media/Deseado	<input type="checkbox"/> Baja/ Opcional	
Fuente de Datos	[Inserte aquí el texto] (Descripción de las fuentes de datos que se utilizarán para entrenar el modelo de IA, incluyendo calidad, cantidad, y representatividad de los datos)			
Preprocesamiento de Datos	[Inserte aquí el texto] (Detalles sobre los procedimientos de preprocesamiento necesarios para los datos)			
Métodos de Validación	[Inserte aquí el texto] (Descripción de los métodos de validación que se utilizarán para evaluar el modelo de IA)			
Criterios de Éxito	[Inserte aquí el texto] (Especificación de los criterios de éxito y las métricas que deben cumplirse para considerar que el modelo de IA es adecuado para su uso)			
Análisis de Sesgos	[Inserte aquí el texto] (Evaluación de los posibles sesgos en los datos y en el modelo, y cómo se abordarán)			
Impacto Ético	[Inserte aquí el texto] (Evaluación del impacto ético del uso del modelo de IA y medidas para mitigar cualquier efecto negativo)			

Figura 5. Tabla de especificación de requisitos no funcionales diseñada.
Fuente: Los autores



Los resultados obtenidos tras la realización de la RSL y el diseño de las tablas de especificación de requisitos, se explican a detalle en una web informativa desarrollada en el sitio web de la Carrera de Computación de la Universidad Nacional de Loja. La web se denominada “SRS-AI”, se desarrolló utilizando cuatro secciones principales: la primera sección expuso información respecto al estándar IEEE 830; la segunda sección explicó de qué trata la integración de IA al estándar IEEE 830; la tercera sección mostró la información respecto al presente trabajo realizado explicando las tablas de especificación de requisitos diseñadas, la eliminación de las secciones específicas del estándar IEEE 830; y por último, la cuarta sección expuso el equipo de investigación a cargo del proyecto. En el siguiente enlace, se puede acceder a la web: <https://computacion.unl.edu.ec/srs-ai>.

En la tercera sección de la página informativa, llamada “Plantilla de integración de requisitos de inteligencia artificial”, se añadió el enlace a una plantilla web dinámica donde el usuario puede desarrollar el documento completo de especificación de requisitos con integración de requisitos de inteligencia artificial; en la Figura 6, se puede ver el inicio de la aplicación, que, con más detalle, puede observarse en el siguiente enlace: <https://computacion.unl.edu.ec/srs/>.



Figura 6. Plantilla web “SRS-AI”.
Fuente: Los autores

Esta aplicación se desarrolló con todas las secciones que componen la guía de especificación de requerimientos, incluyendo campos para agregar texto, botones y tablas que permiten al usuario completar el documento según sus necesidades. Además, se agregó un botón para exportar el documento en formato PDF. También se agregó un botón flotante de acción (FAB) para que el usuario tuviera dos opciones más: Limpiar Plantilla y Cargar, por ejemplo: la opción “Limpiar Plantilla” permite al usuario eliminar toda la información agregada a la página; la opción “Cargar ejemplo” permitiría al usuario visualizar la hoja completa con información de un proyecto hipotético para poder visualizar qué tipo de información debe contener cada sección.

Utilidad percibida

En la Figura 7 se observa la evaluación obtenida de una encuesta realizada a los estudiantes de la Carrera de Computación de la UNL, resultando un promedio de 3,8 de utilidad que se considera alta en la escala del 1 al 5. Las preguntas fueron las siguientes:

- P1.** ¿Qué tan útil consideras la plantilla para estructurar, organizar y documentar requisitos funcionales y no funcionales? Ya sea de software o de IA.
- P2.** ¿Qué tanto consideras que el uso de esta plantilla contribuye a definir de manera clara y precisa los requisitos específicos de IA, asegurando su trazabilidad y adecuación a lo largo de todo el proceso de desarrollo?
- P3.** ¿Qué tan fácil te resultó entender y completar los campos de la plantilla (incluyendo los específicos para IA)?
- P4.** ¿Qué tan útil consideras que sería esta plantilla para estructurar y documentar requisitos en un proyecto real que incluya sistemas de IA?

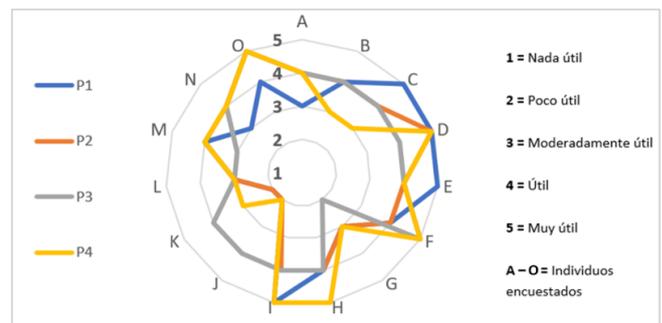


Figura 7. Evaluación de la utilidad percibida.
Fuente: Los autores

Asimismo, a la interrogante: ¿Alguna vez habías especificado requisitos de inteligencia artificial, ya sea de manera general o mediante un método formal? el 86.7% de los encuestados respondió que no había desarrollado anteriormente ningún tipo de especificación de requisitos de inteligencia artificial, esto demuestra que no se están usando estructuras formales en la especificación de requisitos en el proceso de desarrollo de software.

4. Conclusiones

Mediante la RSL realizada se diagnosticó un vacío de procedimientos formales y se usó el estándar IEEE 830 en conjunto con la metodología GPEI para solventar esta necesidad,

utilizando tablas de especificación de requisitos funcionales y no funcionales que incluyeran parámetros encargados de especificar las particularidades de la IA.

La eliminación de redundancias dentro de la guía planteada, fue un factor clave para la consolidación de la información relevante respecto a cada requisito, independientemente de su categoría, permitiendo optimizar su documentación, además de promover una mejor comunicación entre los clientes y partes interesadas, con el equipo encargado del desarrollo, lo que permite una mejor alineación con el cumplimiento de los objetivos de cada proyecto.

La creación de una web informativa y plantilla para la implementación de esta guía, refuerza la aplicabilidad práctica del procedimiento propuesto, estas herramientas no solo facilitan la adopción de estos procesos en entornos reales, sino que también contribuyen a la difusión de mejores prácticas en la industria que pueden mejorar la calidad de los sistemas desarrollados, reduciendo los riesgos asociados a especificaciones deficientes.

La principal limitación del estándar IEEE 830 es su independencia, ya que su enfoque rígido y detallado dificulta la integración con otros marcos y estándares más modernos, lo que limita su adaptación a metodologías ágiles y enfoques iterativos. Este obstáculo puede ser superado mediante el uso de normas más recientes como ISO/IEC 29148, que ofrece mayor flexibilidad y se integra eficazmente con otros estándares ISO, permitiendo una gestión más dinámica y colaborativa de los requisitos. Esto abre la puerta a trabajos futuros que favorezcan un enfoque más holístico, adaptable y alineado con las prácticas de desarrollo de software actuales.

Finalmente, el uso práctico de esta propuesta de procedimiento formal de especificación de requisitos para software con IA con los estudiantes en un entorno real se percibió una utilidad de 3.8/5 categorizándose como alta.

Contribución de los autores

Pablo Fernando Ordóñez Ordóñez: Conceptualización, Administración del proyecto, Análisis formal, Supervisión, Redacción- revisión y edición del artículo, Recursos. **Yamilka Valeria Erazo Aleaga:** Investigación, Análisis formal, Metodología, Software, Validación, Visualización, Redacción-borrador original del artículo, Redacción- revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

Abad, Z. S. H., Karras, O., Ghazi, P., Glinz, M., Ruhe, G., & Schneider, K. (2017). What Works Better? A Study of Classifying Requirements. *Proceedings - 2017 IEEE 25th*

International Requirements Engineering Conference, RE 2017, 496–501. <https://doi.org/10.1109/RE.2017.36>

Abdullah, R. W., Ahmad, S., Asmai, S. A., Lee, S. W., & Zain, Z. M. (2021). Research Efforts and Challenges in Crowd-based Requirements Engineering: A Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(9), 395–402. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120945>

Abualhaija, S., Arora, C., Sabetzadeh, M., Briand, L. C., & Traynor, M. (2020). Automated demarcation of requirements in textual specifications: a machine learning-based approach. *Empirical Software Engineering*, 25(6), 5454–5497. <https://doi.org/10.1007/s10664-020-09864-1>

Acevedo-Castiblanco, J.-A., Suárez-Barón, M.-J., & González-Sanabriz, J.-S. (2023). Categorización e integración de columnas de opinión y contenido de páginas web aplicando técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural Categorization and Integration of Opinion Columns Content in Web Pages Applying Natural Language Processing Techniques. *Artículo de Investigación Ingeniería y Competitividad*, 25(3), 25. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.13220>

Ahmad, K., Abdelrazek, M., Arora, C., Grundy, J., & Bano, M. (2023). Requirements Elicitation and Modelling of Artificial Intelligence Systems: An Empirical Study. <http://arxiv.org/abs/2302.06034>

Ahmed, S., Ahmed, A., & Eisty, N. U. (2022). Automatic Transformation of Natural to Unified Modeling Language: A Systematic Review. <https://doi.org/10.1109/SERA54885.2022.9806783>

Albán, H., & Franco Ortega, A. O. (2024). Manual de buenas prácticas para el desarrollo de software apoyado en inteligencia artificial para estudiantes de la Carrera de Software de la Universidad Estatal de Bolívar, período 2023-2024.

Althar, R. R., & Samanta, D. (2021). The realist approach for evaluation of computational intelligence in software engineering. *Innovations in Systems and Software Engineering*, 17(1), 17–27. <https://doi.org/10.1007/s11334-020-00383-2>

Anish, P. R., Sainani, A., Ahmed, A., & Ghaisas, S. (2019). Implementation-centric classification of business rules from documents. *Proceedings - 2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference Workshops, REW 2019*, 227–233. <https://doi.org/10.1109/REW.2019.00047>

Asaad, J., & Avksentieva, E. (2023). Review of ways to apply machine learning methods in software engineering. *E3S Web of Conferences*, 449. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202344907018>



- Barletta, V. S., Caivano, D., Gigante, D., & Ragone, A. (2023). A Rapid Review of Responsible AI frameworks: How to guide the development of ethical AI. *ACM International Conference Proceeding Series*, 358–367. <https://doi.org/10.1145/3593434.3593478>
- de las Puelas Encinas, G., & Sánchez Escribano, M. (2019). Definición de Requisitos Funcionales bajo Especificación IEEE para un Sistema de Ingeniería. Universidad Politécnica de Madrid.
- Devine, P., Koh, Y. S., & Blincoe, K. (2023). Evaluating software user feedback classifier performance on unseen apps, datasets, and metadata. *Empirical Software Engineering*, 28(2). <https://doi.org/10.1007/s10664-022-10254-y>
- Franch, X. (2021). Data-Driven Requirements Engineering: A Guided Tour. *Communications in Computer and Information Science*, 1375, 83–105. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70006-5_4
- Franch, X., Seyff, N., Oriol, M., Fricker, S., Groher, I., Vierhauser, M., & Wimmer, M. (2020). Towards Integrating Data-Driven Requirements Engineering into the Software Development Process: A Vision Paper. In N. Madhavji, L. Pasquale, A. Ferrari, & S. Gnesi (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 12045, pp. 135–142). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44429-7>
- Georgievski, I. (2023). Conceptualising Software Development Lifecycle for Engineering AI Planning Systems. *Proceedings - 2023 IEEE/ACM 2nd International Conference on AI Engineering - Software Engineering for AI, CAIN 2023*, 88–89. <https://doi.org/10.1109/CAIN58948.2023.00019>
- Guevara, J. D. C., & Ponjuán, D. T. (2022). Methodology proposal for specifying records management requirements from requirements engineering. *Investigacion Bibliotecologica*, 36(91), 33–48. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2022.91.58555>
- Guizzardi, R., Amaral, G., Guizzardi, G., & Mylopoulos, J. (2023). An ontology-based approach to engineering ethicality requirements. *Software and Systems Modeling*, 22(6), 1897–1923. <https://doi.org/10.1007/s10270-023-01115-3>
- Ijaz, K. B., Inayat, I., & Allah Bukhsh, F. (2019). Non-functional Requirements Prioritization: A Systematic Literature Review. *Proceedings - 45th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2019*, 379–386. <https://doi.org/10.1109/SEAA.2019.00064>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. <https://www.researchgate.net/publication/302924724>
- Laato, S., Mäntymäki, M., Minkkinen, M., & Dennehy, D. (2024). Machine Learning System Development in Information Systems Development Praxis. *Communications of the Association for Information Systems*, 54. <https://doi.org/10.17705/1cais.05406>
- Li, M., Shi, L., Yang, Y., & Wang, Q. (2020). A Deep Multi-task Learning Approach for Requirements Discovery and Annotation from Open Forum. *Proceedings - 2020 35th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, ASE 2020*, 336–348. <https://doi.org/10.1145/3324884.3416627>
- Llerena Ocaña, L. A., Viscaino Naranjo, F. A., Culque Topanta, W. V., & Baño Naranjo, F. P. (2023). Estudio neutrosófico sobre la afectación de la inteligencia artificial en el desarrollo de software. *Neutrosophic Computing and Machine Learning*, 29, 295–304.
- Morales-Ramirez, I., Kifetew, F. M., & Perini, A. (2019). Speech-acts based analysis for requirements discovery from online discussions. *Information Systems*, 86, 94–112. <https://doi.org/10.1016/j.is.2018.08.003>
- Necula, S. C., Dumitriu, F., & Greavu-Şerban, V. (2024). A Systematic Literature Review on Using Natural Language Processing in Software Requirements Engineering. In *Electronics (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/electronics13112055>
- Núñez, A. G., Granda, M. F., Saquicela, V., & Parra, O. (2024). Machine Learning-Enhanced Requirements Engineering: A Systematic Literature Review. *International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering, ENASE - Proceedings*, 521–528. <https://doi.org/10.5220/0012688100003687>
- Pei, Z., Liu, L., Wang, C., & Wang, J. (2022). Requirements Engineering for Machine Learning: A Review and Reflection. 166–175. <https://doi.org/10.1109/REW56159.2022.00039>
- Perez-Verdejo, J. M., Sanchez-Garcia, A. J., & Ocharan-Hernandez, J. O. (2020). A systematic literature review on machine learning for automated requirements classification.

- Proceedings - 2020 8th Edition of the International Conference in Software Engineering Research and Innovation, CONISOFT 2020, 21–28. <https://doi.org/10.1109/CONISOFT50191.2020.00014>
- Rahman, S., Ahmed, F., & Nayebi, M. (2023). Mining Reddit Data to Elicit Students' Requirements During COVID-19 Pandemic. Proceedings - 31st IEEE International Requirements Engineering Conference Workshops, REW 2023, 76–84. <https://doi.org/10.1109/REW57809.2023.00021>
- Ramírez Leal, J. C., Giraldo Orozco, W. J., & Hernández, R. A. (2015). Aproximación metodológica para la formalización de técnicas en Ingeniería de Requisitos [Methodological approach to formalization of techniques on requirements engineers]. Apropriación de Técnicas de Elicitación de Conocimiento y de Comunicación Personalizadas Para Potenciar El Proceso de Ingeniería de Requisitos, 32, 165–181.
- Ranawana, R., & Karunananda, A. S. (2021). An Agile Software Development Life Cycle Model for Machine Learning Application Development. 5th SLAAI - International Conference on Artificial Intelligence and 17th Annual Sessions, SLAAI-ICAI 2021. <https://doi.org/10.1109/SLAAI-ICAI54477.2021.9664736>
- Rivero, L., Diniz, J., Silva, G., Borrallho, G., Braz Junior, G., Paiva, A., Alves, E., & Oliveira, M. (2020, December 1). Deployment of a Machine Learning System for Predicting Lawsuits against Power Companies: Lessons Learned from an Agile Testing Experience for Improving Software Quality. ACM International Conference Proceeding Series. <https://doi.org/10.1145/3439961.3439991>
- Rodriguez Vargas, A. J., Falconí Peláez, S. V., Mazón Olivo, B. E., & Tusa Jumbo, E. A. (2024). Integración de Inteligencia Artificial en Telemedicina: Desarrollo y Evaluación de Chatbot Especializado en Enfermedades Virales. Informática y Sistemas Revista de Tecnologías de La Informática y Las Comunicaciones, 8(2), 60–69. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.6840>
- Sarco Calapiña, W., & Toaquiza Pacheco, D. V. (2022). Aplicación de la inteligencia artificial en el desarrollo de software.
- Sarco Calpiña, W. M., & Toaquiza Pacheco, D. V. (2022). Aplicación de la inteligencia artificial en el desarrollo de software.
- Shafiq, S., Mashkoo, A., Mayr-Dorn, C., & Egyed, A. (2021). NL-P4IP: Natural Language Processing-based Recommendation Approach for Issues Prioritization. Proceedings - 2021 47th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2021, 99–108. <https://doi.org/10.1109/SEAA53835.2021.00022>
- Sleimi, A., Sannier, N., Sabetzadeh, M., Briand, L., Ceci, M., & Dann, J. (2021). An automated framework for the extraction of semantic legal metadata from legal texts. Empirical Software Engineering, 26(3). <https://doi.org/10.1007/s10664-020-09933-5>
- Steidl, M., Felderer, M., & Ramler, R. (2023). The pipeline for the continuous development of artificial intelligence models—Current state of research and practice. Journal of Systems and Software, 199. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111615>
- Subramanya, R., Sierla, S., & Vyatkin, V. (2022). From DevOps to MLOps: Overview and Application to Electricity Market Forecasting. Applied Sciences (Switzerland), 12(19). <https://doi.org/10.3390/app12199851>
- Tiwari, S., & Malik, A. (2024). Harnessing the Power of Artificial Intelligence in Software Engineering for the Design and Optimization of Cyber-physical Systems. <https://doi.org/10.1201/9781003474111-10>
- Velásquez Henao, J. D., Franco Cardona, C. J., & Cadavid Higuaita, L. (2023). Prompt Engineering: a methodology for optimizing interactions with AI-Language Models in the field of engineering. DYNA, 90(230), 9–17. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n230.111700>
- Villamizar, H., Escovedo, T., & Kalinowski, M. (2021). Requirements Engineering for Machine Learning: A Systematic Mapping Study. Proceedings - 2021 47th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2021, 29–36. <https://doi.org/10.1109/SEAA53835.2021.00013>

