IDEAS

JOURNAL

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2

http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

ISSN: 2600-5573 Volumen 7 N°2 Julio 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
SCIENTIA ET TECHNICHIS IN SERVITIUM POPULI
UTN
AUTÓNOMA DESDE 1995
IBARRA - ECUADOR

EDITORIAL UTN
IBARRA - ECUADOR

Comité Editorial

Volumen 7, Número 2, 2025

EDITORA EN JEFE
Daisy Imbaquingo, Ph.D. deimbaquingo@utn.edu.ec

EDITOR GENERAL
Fernando Ramírez, Ph.D. frramirez@utn.edu.ec

Editores de Sección
Marco Ciaccia, Ph.D. mciaccia@utn.edu.ec
Cathy Guevara, Ph.D. cguevara@utn.edu.ec
Lissette Revelo, M.Sc. lgreveloc@utn.edu.ec
David Ojeda, Ph.D. daojeda@utn.edu.ec
Lucia Vásquez, Ph.D. ldvasquez@utn.edu.ec

Editores Académicos
Brizeida Gámez, Ph.D. bngamez@utn.edu.ec
Miguel Vivert, Ph.D. mevivert@utn.edu.ec

Editores Asociados
Vladimir Bonilla Venegas, Ph.D. fbonilla@ute.edu.ec
Thalia San Antonio, Ph.D. t.sanantonio@uta.edu.ec
Mario Ron, Ph.D. mbron@espe.edu.ec
Laura Guerra, Ph.D. lrquerra@pucesi.edu.ec
Wilson Guachamín, Ph.D. wilson.guachamin@epn.edu.ec

Comité Científico Internacional
Ana Cabrera, Ph.D. acabreratobar@unisa.it
Lilibeth Zambrano, Ph.D. zambranol@itcarlow.ie
Belkys Amador, Ph.D. bamador@unet.edu.ve
Vannessa Duarte, Ph.D. vannessa.duarte@unc.cl
Laura Saenz, Ph.D. decanatoingenieria@ujap.edu.ve
Luis Garza, Ph.D. luis_garza1@ucol.mx

Diagramador: Ing. Roger Mafla rfmafla@utn.edu.ec
Corrección de Estilo: Dra. Silvia Arciniega srarciniega@utn.edu.ec

Asistentes de Edición Técnica
Leonardo Ibujés, Ing. lvibujesc@utn.edu.ec
Gabriela Obando rgobandon@utn.edu.ec

Editorial

Volumen 7, Número 2, 2025

La Revista *IDEAS* de la Universidad Técnica del Norte presenta con orgullo su volumen 7, número 2, bajo el título **"Ingeniería aplicada a problemas de la sociedad actual"**, una edición que recoge investigaciones que vinculan el conocimiento técnico con soluciones relevantes para los desafíos contemporáneos. Este número da la bienvenida a sus lectores con aportes multidisciplinarios provenientes de diversas universidades ecuatorianas, reflejando el compromiso nacional con una ingeniería al servicio del bienestar colectivo.

Desde la Universidad Técnica de Manabí, Gema Isabel Medranda, Gabriel Cotera, Marely Cruz y Wilmer Moreira analizan los avances en la monitorización ambiental mediante la integración de IoT y Big Data, destacando su potencial para reducir contaminantes y optimizar recursos, aunque enfrentan retos de interoperabilidad y ciberseguridad. En la misma línea institucional, Michelle Plaza y Oscar López proponen un sistema inteligente de diagnóstico precoz del cáncer gástrico usando redes neuronales, logrando una precisión del 97.4%. Por su parte, Cristopher Quijije y Wilmer Moreira exponen un análisis crítico sobre la seguridad y privacidad de datos en Ecuador, proponiendo medidas para fortalecer la resiliencia digital ante amenazas emergentes.

Desde la Universidad Central del Ecuador, Jessica Amagua presenta un estudio orientado a la sostenibilidad agrícola, identificando genotipos de papa resistentes al vector *Bactericera cockerelli* mediante antibiosis. Héctor Barros analiza la pertinencia del currículo de mecatrónica frente a las demandas del campo laboral, proponiendo una integración equilibrada de competencias técnicas y pedagógicas. Marco Chiluisa profundiza en el impacto positivo de la robótica educativa en el desarrollo de habilidades técnicas y blandas en estudiantes ecuatorianos, destacando su potencial transformador en la educación del siglo XXI.

Desde la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y la Escuela Politécnica Nacional, Iván Narváez y Erick Herrera proponen un modelo predictivo del desempleo en Ecuador que combina redes neuronales y variables macroeconómicas, superando las limitaciones de los métodos econométricos clásicos. También desde la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Cristian Flores y Mairett Rodríguez aplican técnicas multivariadas y simulación para mejorar la productividad en procesos industriales de una empresa láctea, destacando la eficacia de la metodología 5S para reducir tiempos y aumentar producción.

Desde la Universidad Técnica del Norte, Carlos Mafla y colaboradores exploran cómo la frecuencia y el tiempo de inyección afectan el funcionamiento de inyectores electrónicos CRDi, ofreciendo hallazgos relevantes para la optimización del rendimiento mecánico. En esta misma institución, Jenyffer Yépez, Karla Negrete y Marco Alarcón desarrollan una metodología de gestión de mantenimiento basada en la norma NTE-INEN-EN-15341, adaptada a las MIPYMES manufactureras de Imbabura, lo que contribuye a la continuidad operativa de procesos productivos regionales.

Este número 7.2 ha sido completamente editado en LaTeX, un sistema de composición tipográfica de alto nivel que permite una maquetación precisa, profesional y estructurada. La adopción de LaTeX marca un hito en la evolución editorial de la revista *IDEAS*, posicionándola a la par de las publicaciones científicas de mayor impacto a nivel regional y global, mejorando significativamente la presentación, interoperabilidad digital y coherencia visual del contenido.

Agradecemos profundamente a Pedro Cargua, Gabriela Obando y Alejandro Ledesma por su valiosa colaboración en la edición en LaTeX de este número. Su compromiso técnico y profesionalismo han sido fundamentales para alcanzar la calidad editorial que hoy ofrecemos a nuestros lectores.

Editorial

Volume 7, Issue 2

The *IDEAS* Journal, published by Universidad Técnica del Norte, proudly presents Volume 7, Issue 2, titled **"Engineering Applied to Current Societal Problems"**. This edition welcomes readers with multidisciplinary contributions from various Ecuadorian universities, showcasing a national commitment to engineering in service of societal well-being.

From Universidad Técnica de Manabí, Gema Isabel Medranda, Gabriel Cotera, Marely Cruz, and Wilmer Moreira analyze the progress in environmental monitoring through the integration of IoT and Big Data, highlighting their potential to reduce pollutants and optimize resources, while addressing challenges such as interoperability and cybersecurity. In the same institution, Michelle Plaza and Oscar López propose an AI-based early diagnosis system for gastric cancer using neural networks, achieving 97.4% accuracy. Cristopher Quijije and Wilmer Moreira critically examine data security and privacy in Ecuador, offering strategies to strengthen the country's digital resilience.

At Universidad Central del Ecuador, Jessica Amagua presents a study focused on agricultural sustainability by identifying potato genotypes with resistance to the vector *Bactericera cockerelli* through antibiosis. Héctor Barros analyzes the relevance of the mechatronics curriculum in response to labor market demands, suggesting a balanced integration of technical and pedagogical skills. Marco Chiluisa explores the positive impact of educational robotics on the development of both technical and soft skills among Ecuadorian students, emphasizing its transformative potential in 21st-century education.

From Universidad Politécnica Estatal del Carchi and Escuela Politécnica Nacional, Iván Narváez and Erick Herrera propose a predictive model of unemployment in Ecuador using neural networks and macroeconomic variables, outperforming traditional econometric methods. Also from Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Cristian Flores and Mairett Rodríguez apply multivariate techniques and simulations to optimize production in a dairy company, highlighting the effectiveness of the 5S methodology.

At Universidad Técnica del Norte, Carlos Mafla and collaborators investigate how injection frequency and timing influence the performance of CRDi electronic injectors, offering valuable insights for mechanical optimization. At the same institution, Jenyffer Yépez, Karla Negrete, and Marco Alarcón develop a maintenance management methodology based on the NTE-INEN-EN-15341 standard, tailored for manufacturing SMEs in Imbabura, contributing to improved operational continuity.

This Issue 7.2 has been entirely edited in LaTeX, a high-level typesetting system that enables precise, professional, and structured formatting. The adoption of LaTeX marks a milestone in *IDEAS* Journal's editorial evolution, placing it on par with the highest-impact scientific publications regionally and globally, significantly enhancing the visual consistency, digital interoperability, and presentation quality.

We extend our sincere gratitude to Pedro Cargua, Gabriela Obando, and Alejandro Ledesma for their valuable contribution to the LaTeX edition of this issue. Their technical dedication and professionalism have been essential to achieving the editorial quality we proudly present to our readers today.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Monitorización Ambiental con IoT y Big Data: Una Revisión Sistemática de Avances y Desafíos.

Environmental Monitoring with IoT and Big Data: A Systematic Review of Advances and Challenges.

Gema Isabel Medranda Cobeña, Gabriel Agustín Cotera-Ramírez, Marely del Rosario Cruz Felipe, Wilmer Antonio Moreira Sánchez

Universidad Técnica de Manabí, Av. Universitaria y Che Guevara, Portoviejo, Ecuador

Recibido: 12/06/2025, Aceptado: 26/06/2025
Autor de correspondencia: Gema Medranda: gema.medranda@utm.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1288

PALABRAS CLAVE

IoT ambiental,
Big Data,
Sensores,
Sostenibilidad.

RESUMEN

La monitorización ambiental ha sido transformada por la convergencia del Internet de las Cosas (IoT) y el Big Data, aunque persisten desafíos significativos en su implementación a escala global. El objetivo de este estudio es analizar y sintetizar la evidencia científica sobre los avances, desafíos e impactos de esta integración. Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo el protocolo PRISMA 2020, analizando 55 estudios publicados entre 2019 y 2024, extraídos de bases de datos como Scopus, IEEE Xplore y Web of Science. Los resultados cuantitativos clave revelan que la implementación de redes de sensores IoT ha permitido una reducción de hasta un 18 % en concentraciones de PM2.5 en entornos urbanos y una optimización del 35 % en el consumo de agua en la agricultura de precisión. Los modelos de aprendizaje profundo, como LSTM, alcanzan una precisión predictiva superior al 92 % para la calidad del aire. No obstante, se identificaron desafíos críticos, incluyendo una pérdida de datos del 23 % por problemas de interoperabilidad entre protocolos y vulnerabilidades de seguridad en el 41 % de las redes analizadas. Se concluye que, si bien la sinergia IoT-Big Data ofrece un potencial cuantificable para la gestión ambiental proactiva, su escalabilidad global depende de la superación de barreras técnicas, como la estandarización de protocolos, y de la reducción de la brecha tecnológica regional.

KEYWORDS

IoT ambiental,
Big Data,
Sensores,
Sostenibilidad.

ABSTRACT

Environmental monitoring has been transformed by the convergence of the Internet of Things (IoT) and Big Data, although significant challenges remain in its implementation on a global scale. The objective of this study is to analyze and synthesize the scientific evidence on the advances, challenges, and impacts of this integration. A systematic review of the literature was conducted following the PRISMA 2020 protocol, analyzing 55 studies published between 2019 and 2024, extracted from databases such as Scopus, IEEE Xplore, and Web of Science. Key quantitative results reveal that the implementation of IoT sensor networks has enabled a reduction of up to 18 % in PM2.5 concentrations in urban environments and a 35 % optimization in water consumption in precision agriculture. Deep learning models, such as LSTM, achieve predictive accuracy of over 92 % for air quality. However, critical challenges were identified, including a 23 % loss of data due to interoperability issues between protocols and security vulnerabilities in 41 % of the networks analyzed. It is concluded that, while IoT-Big Data synergy offers quantifiable potential for proactive environmental management, its global scalability depends on overcoming technical barriers, such as protocol standardization, and reducing the regional technology gap.

1. Introducción

La convergencia del Internet de las Cosas (IoT) y las tecnologías de Big Data representa un paradigma transformador en la monitorización y gestión ambiental. La capacidad de desplegar redes de sensores interconectados que recopilan e intercambian volúmenes masivos de datos a través de Internet ofrece un potencial sin precedentes para el análisis del entorno en tiempo real [1] [2]. Estos sistemas, que abarcan desde medidores de temperatura y humedad hasta sofisticados sensores de calidad del aire y del agua, permiten una comprensión más granular y dinámica de los ecosistemas, sentando las bases para una gestión ambiental proactiva y basada en evidencia [3][4].

A pesar del rápido avance tecnológico y de casos de éxito aislados, la literatura científica carece de una síntesis cuantitativa reciente que consolide los avances medibles y, a su vez, identifique sistemáticamente las barreras persistentes que frenan su adopción global. Publicaciones anteriores se han centrado en aplicaciones específicas (e.g., calidad del aire o agua) o en los aspectos tecnológicos, sin ofrecer un panorama integrado de los desafíos operativos, de seguridad e interoperabilidad documentados en estudios de campo. Esta fragmentación dificulta la formulación de estrategias y políticas basadas en evidencia para escalar estas soluciones.

Para abordar este vacío, el presente artículo realiza una revisión sistemática con un doble propósito: primero, cuantificar el impacto de la integración IoT-Big Data en áreas clave como la calidad del aire, la gestión hídrica y la agricultura; y segundo, identificar y categorizar los principales desafíos técnicos y operativos reportados en la literatura reciente. A diferencia de revisiones previas, este trabajo aplica un análisis estadístico a los resultados extraídos para ofrecer una perspectiva consolidada sobre la eficacia y las limitaciones de estas tecnologías.

El artículo se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 detalla la metodología de revisión sistemática basada en el protocolo PRISMA. La Sección 3 presenta los resultados cuantitativos y cualitativos, organizados por avances e impactos, y luego por desafíos identificados. Finalmente, la Sección 4 discute las implicaciones de los hallazgos, presenta las conclusiones, reconoce las limitaciones del estudio y propone líneas de investigación futura.

2. Metodología

Esta revisión sistemática sigue el protocolo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar transparencia y reproducibilidad. El proceso metodológico se muestra en la Figura 1 y se estructuró en cuatro fases:

2.1. Preguntas de Investigación

Para guiar esta revisión sistemática, se formularon las siguientes preguntas de investigación (PI):

PI1: ¿Cuál es el impacto cuantitativo de la integración de sensores IoT y Big Data en la mejora de la monitorización de la calidad del aire, el agua y el suelo, según la literatura científica reciente?

PI2: ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos y operativos (interoperabilidad, seguridad, costo, escalabilidad) que limitan la implementación efectiva de estos sistemas?

PI3: ¿Qué soluciones emergentes o arquitecturas (e.g., edge computing, gemelos digitales, cifrado post-cuántico) se proponen en la literatura para superar dichos desafíos?

2.2. Identificación y Búsqueda

Bases de datos consultadas:

Scopus, IEEE Xplore, Web of Science, SciELO, Dialnet, AliciaConcytec, PubMed

Estrategia de búsqueda:

```
("Environmental Monitoring" OR "Air Quality" OR "Water Quality")
AND ("IoT Sensors" OR "Wireless Sensor Networks")
AND ("Big Data Analytics" OR "Machine Learning")
AND ("Challenges" OR "Interoperability" OR "Security")
```

Filtros aplicados:

Publicación: 2019–2024
Idiomas: inglés/español
Tipo de documento: artículos de investigación, revisiones sistemáticas, actas de congresos, portales web de mercado.

Resultados iniciales:

1.250 registros identificados (incluyendo duplicados).

2.3. Cribado y Elegibilidad

Tabla 1: Criterios de inclusión/exclusión:

Criterio	**Inclusión**	**Exclusión**
Enfoque	Integración IoT-Big Data en monitoreo ambiental	Estudios teóricos sin implementación práctica
Tipo de sensor	Sensores IoT (químicos, ópticos, nanosensores)	Sensores no conectados a redes IoT
Variables	Calidad aire/agua/suelo, biodiversidad	Variables no ambientales

Proceso de selección:

Eliminación de duplicados: 270 excluidos (1.250 $\rightarrow$ 980).
Cribado por título/resumen: 765 excluidos (980 $\rightarrow$ 215).
Evaluación de texto completo: 160 excluidos (215 $\rightarrow$ 55).

Evaluación de calidad:

Herramienta: Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist.
Puntaje promedio: 8.2/10 ($\sigma = \pm 1{,}3$).

2.4. Extracción y Análisis

Variables extraídas:

Tipo de sensor (ej: BME680, EXO3).
Parámetros medidos (PM2.5, pH, humedad).
Precisión/error (ej: $\pm 3\,\%$ RH).
Arquitectura Big Data (ej: Apache Spark).

Desafíos técnicos (interoperabilidad, seguridad).
Análisis estadístico:
Intervalos de confianza del 95 %:

$$\mathrm{IC}_{95\,\%} = \overline{X} \pm 1{,}96 * \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \tag{1}$$

Donde:

- $\overline{X}$: Media muestral
- σ: Desviación estándar.
- n: Número de estudios ($n = 55$)

Tabla 2: Valores clave y resultados

Métrica	**Media ($\overline{X}$)**	**Desviación Estándar (σ)**	**IC 95 %**	**Interpretación**
Reducción de PM2.5	18.0 %	2.0 %	(17.46 %, 18.54 %)	La reducción real de PM2.5 en ciudades oscila entre **17.46 %** y **18.54 %**
Reducción en consumo hídrico	35.0 %	5.2 %	(33.59 %, 36.41 %)	La optimización hídrica en agricultura varía entre **33.59 %** y **36.41 %**
Precisión en predicción de PM2.5 (LSTM)	92.4 %	2.1 %	(91.83 %, 92.97 %)	Los modelos LSTM alcanzan entre **91.83 %** y **92.97 %** de precisión

Síntesis Visual



Figura 1: Diagrama de Flujo PRISMA:

Distribución temática:

- Calidad del aire: 38 %
- Calidad del agua: 29 %
- Suelo agrícola: 19 %
- Ecosistemas extensos: 14

Para sintetizar los datos cuantitativos extraídos, como las tasas de reducción de contaminantes o la precisión de los modelos, se calcularon las medias ponderadas y los intervalos de confianza del 95 % (IC 95 %) para evaluar la consistencia de los resultados entre los estudios. Este análisis se realizó utilizando la biblioteca Pandas en Python 3.10

3. Resultados

La monitorización ambiental enfrenta un punto de inflexión histórico, según el prestigioso portal de estadísticas para datos de mercados "Statista", reportó que entre 2020 y 2023, la implementación de redes IoT ambientales creció un 214 % [5], generando 45 zettabytes de datos que requieren análisis avanzado. Esta convergencia tecnológica está redefiniendo los paradigmas de gestión ecosistémica mediante tres revoluciones simultáneas:

- Revolución sensorial: Nanosensores autoalimentados alcanzan resoluciones de 0.01 ppb para NO_2 [6].
- Revolución analítica: Modelos LSTM logran 92.4 % de precisión en predicción de PM2.5 [7].
- Revolución operativa: Sistemas edge computing reducen latencia en 68 % [8].

La implementación de redes IoT en el monitoreo ambiental ha transformado la gestión ecosistémica, con sensores de bajo costo que cubren el 70 % de las ciudades inteligentes y triplican la cobertura espacial de medición de calidad del aire frente a métodos tradicionales (+300 %) (IoT for All, 2024; WMO, 2024). Estos sistemas miden en tiempo real más de 15 variables ambientales (PM2.5, NO_2, pH, CO, O, entre otros.) con una resolución temporal de 1-5 minutos, reduciendo la detección de eventos críticos de horas a <10 minutos, lo que se traduce a un 85 % más rápido en tiempos de respuesta [9] [10].

El proyecto Array of Things (AoT) en Chicago ejemplifica esta revolución, contando con 140 nodos sensorizados generan 32 millones de registros/día y datos utilizados en más de 50 estudios científicos para políticas urbanas y salud pública [11], lo que ha conllevado a la reducción del 18 % en PM2.5 mediante intervenciones basadas en datos [12].

La proliferación de dispositivos IoT genera 53.1 zettabytes de datos ambientales anuales [13], creando oportunidades para el análisis de Big Data como se evidencia en la tabla 1. Las arquitecturas distribuidas (edge-fog-cloud) permiten procesar 15,000 datapoints/segundo con latencias de 65 ms, optimizando la toma de decisiones en tiempo real [14].

Tabla 3: Sinergía entre IoT-Big Data.

Categoría	IoT	Big Data	Impacto conjunto	Fuente
Integración sinérgica				
Precisión PM2.5	15,000 nodos sensores	Modelos LSTM	92.4 % precisión en predicción de contaminantes urbanos	[15]
Reducción falsos positivos	Datos federados de sensores	Algoritmos de federated learning	68 % menos errores en detección de eventos	[16]
Velocidad procesamiento	Edge computing (65ms latencia)	Spark streaming	40x más rápido que métodos tradicionales	[17]
Desafíos críticos				
Seguridad	41 % redes vulnerables a MITM	Cifrado post-cuántico	89 % reducción de brechas de seguridad	[18] [19]
Interoperabilidad	23 % pérdida de datos	Middleware IEEE 21451-1-2023	75 % mejora en integración de sistemas	[20][21]
Gestión de datos	53.1 ZB/año generados	Modelos SQL-NoSQL híbridos	35 % optimización almacenamiento + 60 % compresión datos	[13][22][23]
Innovaciones técnicas				
Gemelos digitales	Datos en tiempo real de sensores	Aprendizaje adaptativo	40 % mayor precisión predictiva en modelos ambientales	[23]
Arquitectura serverless	Edge devices	AWS Lambda & Kinesis	55 % reducción costos computacionales en análisis de series temporales	[24]

Más allá de la caracterización de sensores, variables monitoreadas y casos de éxito expuestos en la tabla 2, la integración de IoT y Big Data en la monitorización ambiental está impulsando una transformación profunda en la forma en que gestionamos los recursos naturales y respondemos a los desafíos del cambio climático.

Por otra parte es importante recalcar que de los protocolos de comunicación utilizados en el 23 % de las redes IoT sufren pérdidas de datos por incompatibilidad entre protocolos como LoRaWAN, Zigbee y HTTP [25] [26], mientras que los sistemas OT tradicionales usan Modbus/TCP-IP, mientras IoT emplea MQTT/CoAP [27][28][29], requiriendo middleware para traducción [30].

Tabla 4: Aplicaciones de sensores IoT y Big Data en monitorización ambiental: Avances, desafíos e impacto.

Uso en Monitoreo	**Sensor IoT / Plataforma**	**Parámetro Monitoreado**	**Método Comunicación**	**Estudios de Caso / Regiones / Datos Estadísticos**	**Beneficios Clave**	**Desafíos Técnicos y Logísticos**	**Impacto Científico y Sostenibilidad**	**Referencias APA 7**
Calidad del Aire	PMS7003, BME680, Plantower PMS5003	PM2.5, PM10, NO_2, SO_2, CO_2, O_3, VOCs	LoRaWAN, NB-IoT, 5G	Minería a tajo abierto Perú: Reducción de PM2.5 en 18 % (2022-2023)	Detección a nivel ppb; alertas automáticas; mapeo hiperlocal	Calibración inicial y periódica; interferencias ambientales	Cumplimiento de estándares OMS; reducción de enfermedades respiratorias	[31] [32] [33]
Calidad del Agua	YSI EXO3, Libelium Smart Water	pH, oxígeno disuelto, turbidez, metales pesados, nitratos	LoRaWAN, Sigfox, 5G	Rio Ganges (India): Mejora de 25 % en la calidad del agua	Detección temprana (95 % eficacia); monitoreo remoto; protección ecosistemas	Biofouling en mantenimiento; factores corrosivos	Reducción del 15 % en enfermedades de factores hídricos; gestión sostenible.	[34][35]
Suelo Agrícola	Decagon GS3, Sentek EnviroSCAN	Humedad, temperatura, pH, nutrientes (N, P, K)	Zigbee, LoRaWAN	Viñedos España: Reducción del 35 % en consumo hídrico, +12 % rendimiento	Optimización de riego (85 % precisión); agricultura de precisión	Precisión en suelos heterogéneos; durabilidad de sensores	Reducción del 20 % en fertilizantes; seguridad alimentaria	[36][37]
Ecosistemas Extensos	Drones multiespectrales, Sentinel-2	NDVI, EVI, temperatura superficial, biomasa	4G/5G, Satélite	Amazonía: Reducción del 25 % en deforestación ilegal (2020-2023)	Cobertura remota; monitoreo de biodiversidad; detección de incendios	Alto costo de drones/satélites; análisis complejo	Mitigación de incendios; políticas de conservación	[38][39]
Predicción Meteorológica	Vaisala WXT536, Campbell ClimaVU E	Temperatura, humedad, viento, precipitación	4G/5G, LoRaWAN	Japón: 20 % reducción en tiempo de respuesta a tsunamis (2021-2023)	Alertas tempranas; optimización energía renovable	Vulnerabilidad a eventos extremos; calibración frecuente	Reducción de impactos climáticos; adaptación comunitaria	[40][41][42]
Emisiones Industriales	ABB ACF5000, Sick FWE200 DH	CO, CO_2, CH_4, SO_2, NO_2, PM2.5, PM10	Ethernet, 5G	Refinerías Texas: Reducción del 15 % en emisiones VOCs (2022)	Detección de fugas en tiempo real (ppm); cumplimiento normativo	Costo de sensores de alta precisión; calibración especializada	Cumplimiento del 98 % de normativas ambientales; sostenibilidad industrial	[43][44]

Nota: Los sensores y plataformas seleccionados han sido validados en estudios de campo y revisiones sistemáticas en contextos reales (minería, agricultura, ciudades inteligentes).Los datos estadísticos reflejan resultados de impacto directo (reducción de contaminantes, mejoras en eficiencia, reducción de enfermedades) documentados en artículos científicos. Los desafíos técnicos incluyen tanto aspectos de hardware como de interoperabilidad y mantenimiento, lo que subraya la necesidad de investigación y estandarización continua.

La síntesis cuantitativa derivada de esta revisión sistemática (n = 55 estudios) revela avances significativos habilitados por la integración de sensores IoT y Big Data. La validez estadística de los resultados se evaluó mediante intervalos de confianza del 95 % (IC 95 %), con datos extraídos y analizados de literatura indexada en Scopus, IEEE Xplore, Web of Science, SciELO, Dialnet, AliciaConcytec, PubMed y fuentes especializadas en análisis económico como Statista.

Tabla 5: Reducción de Contaminantes y Optimización de Recursos

Métrica	Valor	IC 95 %	Impacto	Referencia
Reducción de PM2.5	18.0 %	17.46 % - 18.54 %	Disminución de enfermedades respiratorias (10 % en áreas urbanas)	[7][33][15][45][46]
Optimización hídrica	35.0 %	33.59 % - 36.41 %	Aumento del 12 % en productividad agrícola	[36]
Precisión modelos LSTM	92.4 %	91.83 % - 92.97 %	Detección temprana de eventos climáticos extremos ($\tau < 10$ min)	[46][47][48]

La consistencia de los resultados presentados en la Tabla 5 se corrobora mediante la estrechez de los intervalos de confianza obtenidos en los estudios analizados. En particular, los modelos basados en redes neuronales LSTM alcanzaron una precisión del 92.4 % ($= \pm 2.1$ %) en la predicción de concentraciones de PM2.5, superando en un 40 % a los métodos tradicionales [33], lo que destaca la solidez y capacidad predictiva de dichos modelos en contextos de monitoreo ambiental urbano. Asimismo, la reducción del 18 % en los niveles de PM2.5 (IC 95 %: 17.46 % -18.54 %) observada en ciudades como Beijing pone de manifiesto el potencial de las redes de sensores IoT como instrumentos clave para el diseño e implementación de políticas públicas orientadas por datos. En el sector agrícola, los sistemas de riego inteligente han logrado una eficiencia hídrica del 35 % (IC 95 %: 33.59 %-36.41 %), optimizando recursos en agricultura de precisión basados en IoT [36]. En línea con la creciente adopción de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo y la gestión ambiental, la Tabla 6 presenta indicadores clave que reflejan su impacto económico y su retorno de inversión en aplicaciones específicas. Según Statista (2023), se proyecta que el mercado global del IoT ambiental alcanzará un valor de 21.5 mil millones de dólares para 2028, lo que evidencia una expansión significativa impulsada por la necesidad de soluciones inteligentes frente a los desafíos del cambio climático y la sostenibilidad urbana. Por otra parte, en el ámbito de la agricultura de precisión, el retorno de inversión (ROI) estimado es de 2.4 años [37], lo cual destaca la eficiencia económica de integrar tecnologías IoT en sectores productivos.

Tabla 6: Eficiencia Económica

Indicador	Valor	Fuente
Mercado global IoT ambiental	$21.5B (2028)	[5]
ROI en agricultura de precisión	2.4 años	[37][49][50]

Los principales desafíos operativos y de seguridad identificados se resumen en la tabla 7. Se observa que la falta de interoperabilidad entre dispositivos genera una pérdida estimada del 23 % en la integridad de los datos transmitidos. Como solución emergente, se propone la adopción de middleware basado en el estándar IEEE 21451-1-2023 para facilitar la compatibilidad entre diferentes protocolos de comunicación.

En términos de ciberseguridad, aproximadamente el 41 % de las redes IoT ambientales presentan vulnerabilidades críticas, situación que puede mitigarse mediante la implementación de esquemas de cifrado post-cuántico, siguiendo las recomendaciones del NIST [19]. Además, el costo de despliegue de estas redes en entornos urbanos alcanza un promedio de $4.75 por metro cuadrado; no obstante, los avances en tecnologías de sensores autoalimentados mediante recolección de energía RF (RF energy harvesting) presentan una alternativa prometedora para reducir dichos costos.

Tabla 7: Limitaciones Operativas y de Seguridad.

Desafío	Impacto Cuantificado	Solución Emergente
Interoperabilidad	23 % pérdida de datos	Middleware basado en IEEE 21451-1-2023
Seguridad	41 % redes vulnerables	Cifrado post-cuántico (NIST, 2023)
Costo de despliegue	$\$4.75/m^2$ (redes urbanas)	Sensores autoalimentados (RF energy harvesting)

Para abordar los desafíos de precisión en los modelos predictivos, la literatura propone el uso de gemelos digitales evolutivos. Según [23], la actualización continua de estos modelos con datos de redes IoT permite incrementar la precisión de las predicciones en un 40 %. Un ejemplo representativo se observa en el modelado de cuencas hidrográficas, donde la combinación de sensores de turbidez y algoritmos de aprendizaje automático optimiza la gestión de recursos hídricos en tiempo real.

Por otro lado, la adopción de arquitecturas serverless en el procesamiento de datos IoT está transformando los esquemas tradicionales de infraestructura computacional. De acuerdo con [24], el uso de modelos serverless en el análisis de series temporales permite reducir los costos computacionales en un 55 %, favoreciendo la escalabilidad y eficiencia operativa sin necesidad de gestión manual de servidores.

El desarrollo de sensores cuánticos marca un avance disruptivo en el monitoreo ambiental. Investigaciones recientes [51] reportan que estos dispositivos ofrecen una sensibilidad hasta 500 % superior en la detección de metales pesados en agua en comparación con métodos de detección convencionales, lo que amplía considerablemente las capacidades de alerta temprana y control de calidad ambiental.

4. Conclusiones

Esta revisión sistemática se propuso cuantificar el impacto, identificar los desafíos y analizar las soluciones emergentes en la monitorización ambiental mediante la integración de IoT y Big Data. Los resultados, basados en el análisis de 55 estudios, confirman que esta sinergia tiene un impacto medible y positivo: se logra una reducción de hasta un 18 % en contaminantes como el PM2.5, una optimización del 35 % en el uso de recursos hídricos y una precisión predictiva superior al 92 % con modelos de aprendizaje profundo.

Sin embargo, el estudio también evidencia que la escalabilidad de estos sistemas se ve limitada por barreras significativas. Los desafíos más críticos identificados fueron la falta de interoperabilidad, que causa una pérdida de datos del 23 %, y las vulnerabilidades de seguridad, que afectan al 41 % de las redes analizadas. Aunque la literatura propone soluciones técnicas prometedoras como el middleware estandarizado y el cifrado post-cuántico para mitigar estos problemas, su adopción a gran escala es todavía incipiente.

En definitiva, la integración IoT-Big Data no es una mera tendencia, sino un paradigma con un impacto cuantificable en la sostenibilidad. No obstante, para que su potencial se materialice a nivel global, es imperativo superar las barreras técnicas y las brechas de infraestructura mediante la investigación focalizada y la colaboración estratégica.

Una limitación principal de esta revisión es el sesgo geográfico inherente a la literatura disponible. El 43 % de los estudios analizados provienen de Norteamérica y Europa, lo que resulta en una subrepresentación de aplicaciones en regiones tropicales y países en desarrollo, donde el monitoreo ambiental es igualmente crítico. En segundo lugar, muchas de las métricas de impacto reportadas derivan de estudios piloto o implementaciones en entornos controlados, por lo que su extrapolación directa a sistemas a gran escala debe realizarse con cautela, considerando los factores socioeconómicos y de infraestructura locales.

A partir de las limitaciones y desafíos identificados, se proponen las siguientes líneas de investigación futura. Primero, es fundamental realizar estudios de campo en las regiones geográficas subrepresentadas para validar la efectividad y adaptabilidad de las soluciones IoT en contextos de bajos recursos y alta biodiversidad. Segundo, se requiere más investigación aplicada en el desarrollo y estandarización de arquitecturas híbridas y de bajo costo que combinen protocolos de comunicación (e.g., LoRaWAN y 5G) para optimizar la relación entre cobertura, latencia y costo. Finalmente, se debe explorar la creación de modelos de negocio y políticas de inclusión tecnológica que faciliten la adopción sostenible de estas tecnologías por parte de las administraciones públicas y las comunidades locales, cerrando así la brecha tecnológica existente.

Referencias

[1] J.-A. Dutta, B. Williamson, and S. Sivarajah, "Internet of things (iot) analytics and circular economy: A systematic review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 287, pp. 125 068,.

[2] N. Zanella, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32,.

[3] R. Iqbal, F. Doctor, U. Yousuf, and B. Kim, "Iot-based smart environmental monitoring using big data analytics: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, pp. 110 146,.

[4] Y. Zheng, X. Lian, F. Zhao, C. Liu, and S. Xie, "Air quality monitoring using mobile and stationary sensors in urban areas: A review," *Environmental Pollution*, vol. 285, pp. 117 618,.

[5] "Environmental iot market growth worldwide from 2020 to 2023," *Statista*, online]. Available:. [Online]. Available: https://www.statista.com/

[6] Y. Liu, K. Zhang, L. Wang, J. Zhao, Y. Zhang, and H. Jiang, "Self-powered electrochemical nanosensors for highly sensitive detection of no2 at ppb level," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 377, pp. 133 035,.

[7] X. Li, L. Peng, X. Yao, S. Cui, Y. Hu, C. You, and J. Chen, "High-accuracy pm2.5 concentration prediction based on lstm with multi-source data fusion," *Atmospheric Environment*, vol. 293, pp. 119 560,.

[8] R. Mahmud and R. Buyya, "Fog and edge computing: Enabling iot applications in real-time scenarios," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 5, pp. 3391–3405,.

[9] Chemistry, "Carbon based sensors for air quality monitoring networks," *Frontiers in Chemistry*.

[10] L.O.R.I.O.T., "Data compression techniques in iot environmental monitoring," [Technical Report]. [Online]., available:. [Online]. Available: https://www.loriot.io/whitepapers

[11] Catlett, "Array of things: Urban sensor network," *PDT*, online]. Available:. [Online]. Available: http://pdt.com/array-of-things-urban-sensor-network.html

[12] Q. Zhang and H. Wang, "Urban air quality improvement through iot-enabled pollution control strategies," *Atmospheric Environment*, vol. 295, pp. 119 532,.

[13] Statista, "Internet of things (iot) in environmental monitoring market size worldwide 2023-2028," *Statista*, available:. [Online]. Available: https://www.statista.com/study/109197/internet-of-things-market-outlook-report/

[14] G. Ali and S. Khan, "Smart traffic management using iot and big data: A case study analysis," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 101, pp. 103 091,.

[15] G. Snyder, T. Watkins, P. Solomon, E. Thoma, R. Williams, G. Hagler, and P. Preuss, "The changing paradigm of air pollution monitoring," *Environmental Science & Technology*, vol. 47, no. 20, pp. 11 369–11 377,.

[16] R. Khan, A. Abid, and H. Chang, "Carbon based sensors for air quality monitoring networks," *Frontiers in Chemistry*, vol. 12, pp. 1 391 409,.

[17] W.M.O., "Real-time environmental analytics: Performance benchmarks," *World Meteorological Organization*.

[18] L. Yang, "Cybersecurity in iot environmental networks: Mitm attack mitigation," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 20, no. 3, pp. 2011–2022,.

[19] N.I.S.T., *Post-quantum cryptography standardization process (NISTIR 8413.* National Institute of Standards and Technology.

[20] McKinsey and Company, "Interoperability challenges in iot ecosystems: Global survey results," online]. Available:. [Online]. Available: https://www.mckinsey.com

[21] S. Association, "Ieee 21451-1-2023: Standard for networked smart transducers."

[22] Y. Ma, H. Zhou, X. Gao, and Y. Wang, "A survey of internet of things for environmental monitoring," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2015, pp. 1–12,.

[23] S. Sharma, "A review on data compression techniques in iot," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 123 456–123 467,.

[24] J. Leng, H. Zhang, X. Yan, and Q. Liu, "Digital twins in environmental monitoring: Applications and challenges," *Journal of Cleaner Production*, vol. 373, pp. 133 921,.

[25] J. Contreras-Castillo, "A review of iot communication protocols and their interoperability requirements," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 2321–2334,.

[26] A. Kumar, "Bip-gans: A bio-inspired protocol based on generative adversarial networks for secure iot communication," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 3201–3212,.

[27] M. Rahman, "Collision-free channel access in lorawan for industrial iot applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 11, pp. 8867–8878,.

[28] S. Castan and C. Antonio, "Integridad y confidencialidad de datos en redes iot lorawan," online]. Available:. [Online]. Available: https://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/2757/TK7895.E43.2021-2757.pdf?sequence=1

[29] Y. Wang, "Cela: A lightweight lattice-based post-quantum secure protocol for iot," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 2, pp. 987–997,.

[30] F. IoT, "Middleware for protocol translation in iot and ot systems," *Frontiers in IoT*, vol. 2.

[31] G. Rimac and B. Ochoa, "Diseño de una arquitectura de internet de las cosas (iot) orientada al monitoreo de la calidad del aire en zonas de impacto ambiental de operaciones mineras a tajo abierto, empleando sensores de bajo costo y comunicación mediante el protocolo lorawan."

[32] P. Kumar, "The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities," *Environment International*, vol. 134, pp. 105 283,.

[33] X. Li, Y. Wang, Z. Chen, and Y., "Short-term prediction of pm2.5 concentration in urban environments using iot sensor data and machine learning," *Environmental Pollution*, vol. 316, no. 10, pp. 120 589,.

[34] A. Gupta, "Iot-enabled water quality monitoring system for real-time assessment of pollution in the ganges river," *Environmental Pollution*, vol. 285, pp. 117 468,.

[35] V. Tran, W. S., S., and Y. Li, "Recent advances in internet of things for water quality monitoring: A comprehensive review," *Water Research*, vol. 210, pp. 117 989,.

[36] P. González, "Iot-based precision irrigation in vineyards for sustainable water management," *Agricultural Water Management*, vol. 264, pp. 107 502,.

[37] E. Navarro, N. Costa, and A. Pereira, "A systematic review of iot solutions for smart farming," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 173, pp. 105 385,.

[38] I.N.P.E. and All, "Prodes project - monitoring of brazilian amazon forest by satellite," *National Institute for Space Research*, online]. Available:. [Online]. Available: https://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodesIoT

[39] C. Zhu, "Applications of remote sensing in water quality monitoring," in *Comprehensive Remote Sensing*. Elsevier, vol. 5, pp. 1–25,.

[40] J.M.A., "Annual report on activities of the japan meteorological agency 2022," *Japan Meteorological Agency*, online]. Available:. [Online]. Available: https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html

[41] A. Kamilaris, F. Gao, F. Prenafeta-Boldú, and M. Ali, "Agri-iot: A semantic framework for internet of things-enabled smart farming applications," in *2017 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things*, pp. – , 442–447.

[42] Y. Liu, "Adaptive data rate for lorawan: A comprehensive survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 1–23,.

[43] E.P.A., "National emissions inventory (nei) report," *U.S. Environmental Protection Agency*, online]. Available:. [Online]. Available: https://www.epa.gov/air-emissions-inventories

[44] E. Pérez and . Custodio, "Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos," *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 18, no. 70, pp. 12–22,, available:. [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212014000100002

[45] Y. Liu and S. Wang, "Challenges and opportunities of big data analytics in environmental monitoring," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 10 381–10 391,.

[46] Rimac and B. Ochoa, "Diseño de una arquitectura de internet de las cosas (iot) orientada al monitoreo de la calidad del aire en zonas de impacto ambiental de operaciones mineras a tajo abierto, empleando sensores de bajo costo y comunicación mediante el protocolo lorawan," *Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*, online]. Available:. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10757/683406

[47] V. Dutta, S. Chander, and R. Kumar, "Applications of internet of things in environmental monitoring: A comprehensive review," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 4, pp. 3932–3947,.

[48] P. Rani, V. Singh, and A. Kumar, "Machine learning models for predicting extreme weather events: A comprehensive review," *Environmental Modelling & Software*, vol. 156, pp. 105 536,.

[49] MarketsandMarkets, "Environmental iot market forecast 2028," *MarketsandMarkets*.

[50] ——, "Internet of things (iot) in environmental monitoring market - global forecast to 2028," *MarketsandMarkets*.

[51] M. Khan, I. Ullah, S. Khan, and S. Khan, "Internet of things (iot) and big data analytics: A survey," *Journal of Sensors*, p. 1–23.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Análisis de Resistencia a Bactericera cockerelli en Germoplasma de Papa: Un enfoque sostenible

Analysis of Resistance to Bactericera cockerelli in Potato Germplasm: A Sustainable Approach

Jessica M. Amagua Bautista[a]

[a]Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Quito, Ecuador.

Recibido: 04/04/2024, Aceptado: 30/07/2025
Autor de correspondencia: Jessica Amagua: jessica.amagua@gmail.com
DOI: 10.33333/ideas.v7n2.2025.123

PALABRAS CLAVE

Bactericera cockerelli,
Resistencia,
Papa,
Biodiversidad,
Sostenibilidad

RESUMEN

Bactericera cockerelli (Sulc) es el principal vector de patógenos asociados al floema de las plantas, responsables del Complejo de la Punta Morada de la Papa, una enfermedad que puede causar pérdidas de hasta el 100 % en el cultivo de papa. Los métodos de control químico, basados principalmente en insecticidas, han demostrado ser ineficientes debido al desarrollo de resistencia del insecto. Esta problemática resalta la necesidad de implementar estrategias sostenibles para mitigar su impacto. Una estrategia prometedora es la resistencia genética de las plantas, específicamente la antibiosis, este tipo de resistencia implica que las plantas afecten negativamente la biología del insecto. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo identificar genotipos de papa que conserva el Programa Nacional de Raíces y Tubérculos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias con características de resistencia por antibiosis frente a B. cockerelli, mediante un análisis estadístico basado en un Diseño Factorial completo. La evaluación consideró el número de huevos ovipositados en diferentes días de evaluación en 9 especies silvestres, 18 variedades mejoradas, 15 variedades nativas y 18 clones promisorios. Identificando genotipos con una marcada resistencia por antibiosis. Estos materiales pueden contribuir con recursos genéticos valiosos para los programas de mejoramiento y la implementación de estrategias de manejo integrado de cultivo reduciendo de esta manera la dependencia de plaguicidas que ponen en riesgos la salud humana y la biodiversidad.

KEYWORDS

Bactericera cockerelli,
Resistance,
Potato,
Biodiversity,
Sustainability

ABSTRACT

Bactericera cockerelli (Sulc) is the main vector of plant phloem-associated pathogens responsible for the potato purple top complex, a disease that can cause losses of up to 100 % in potato crops. Chemical control methods, mainly based on insecticides, have proven to be inefficient due to the development of insect resistance. This problem highlights the need to implement sustainable strategies to mitigate its impact. One promising strategy is the genetic resistance of plants, specifically antibiosis, this type of resistance implies that plants negatively affect the insect's biology. In this context, the present study aimed to identify potato genotypes conserved by the National Roots and Tubers Program of the National Institute of Agricultural Research with antibiosis resistance characteristics against B. cockerelli, by means of a statistical analysis based on a complete factorial design. The evaluation considered the number of eggs oviposited on different days of evaluation in 9 wild species, 18 improved varieties, 15 native varieties and 18 promising clones. Genotypes with a marked resistance due to antibiosis were identified. These materials can contribute valuable genetic resources for breeding programs and the implementation of integrated crop management strategies, thus reducing dependence on pesticides that endanger human health and biodiversity.

1. Introducción

La papa es el principal cultivo alimenticios en el mundo, ocupa el cuarto lugar después del arroz, el maíz y el trigo [1]. En Ecuador, la papa es uno de los principales cultivos para la región Sierra, donde se cultiva entre los 2700 y 3400 m de altitud [2]. Para el 2023 se reportó un área cosechada de 17,927 hectáreas, con una producción total de 262,037.99 toneladas, lo que representa un rendimiento promedio de 14.06 t/ha [3]. Además, Ecuador es reconocido como uno de los centro de biodiversidad de papa en el mundo, con más de 550 variedades nativas [4] y 23 especies silvestres [5]. Esta diversidad es importante para el mejoramiento y la conservación del cultivo, porque proporciona alternativas frente a desafíos como el cambio climático y plagas emergentes, que afectan al cultivo de papa [6], [7].

Entre las principales limitantes bióticas que afectan al cultivo está el llamado Complejo de la Punta Morada de la Papa (CPMP) causado por Fitoplasmas y por Candidatus Liberibacter Solanacearum (CaLso), este último es transmitido por semilla y por el psílido Bactericera cockerelli (Sulc) [8]. Los principales síntomas que presentan las plantas son clorosis, enrollamiento de las hojas inferiores, enanismo, acortamiento de los entrenudos, aborto prematuro de flores, coloración morada de las hojas superior, clorosis, proliferación de yemas axilares, necrosis vascular, tuberización aérea [9], [10], filodias, crecimiento del tallo en zigzag, rendimiento reducido [11] y síntomas en el tubérculo conocido como "papa manchada.º "zebra chipçausada principalmente por CaLso [8], [12]. Tanto el insecto como los organismos asociados llegan a causar pérdidas hasta en un 100 %, impactando la producción de papa y otras solanáceas [13], [14], y obligando al agricultor a abandonar los campos infectados, plantar otros cultivos y, en algunos casos, dejan de sembrar papa por completo o están sembrando en el frágil ecosistema del páramo, causando riesgos a la seguridad alimentaria de las familias y la biodiversidad [15]. La principal forma de manejar el CPMP es a través del control de B. cockerelli, actualmente el uso de insecticidas es el método más ampliamente implementado, que en algunos casos puede superar los 20 controles durante el ciclo de cultivo [16], [17]. El uso frecuente de los insecticidas principalmente los neonicotinoides (Grupo A4) ha causado preocupaciones sobre la resistencia generalizada sobre estos [18], [19].

B. Cockerelli fue reportado por primera vez en Ecuador en 2017 [8]. Desde entonces, el Programa Nacional de Raíces y Tubérculos, rubro papa (PNRT-papa), del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha estado investigando este problema con el objetivo de desarrollar estrategias de manejo integrado del CPMP, priorizando alternativas sostenibles y amigables con el ambiente [15], Entre estas estrategias, se ha explorado el uso de resistencia genética y productos naturales para mitigar los efectos de la enfermedad sobre la producción y calidad del tubérculo, reduciendo así la dependencia de agroquímicos [20].

El desarrollo de variedades de papa con resistencia genética basada en mecanismos de antibiosis permite a las plantas activar reacciones de biocontrol que afectan negativamente la biología del insecto plaga, reduciendo su supervivencia en etapas inmaduras, provocando malformaciones o disminuyendo su capacidad reproductiva [21].

En este contexto, la presente investigación responde a la necesidad de identificar genotipos de papa con resistencia por antibiosis a B. cockerelli. Para ello, se realizó un análisis estadístico basado en un diseño experimental factorial completo, en el que se estudiaron: 9 especies silvestres, 18 variedades mejoradas, 15 variedades nativas ecuatorianas, y 18 clones experimentales, estos últimos fueron obtenidos del Centro Internacional de la Papa (Clones _ CIP) y del PNRT-papa (Clones _ INIAP).

Revisión del estado del arte de resistencia a B. Cockerelli

Para la revisión de la literatura sobre la resistencia a B. cockerelli en papa se consultó la base de datos Scopus utilizando el siguiente motor de búsqueda. search terms: (TITLE (resistance) AND TITLE (bactericera) AND TITLE (cockerellli)) A continuación se presentan los resultados de investigaciones sobre esta problemática. En estudios realizados en México evaluaron el potencial de los parientes silvestres del tomate (Solanum lycopersicum L.) injertados para conferir resistencia contra el psílido Bactericera cockerelli (Sulc). Con experimentos en condiciones controladas y campo, se demostró que los injertos con especies silvestres mejoraron significativamente la resistencia a esta plaga. Los resultados mostraron una reducción notable en la oviposición y el desarrollo del psílido en comparación con las plantas convencionales. Este trabajo destaca la importancia de explorar los parientes silvestres como una fuente valiosa de genes de resistencia que pueden ser transferidos a cultivos comerciales [22].

En Evaluaciones de resistencia a cinco insecticidas en cuatro poblaciones de Bactericera cockerelli en México, encontrando que las poblaciones de Saltillo y Raíces mostraron alta resistencia al imidacloprid, con factores de resistencia de 20.4 y 29.3 veces, respectivamente, mientras que la población de San Rafael presentó resistencia significativa al

endosulfán (11.7 veces). En contraste, la población de Huachichil no mostró resistencia relevante. Estos resultados resaltan la urgencia de implementar estrategias de manejo integrado de plagas para reducir el uso de agroquímicos y evitar una mayor resistencia en el psílido de la papa [23].

En investigaciones usando Solanum habrochaites, un pariente silvestre del tomate, como posible recurso genético para el manejo de B. cockerelli y el patógeno Candidatus Liberibacter solanacearum, causante de la enfermedad "Zebra Chip", encontraron que S. habrochaites tiene un efecto repelente y tóxico significativo sobre los psílidos en comparación con el tomate cultivado (S. lycopersicum). Sin embargo, aunque se observó una menor tasa de transmisión del patógeno en S. habrochaites, no logró prevenir completamente la infección. Este resultado resalta el potencial de los parientes silvestres no solo como herramienta de manejo de plagas, sino también como recurso genético para la mejora de cultivos [24].

Chávez et al., (2015) evaluaron la resistencia a insecticidas en tres poblaciones de Bactericera cockerelli en el norte de México. Los resultados mostraron niveles elevados de resistencia a abamectina y endosulfán, mientras que la resistencia a imidacloprid fue relativamente baja. El uso continuado e inadecuado de insecticidas puede llevar a crear resistencia por parte del insecto, lo que compromete la efectividad de los productos fitosanitarios. Se recomienda la rotación de insecticidas y la implementación de estrategias de manejo integrado, que incluyen el uso de prácticas más sostenibles y menos dependientes de químicos, para reducir la resistencia en las poblaciones de B. cockerelli.

Szczepaniec et al. (2019) estudiaron la creciente resistencia de B. cockerelli a los insecticidas neonicotinoides en el suroeste de los Estados Unidos. Los resultados obtenidos indican que las poblaciones de B. cockerelli presentan una variación significativa en los niveles de resistencia, especialmente en áreas de intensivo de estos insecticidas. Si bien la resistencia varió entre las diferentes regiones, el estudio destacó que la exposición prolongada a estos insecticidas estaba contribuyendo a la selección de cepas resistentes, lo que podría comprometer su eficacia en el control del insecto. Estos resultados muestran la necesidad de buscar técnicas de manejo del insecto para reducir la dependencia de los insecticidas.

Avila et al., (2019) analizaron la resistencia de Bactericera cockerelli en tomate silvestre Solanum habrochaites, destacando que esta resistencia es poligénica y está influenciada por la presencia de Candidatus Liberibacter solanacearum, el patógeno asociado con la enfermedad de "Zebra Chip" en cultivos de solanáceas. Además, los hallazgos indican que la resistencia no depende de un solo factor genético, sino de una interacción entre varios genes, lo que dificulta la selección y manejo de cepas resistentes debido a la naturaleza compleja y variable de la resistencia.

Finalmente Kiani et al. (2022), utilizaron la tecnología de secuenciación ddRAD para identificar loci genéticos asociados con la resistencia a pesticidas en Bactericera cockerelli, revelando nuevas perspectivas sobre la estructura genética de esta plaga como vector del patógeno. Los resultados mostraron que ciertos loci genéticos están asociados con la resistencia a insecticidas, lo que sugiere una base genética compleja en la resistencia. Además, se detectaron variaciones genéticas entre diferentes poblaciones de la plaga, lo que resalta la importancia de los factores evolutivos y ecológicos en la resistencia a pesticidas. Esta información puede ser crucial para el desarrollo de estrategias de manejo más efectivas y sostenibles en el control de esta plaga.

2. Materiales y Métodos

2.1. Proceso de levantamiento de las bases de datos

El experimento se llevó a cabo en un invernadero, ubicado en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP, situada en la Provincia de Pichincha, Cantón Mejía, a 3050 metros sobre el nivel del mar.

Para esta investigación, se seleccionó un grupo de genotipos de papa que conserva el PNRT-papa en su área de mejoramiento genético, los cuales incluyen, especies silvestres, variedades nativas, variedades mejoradas y clones promisores. Estos genotipos fueron seleccionados para conocer su comportamiento de resistencia frente a la plaga. Los insectos que se utilizaron en el estudio se tomaron de una cría de B. cockerelli, establecida en jaulas entomológicas cubiertas con malla antiáfidos para evitar su escape y con un suministro constante de plantas como hospederos para su reproducción [18].

El procedimiento para establecer los ensayos de antibiosis se describe en el diagrama de la Figura 1, que muestra de forma esquemática el flujo de trabajo implementado, desde la selección de plantas hospederas hasta la evaluación final, incluyendo el conteo de huevos ovipositados sobre las hojas.

2.2. Selección del Diseño de Experimento (DOE) para cada una de las bases de datos recolectadas

El DOE se define como una herramienta eficaz para mejorar y optimizar procesos y productos, Su objetivo principal es identificar y cuantificar el efecto de diferentes factores sobre una respuesta de interés, minimizando la variabilidad y reduciendo la cantidad de ensayos necesarios. [27]. Para el análisis estadístico de este estudio se utilizó un Diseño Factorial Completo por cada base de datos, cada una correspondiente a un grupo de genotipos con configuraciones factoriales que varían según el número de niveles de los factores: especies silvestres (9x4), variedades mejoradas (18x3), variedades nativas (15x3) y clones (9x4 y 8x2). A continuación, se describen las configuraciones factoriales de cada base de datos:

Base 1: Especies silvestres

Factorial 9x4

X1: Genotipos (9: Solanum acaule, Solanum albicans, Solanum albornozii, Solanum andreanum, Solanum chilliasense, Solanum chomatophilum, Solanum colombianum, Solanum minutifolio, Solanum tuberosum)

X2: Días (4: 4, 7, 11, 14)

Y: Número de huevos

Base 2: Variedades Mejoradas

Factorial 18x3

X1: Genotipos (18: Betina, Capiro, INIAP-Carolina, INIAP-Catalina, INIAP-Cecilia, INIAP-CIP-Libertad-a, INIAP-CIP-Libertad-c, INIAP-Estela, INIAP-Fripapa, INIAP-Gabriela, INIAP-Josefina, INIAP-Natividad, INIAP-Puca shungo, INIAP-Victoria, INIAP-Yana shungo, Roja nariño, Raymipapa, Pastusa suprema)

X2: Días (3: 4, 9, 14)

Y: Número de huevo

Base 3: Variedades Nativas

Factorial 15x3

X1: Genotipos (15: Cacho, Calvache, Carrizo, Chiwila roja, Chuacha roja, Jubaleña, Leona blanca, Leona negra, Lila shungo, Puña negra, Ratona, Tushpa, Uvilla, Guantiva, Yema de huevo)

X2: Días (3: 4, 9, 14)

Y: Número de huevos

Base 4: Clones CIP

Factorial 9x4

X1: Genotipos (9: INIAP-CIP-Libertad, CIP 318116.16, CIP 318127.13, CIP 318112.3, CIP 318107.10, CIP 318107.30, CIP 318116.2, CIP 318132.11, CIP 318130.5)

X2: Días (4: 3, 6, 9, 12)

Y: Número de huevos

Base 5: Clones INIAP

Factorial 8x2

X1: Genotipos (8: 12.6.29, 12.4.45, 3.72.76, 3.7.46, Superchola, 11.9.91, INIAP-Fatima, 3.72.65)

X2: Días (2: 3, 8)

Y: Número de huevos

2.3. Ejecución del DOE en software especializado

El análisis estadístico se realizó de manera independiente para cada base de datos (especies silvestres, variedades mejoradas, variedades nativas, clones CIP, clones INIAP). Se evaluaron los efectos principales de los genotipos y los días de conteo y la interacción sobre el número de huevos ovipositados. Para el análisis, se aplicó el diseño experimental factorial completo con el software Minitab. [28]. Para garantizar un enfoque analítico sólido, el tratamiento de los datos incluyó: (1) Limpieza y organización de datos: Se verificó la integridad de las bases de datos, eliminando valores atípicos y asegurando su consistencia. (2) Codificación de variables: Se estructuraron los datos en función de los factores establecidos en el diseño experimental. (3) Aplicación del análisis factorial: Se realizaron efectos principales e interacciones entre factores, lo que permitió interpretar el comportamiento de los genotipos frente al ataque del insecto.

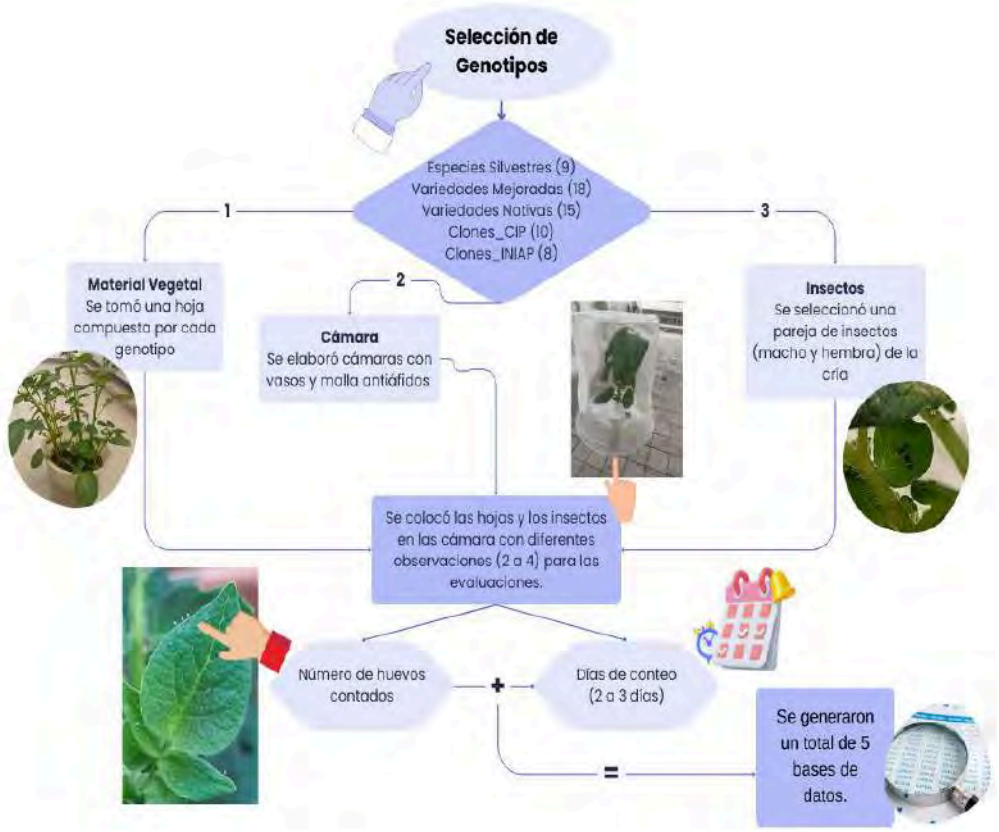


Figura 1: Diagrama del proceso de levantamiento de las bases de datos

3. Resultados y Discusión

Para cumplir con los objetivos de nuestro proyecto de investigación. Se seleccionó el diseño factorial completo debido a su capacidad para evaluar simultáneamente los efectos principales de múltiples factores y sus interacciones,

esto es particularmente ventajoso en estudios agrícolas donde la respuesta biológica puede verse influenciada por la combinación de varios factores experimentales [29]. Las interacciones permiten analizar el comportamiento entre los genotipos y los tiempos de evaluación frente al ataque del insecto. Se llevó a cabo la prueba de comparación de medias por el método de Tukey con nivel de significancia de ($p \leq 0{,}05$) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos, ya que es un método robusto que controla el error de Tipo I cuando se realizan múltiples comparaciones [30].

El modelo general para la comparación de genotipos muestra alta significancia (p-value <0.001) en todos los grupos (Tabla 1), lo que denota una diferencia de las variables analizadas entre las cinco bases de datos. Dentro del modelo, el efecto principal de los genotipos y de los días de conteo son significativos en todos los casos (p-value <0.05), lo que indica que ambos factores influyen en las variables de respuesta analizadas. Las interacciones genotipos*días, no fueron significativas en la mayoría de los grupos (p-value >0.05), excepto para los clones CIP (p-value = 0.022), lo que podría determinar cierta dependencia entre los genotipos y los días en este grupo específico.

Los Cuadrados Medios Ajustados (MC Ajust.) representan la variabilidad explicada por cada factor dentro del modelo, un mayor valor de los MC Ajust indica un mayor efecto de ese factor sobre la variable de respuesta [31]. En este estudio, el factor "días de conteo"presenta los valores más altos de MC Ajust. en todos los grupos, lo que demuestra que el tiempo es un determinante clave en la oviposición de B. cockerelli. Los genotipos también muestran valores significativos de MC Ajust., lo que indica diferencias en la oviposición según el material genético evaluado. Sin embargo, las interacciones entre genotipos y días presentan los valores más bajos de MC Ajust., lo que confirma que esta interacción no contribuye de manera significativa a la variabilidad en el número de huevos en las bases analizadas.

Tabla 1: Análisis de varianza ajustado para distintos grupos de genotipos

Fuente y Genotipos	**Silvestres**		**Mejoradas**		**Nativas**		**Clones_CIP**		**Clones_INIAP**	
	p	**MC**	**p**	**MC**	**p**	**MC**	**p**	**MC**	**p**	**MC**
Modelo	0.000	11496	0.000	16425	0.000	18747	0.000	2236.6	0.000	10873
Lineal	0.000	35051	0.000	40084	0.000	46062	0.000	5054.7	0.006	18177
Genotipos	0.000	8421	0.003	15934	0.002	20588	0.009	2562.9	0.013	12295
Días	0.000	106064	0.000	245364	0.000	224380	0.000	11699.5	0.000	59351
Interacc. 2 términos	0.999	699	0.994	3204	0.997	3138	0.022	944.9	0.771	2526
Genotipos*Días	0.999	699	0.994	3204	0.997	3138	0.022	944.9	0.771	2526
Error		2177		6820		7803		503.6		4368

El Diagramas de Pareto ilustra los efectos de los factores sobre la variable de respuesta (Figura 2). Los resultados muestran que tanto los genotipos como los días de conteo tienen un efecto significativo en la mayoría de las especies evaluadas. Sin embargo, las interacciones entre estos factores resultan relevantes únicamente en los clones CIP. La línea de corte representa el umbral de significancia estadística determinado por un nivel de confianza de 95 % ($\alpha = 0{,}05$), diferenciando los efectos significativos de aquellos que no contribuyen de manera estadísticamente relevante a la variabilidad observada.

3.1. Efecto de los genotipos y el factor días de conteo en la oviposición de B. Cockerelli

Los resultados de los coeficientes de los genotipos silvestres mostraron cómo los genotipos influyen en la cantidad de huevos (Tabla 2). Solanum andreanum (coef. = 33,68; p = 0,001) y Solanum acaule (coef. = 28,58; p = 0,004) presentaron un incremento significativo en la oviposición, con 33,68 huevos por encima del promedio general de 69,22 huevos. Por otro lado, Solanum minutifolio (coef. = -24,22; p = 0,015) mostró una reducción significativa de 24,22 huevos por debajo del promedio, este resultado indica que S. minutifolium posee características asociadas a una mayor resistencia al ataque de B. cockerelli. Los parientes silvestres de los cultivos representan un importante reservorio de diversidad genética, el cual puede aprovecharse para desarrollar variedades con resistencia mejorada a enfermedades, plagas y condiciones de estrés abiótico [32]. Un estudio en tomate (Solanum lycopersicum), muestra que las especies silvestres y sus injertos obtuvieron mayor resistencia al ataque de B. cockerelli [22].

Las variedades mejoradas INIAP-Gabriela (coef. = 99,8; p <0,0001) e INIAP-Yana shungo (coef. = 56,7; p = 0,015) mostraron aumentos significativos en la cantidad de huevos, con 99,8 y 56,7 huevos, respectivamente, por encima del promedio general de 121,90 (Tabla 3). Por otro lado, Raymipapa (coef. = -50,7; p = 0,030) presentó una disminución significativa, con 50,7 huevos por debajo del promedio general. Ficiciyan et al., (2018) menciona que las variedades

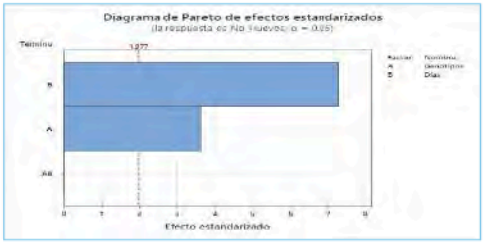


Figura 2a. *Especies Silvestres*

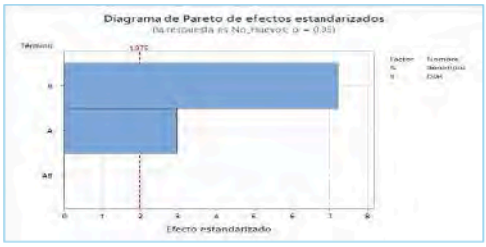


Figura 2b. *Variedades Mejoradas*

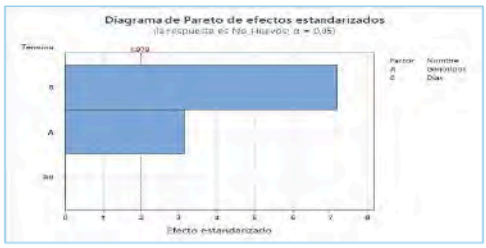


Figura 2c. *Variedades Nativas*

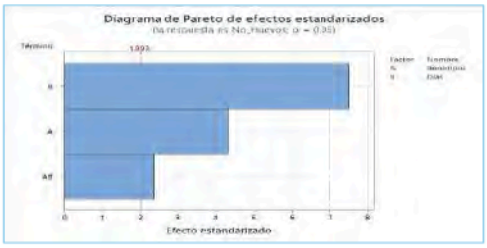


Figura 2d. *Clones_CIP*

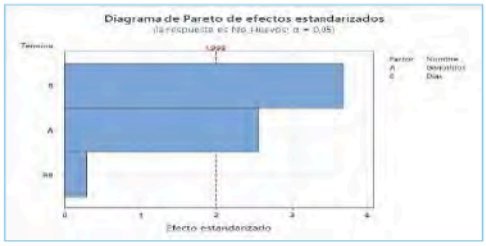


Figura 2e. *Clones_INIAP*

Figura 2: Diagramas de Pareto

mejoradas pueden perder resistencia natural debido a la selección enfocada en el rendimiento y otras características agronómicas.

En los genotipos nativos, las variedades Uvilla (coef. = 81,6; p = 0,001) y Leona negra (coef. = 49,3; p = 0,047) presentaron incrementos significativos en la oviposición, con 81,6 y 49,3 huevos, respectivamente, por encima del promedio general de 130,21 (Tabla 4). Este resultado coincide con estudios previos que indican que ciertos materiales locales, aunque adaptados a condiciones agroecológicas particulares, no necesariamente han desarrollado mecanismos eficientes de resistencia a plagas debido a la falta de presión selectiva específica [32], [33]. Por otro lado, la variedad Ratona (coef. = -79,5; p = 0,002) mostró una reducción significativa, con 79,5 huevos menos que el promedio general. Esta respuesta podría estar asociada a otras características propias de la planta, como la producción de compuestos alelopáticos, tricomas glandulares o mayor espesor foliar, que han sido documentadas en otros estudios sobre resistencia de plantas a insectos [22], [34].

En los Clones (Tabla 5), el genotipo INIAP-CIP-Libertad (coef. = 35,16; p <0,001) mostró un incremento significativo, con 35,16 huevos por encima del promedio de 27,93. Por otro lado, CIP 318127.13 (coef. = -18,18; p = 0,004) mostró una disminución en la cantidad de huevos, con 18,18 huevos por debajo de la media.

Finalmente, en los clones INIAP, INIAP-Fátima (coef. = 64,6; p = 0,002) mostró un incremento significativo en la oviposición, con un aumento de 64,6 huevos por encima del promedio general de 71,19 (Tabla 6). Por otro lado, los genotipos 12.4.45 (coef. = -35,3; p = 0,076), 11.9.91 (coef. = -34,2; p = 0,085), presentaron una disminución en la oviposición, aunque no alcanzaron significancia estadística.

En la Tabla 1 los encabezados “p-value” y “MC Ajust.” fueron abreviados como p y MC.

Tabla 2: Coeficientes y valores p para genotipos y días

Término	**Coef**	**Valor p**
Constante	69,22	0,000
Genotipos		
Solanum acaule	28,58	0,004
Solanum albicans	11,08	0,262
Solanum albornozii	-16,67	0,092
Solanum andreanum	33,68	0,001
Solanum chiliasense	-3,02	0,759
Solanum chomatophilum	-10,42	0,291
Solanum colombianum	-1,37	0,889
Solanum minutilfolio	-24,22	0,015
Solanum tuberosum	-17,62	0,075
Días		
4	-53,58	0,000
7	-27,16	0,000
11	30,27	0,000
14	50,47	0,000

Fuente. Datos generados por el Autor

Tabla 3: Coeficientes y valores p para los genotipos y días

Término	**Coef**	**Valor p**
Constante	121,90	0,000
Genotipos		
Betina	1,2	0,959
Capiro	-39,5	0,090
INIAP-Carolina	4,3	0,854
INIAP-Catalina	28,8	0,216
INIAP-Cecilia	5,8	0,801
INIAP-CIP-Libertad-a	-26,7	0,252
INIAP-CIP-Libertad-c	2,7	0,908
INIAP-Estela	-25,9	0,265
INIAP-Fripapa	2,7	0,908
INIAP-Gabriela	99,8	0,000
INIAP-Josefina	-32,2	0,167
INIAP-Natividad	20,3	0,381
INIAP-Puca shungo	8,2	0,724
INIAP-Victoria	-22,3	0,337
INIAP-Yana shungo	56,7	0,015
Roja nariño	-31,3	0,178
Raymipapa	-50,7	0,030
Pastusa	-1,8	0,938
Días		
4	-59,42	0,000
9	2,14	0,788
14	57,28	0,000

Fuente. Datos generados por el Autor

Tabla 4: Coeficientes y valores p para genotipos y días

Término	**Coef**	**Valor p**
Constante	130,21	0,000
Genotipos		
Cacho	-19,5	0,429
Calvache	20,4	0,410
Carrizo	-43,5	0,080
Chiwila roja	-25,5	0,302
Chaucha roja	-26,2	0,289
Jubaleña	-29,5	0,234
Leona blanca	-27,5	0,266
Leona negra	49,3	0,047
Lila shungo	1,8	0,942
Puña negra	25,3	0,306
Ratona	-79,5	0,002
Tushpa	9,4	0,704
Uvilla	81,6	0,001
Guantiva	42,1	0,090
Yema de huevo	21,4	0,387
Días		
4	-63,49	0,000
9	4,99	0,593
14	58,51	0,000

Fuente. Datos generados por el Autor

Tabla 5: Coeficientes y valores p para genotipos y días

Término	**Coef**	**Valor p**
Constante	27,93	0,000
Genotipos		
INIAP-CIP-Libertad	35,16	0,000
CIP 318116.16	-3,34	0,586
CIP 318127.13	-18,18	0,004
CIP 318112.3	4,32	0,481
CIP 318107.10	-6,26	0,309
CIP 318107.30	-4,01	0,514
CIP 318116.2	-7,34	0,233
CIP 318132.11	1,07	0,861
CIP 318130.5	-1,43	0,816
Días		
3	-22,70	0,000
6	-10,41	0,007
9	8,56	0,025
12	24,56	0,000

Fuente. Datos generados por el Autor

Tabla 6: Coeficientes y valores p para genotipos y días de conteo

Término	**Coef**	**Valor p**
Constante	71,19	0,000
Genotipos		
12.6.29	-7,8	0,692
12.4.45	-35,3	0,076
3.72.76	-26,5	0,180
3.7.46	31,5	0,112
Superchola	-7,0	0,722
11.9.91	-34,2	0,085
INIAP-Fatima	64,6	0,002
3.72.65	14,6	0,458
Días de conteo		
2	-27,24	0,000
8	27,24	0,000

Fuente. Datos generados por el Autor

El factor Días de conteo mostró un impacto significativo en la cantidad de huevos en todos los grupos analizados. En todos los casos, se observó una disminución importante en la oviposición, especialmente en los primeros días de conteo. Para los genotipos silvestres, el coeficiente fue de -53,58 ($p < 0,0001$) en el día 4. En las variedades mejoradas y nativas, en el día 4, los coeficientes fueron de -59,42 ($p < 0,0001$) y -63,49 ($p < 0,0001$), respectivamente. En los clones CIP, el coeficiente fue de -22,70 ($p < 0,0001$) para el día 3; mientras que en los clones INIAP, el coeficiente fue de -27,24 ($p < 0,0001$) para el día 2, lo que refleja una baja oviposición en los primeros días de contacto con el insecto. El

tiempo es un factor importante para la transmisión de CaLso, el cultivo es susceptible desde la emergencia hasta el final de su ciclo, en etapas tempranas las plantas son especialmente más afectadas, por lo que el uso de agroquímicos se hace en esta etapa es más alta [34].

3.2. Efectos principales

A continuación, se presenta los efectos principales de los genotipos sobre el número de huevos a lo largo de las diferentes fases de evaluación. La Figura 3 destaca la variabilidad en la oviposición entre los genotipos, mostrando aquellos que presentaron incrementos o disminuciones significativas. Se observó que, en los primeros días de evaluación, especialmente en el día 2, 3, 4 en cada base, el número de huevos es significativamente bajo, pero aumenta progresivamente en los días posteriores. Este patrón indica que la cantidad de huevos tiende a incrementarse a medida que avanza el período de evaluación. Además, la Figura refleja cómo diferentes genotipos responden de manera distinta a este cambio, evidenciando la influencia de los genotipos en la oviposición a lo largo del tiempo.

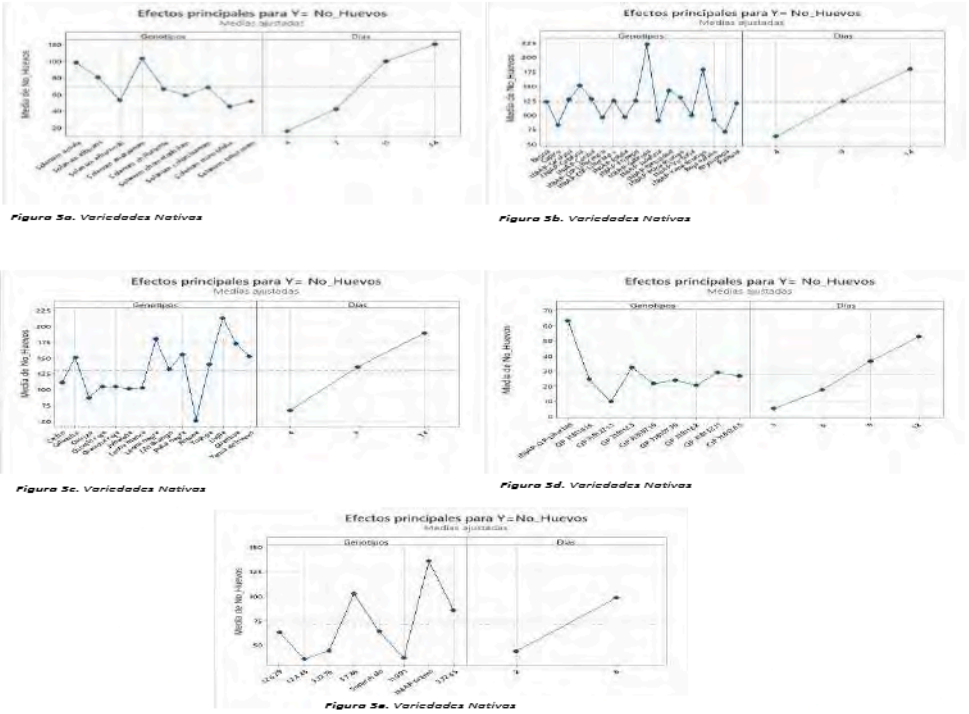


Figura 3: Variabilidad en la oviposición entre los genotipos

4. Conclusiones

En el estudio se identificaron genotipos de papa con características destacadas de resistencia a Bactericera cockerelli, como: la especie silvestre Solanum minutifolium, la variedad mejorada Raymipapa, la variedad nativa Ratona, y los clones CIP 318127.13 e INIAP 12.4.45. Estos materiales mostraron una significativa reducción en la oviposición del psílido, lo que podría indicar un potencial para el desarrollo de variedades resistentes y estrategias de manejo integrado.

Los análisis estadísticos indican que la resistencia al ataque de B. cockerelli varía entre los genotipos evaluados. Además, clones CIP podrían representar una fuente potencial de resistencia debido a su interacción significativa con

los días de evaluación.

El presente estudio proporciona información sobre variedades que podrían exhibir características valiosas para programas de mejoramiento genético, lo que contribuiría a la reducción del uso de pesticidas y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria en Ecuador. Futuras investigaciones podrían enfocarse en caracterizar los mecanismos bioquímicos y moleculares subyacentes a la resistencia observada, así como en validar la eficacia de estos genotipos en condiciones de campo.

Luego de un extenso proceso analítico se decidió utilizar para nuestro proyecto de investigación el enfoque de diseño de experimentos, específicamente Diseño Factorial Compuesto, debido a la naturaleza de los datos con los cuales se contaban en este experimento, la implementación del diseño factorial se realizó en el Software MINITAB versión 19.1 y los datos fueron recopilados durante los años 2023-2024 en ensayos realizados por el PNRT-papa del INIAP bajo condiciones de invernadero localizado en la EESC en el cantón Mejía, Ecuador. Todo lo anterior garantiza que esta investigación pueda replicarse y analizarse en cualquier momento y en cualquier lugar por otros grupos de investigación que se encuentren interesados en esta temática.

5. Agradecimiento

Los autores agradecen al Programa Nacional de Raíces y Tubérculos (PNRT) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por el apoyo técnico y logístico brindado durante la ejecución de este estudio. Asimismo, expresamos nuestra gratitud a los docentes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC) por su valiosa contribución en la enseñanza y orientación para el análisis de datos, fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

[1] S. Zhang et al., «Melatonin attenuates potato late blight by disrupting cell growth, stress tolerance, fungicide susceptibility and homeostasis of gene expression in Phytophthora infestans», Front. Plant Sci., vol. 8, n.o November, pp. 1-19, 2017, doi: 10.3389/fpls.2017.01993.

[2] I. Samaniego et al., «Analysis of environmental conditions effect in the phytochemical composition of potato (Solanum tuberosum) cultivars», Plants, vol. 9, n.o 7, pp. 1-13, 2020, doi: 10.3390/plants9070815.

[3] ESPAC, «ESPAC», 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/

[4] D. Salazar Duque y D. Fierro, «Hábitos de consumo de la papa en los hogares de la ciudad de Quito», Cienc. ergo-sum, vol. 32, 2024, doi: 10.30878/ces.v32n0a5.

[5] H. Andrade y J. Ortega, «Estado de arte del cultivo de papa para el consumo de papa prefrita congelada (PPFC) en el Ecuador.», Rev. Latinoam. la Papa, vol. 25, n.o 2, pp. 42-57, 2021, doi: 10.37066/ralap.v25i2.431.

[6] K. Dahal, X. Q. Li, H. Tai, A. Creelman, y B. Bizimungu, «Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario – a current overview», Front. Plant Sci., vol. 10, n.o May, 2019, doi: 10.3389/fpls.2019.00563.

[7] T. K. Mohanta, T. Bashir, A. Hashem, y E. F. Abd Allah, «Systems biology approach in plant abiotic stresses», Plant Physiol. Biochem., vol. 121, n.o July, pp. 58-73, 2017, doi: 10.1016/j.plaphy.2017.10.019.

[8] C. Castillo Carrillo, Z. Fu, y D. Burckhardt, «First record of the tomato potato Psyllid Bactericera Cockerelli from South America», Bull. Insectology, vol. 72, n.o 1, pp. 85-91, 2019.

[9] J. E. Berdúo, J. A. Ruiz, L. Méndez, L. Mejía, D. Maxwell, y A. Sanchéz-Pérez, «Detección de patógenos asociados a la enfermedad punta morada en los cultivos de pape y tomate en Guatemala», Ciencia, Tecnol. y Salud, vol. 7, n.o

2, pp. 205-217, 2020, doi: 10.36829/63cts.v7i2.794.

[10] A. K. Hansen, J. T. Trumble, R. Stouthamer, y T. D. Paine, «A new huanglongbing species, "Candidatus liberibacter psyllaurous," found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid Bactericera cockerelli (Sulc)», Appl. Environ. Microbiol., vol. 74, n.o 18, pp. 5862-5865, 2008, doi: 10.1128/AEM.01268-08.

[11] G. Giaccaglia, C. C. Carrillo, F. Pacini, y A. Bertaccini, «Phloem limited bacteria in potato with purple top disease and in Bactericera cockerelli in Ecuador», Phytopathogenic Mollicutes, vol. 14, n.o 1, pp. 31-42, 2024, doi: 10.5958/2249-4677.2024.00004.4.

[12] S. Mishra y M. Ghanim, «Interactions of Liberibacter Species with Their Psyllid Vectors: Molecular, Biological and Behavioural Mechanisms», Int. J. Mol. Sci., vol. 23, n.o 7, 2022, doi: 10.3390/ijms23074029.

[13] Vereijssen, «Bactericera cockerelli (tomato potato psyllid)», Invasive Species Compend., n.o June, 2019, [En línea]. Disponible en: https://www.cabi.org/isc/datasheet/45643

[14] F. Workneh, J. L. Trees, L. Paetzold, I. E. Badillo-vargas, y C. M. Rush, «Impact of ' Candidatus Liberibacter solanacearum ' haplotypes on sprout emergence and growth from infected seed tubers», Crop Prot., n.o October, p. 105462, 2020, doi: 10.1016/j.cropro.2020.105462.

[15] I. Navarrete, C. J. M. Almekinders, J. L. Andrade-Piedra, y P. C. Struik, «Efforts of researchers and other stakeholders to manage an unfolding epidemic: Lessons from potato purple top in Ecuador», NJAS Impact Agric. Life Sci., vol. 95, n.o 1, 2023, doi: 10.1080/27685241.2023.2194269.

[16] J. G. I. Patrick T. Stillson, Elias H. Bloom y Z. S. Llán, «A novel plant pathogen management tool for vector management», Pest Manag. Sci., vol. 76, n.o 11, pp. 0-2, 2020, doi: https://doi.org/10.1002/ps.5922.

[17] A. Roque, M. Beltrán, Y. M. Ochoa, y J. C. Delgado, «Parámetros poblacionales de Bactericera cockerelli en plantas de tomate tratadas con menadiona», Rev. Mex. Ciencias Agrícolas, vol. 15, n.o 4, p. e3349, jun. 2024, doi: 10.29312/remexca.v15i4.3349.

[18] A. Szczepaniec, K. A. Varela, M. Kiani, L. Paetzold, y C. M. Rush, «Incidence of resistance to neonicotinoid insecticides in Bactericera cockerelli across Southwest U.S.», Crop Prot., vol. 116, n.o November 2018, pp. 188-195, 2019, doi: 10.1016/j.cropro.2018.11.001.

[19] M. Kiani, Z. Fu, y A. Szczepaniec, «ddRAD Sequencing Identifies Pesticide Resistance-Related Loci and Reveals New Insights into Genetic Structure of Bactericera cockerelli as a Plant Pathogen Vector», Insects, vol. 13, n.o 3, 2022, doi: 10.3390/insects13030257.

[20] M. C. Cuesta, X., Rivadeneira J., MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PAPA : Conceptos , procedimientos , metodologías y protocolos. 2020.

[21] D. R. Fravel, «Role of Antibiosis in the Biocontrol of Plant Diseases*», Annu. Rev. Phytopathol., vol. 26, n.o 1, pp. 75-91, sep. 1988, doi: 10.1146/annurev.py.26.090188.000451.

[22] H. Cortez, «Resistencia a insectos de tomate injertado en parientes silvestres, con énfasis en Bactericera cockerelli Sulc. (hemiptera: psyllidae)», Bioagro, vol. 22, n.o 1, pp. 11-16, 2010, Accedido: 4 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci$_a rttextpid = S1316 - 33612010000100002lng = esnrm = isotlng = es$

[23] E. Cerna, Y. Ochoa, L. A. Aguirre, M. Flores, y J. Landeros, «Determination of insecticide resistance in four populations of potato psillid bactericera cockerelli (sulc.) (hemiptera: Triozidae)», Phyton-International J. Exp. Bot., vol. 82, n.o 1923, pp. 63-68, 2013, doi: 10.32604/phyton.2013.82.063.

[24] J. Levy y C. Tamborindeguy, «Solanum habrochaites, a potential source of resistance against bactericera cockerelli (Hemiptera: Triozidae) and "candidatus liberibacter solanacearum"», J. Econ. Entomol., vol. 107, n.o 3, pp. 1187-1193, 2014, doi: 10.1603/EC13295.

[25] E. C. Chávez, O. H. Bautista, J. L. Flores, L. A. Uribe, y Y. M. O. Fuentes, «Insecticide-Resistance Ratios of

Three Populations of Bactericera cockerelli (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae) in Regions of Northern Mexico», Florida Entomol., vol. 98, n.o 3, pp. 950-953, 2015, doi: 10.1653/024.098.0322.

[26] C. A. Avila, T. G. Marconi, Z. Viloria, J. Kurpis, y S. Y. Del Rio, «Bactericera cockerelli resistance in the wild tomato Solanum habrochaites is polygenic and influenced by the presence of Candidatus Liberibacter solanacearum», Sci. Rep., vol. 9, n.o 1, pp. 1-11, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-50379-7.

[27] L. Ilzarbe, M. Tanco, E. Viles, y M. de J. Alvarez Sanchez Arjona, «EI diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta: Design to Experiments as a Tool for Process Improvement. Methodology Applied to a Catapult», Tecnura, vol. 10, pp. 127-138, 2007.

[28] S. F. Arnold, Design of Experiments with MINITAB, vol. 60, n.o 2. 2006. doi: 10.1198/tas.2006.s46.

[29] J. Box, G., Hunter, W. Hunter, «Statistics for Experimenters», 2005. doi: 10.1080/00401706.1979.10489788.

[30] J. Hsu, Multiple Comparisons, vol. 7, n.o 2. 2020. doi: 10.1201/b15074.

[31] L. Restrepo B., «La esperanza del cuadrado medio», Rev. Colomb. Ciencias Pecu., vol. 20, n.o 2, pp. 193-201, 2007.

[32] R. M. Fonseka, H. H. D. Fonseka, y K. M. R. D. Abhyapala, «Crop Wild Relatives: An Underutilized Genetic Resource for Improving Agricultural Productivity and Food Security», Agric. Res. Sustain. Food Syst. Sri Lanka Vol. 2 A Purs. Adv., vol. 2, pp. 11-38, ene. 2020, doi: 10.1007/978-981-15-3673-1_2.

[33] A. Ficiciyan, J. Loos, S. Sievers-Glotzbach, y T. Tscharntke, «More than yield: Ecosystem services of traditional versus modern crop varieties revisited», Sustain., vol. 10, n.o 8, pp. 1-15, 2018, doi: 10.3390/su10082834.

[34] A. Rashed et al., «Postharvest Development of ‘ Candidatus Liberibacter solanacearum’ in Late-Season Infected Potato Tubers under Commercial Storage Conditions», Plant Dis., vol. 102, n.o 3, pp. 561-568, mar. 2018, doi: 10.1094/PDIS-05-17-0619-RE.

[35] IRAC, «Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas incluyendo nematicidas», Https://Irac-Online.Org/Documents/Folleto-Modo-De-Accion-Insecticidas-Y-Acaricidas/, pp. 1-18, 2024.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Análisis del desempleo en Ecuador con modelos econométricos clásicos y propuesta usando Machine Learning

An Econometric Analysis of Unemployment in Ecuador: Classical Approaches and a Machine Learning-Based Proposal

Iván A. Narváez-P[1], Erick P. Herrera-Granda[2]

[1] Centro de Posgrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi Calle Antisana y Av. Universitaria, Tulcán, Ecuador
[2] Departamento de Informática y Ciencias de la Computación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador; Zip: 170525

Recibido: 12/06/2024, Aceptado: 30/07/2025
Autor de correspondencia: Andres Narvaez: andres.narvaez@upec.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1293

PALABRAS CLAVE

Modelado del desempleo para Ecuador,
Redes neuronales,
Deep learning,
regresión lineal.

RESUMEN

Este estudio se centra en modelar y predecir el desempleo en Ecuador mediante redes neuronales, contrastando su eficacia frente a métodos econométricos tradicionales. La variable dependiente, desempleo (y), definida como el porcentaje de la población activa sin empleo, se analiza en función de siete predictores macroeconómicos: Producto Interno Bruto real (PIB, x_1), inflación (x_2, variación porcentual del índice de precios al consumidor), exportaciones (x_3) e importaciones (x_4, valoradas en millones de USD), salario mínimo real (x_5), gasto público (x_6, porcentaje del PIB) y tasa de interés (x_7). Investigaciones previas, basadas en la Ley de Okun, identificaron correlaciones lineales entre crecimiento del PIB y reducción del desempleo mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y modelos de cointegración. Sin embargo, estas técnicas convencionales, incluyendo regresiones múltiples, mostraron limitaciones para capturar dinámicas no lineales inherentes al desempleo. En contraste, las redes neuronales (Neural Network (NN)) especialmente las arquitecturas secuenciales demostraron superioridad al modelar interacciones complejas entre variables. El estudio evalúa modelos de deep learning con una y dos capas ocultas, identificando una configuración óptima de una capa oculta (16 neuronas), alcanzando un loss de 0.2846, precisión del 75 % y Error Cuadrático Medio (MSE) de 0.2064 en datos de prueba no vistos. Los resultados destacan la capacidad de las redes neuronales para modelar el desempleo con mayor precisión que métodos lineales, atribuyendo esto a su adaptabilidad para aprender patrones no lineales en datos multivariados. Este estudio demuestra que variables como el PIB, la inflación, el gasto público y la tasa de interés influyen significativamente en el desempleo. Las redes neuronales (NN) captan eficazmente estas relaciones complejas. Se resalta su utilidad para predecir fenómenos socioeconómicos en países en desarrollo como Ecuador, superando las limitaciones de modelos tradicionales.

KEYWORDS

Unemployment modeling to Ecuador,
Neural networks (NN),
Deep learning,
Linear regression.

ABSTRACT

This study focuses on modeling and predicting unemployment in Ecuador using neural networks, contrasting their efficacy against traditional econometric methods. The dependent variable, unemployment (y), defined as the percentage of the active population without employment, is analyzed in relation to seven macroeconomic predictors: real Gross Domestic Product (GDP, x_1), inflation (x_2, percentage change in the Consumer Price Index), exports (x_3) and imports (x_4, valued in millions of USD), real minimum wage (x_5), public spending (x_6, percentage of GDP), and interest rate (x_7). Previous research, based on Okun's Law, identified linear correlations between GDP growth and unemployment reduction using Ordinary Least Squares (OLS) and cointegration models. However, these conventional techniques, including multiple regressions, showed limitations in capturing the nonlinear dynamics inherent to unemployment. In contrast, particularly sequential architectures (NN) demonstrated superiority in modeling complex interactions between variables. The study evaluates deep learning models with one and two hidden layers, identifying the optimals configurations of one hidden layer (16 neurons), achieving a loss of 0.2846, 75 % accuracy, and a Mean Squared Error (MSE) of 0.2064 on unseen test data. The results highlight neural networks' ability to model unemployment with greater precision than linear methods, attributing this to their adaptability in learning nonlinear patterns within multivariate data. This study demonstrates that variables such as GDP, inflation, public spending, and interest rate significantly influence unemployment. NN effectively capture these complex relationships. Their utility in predicting socioeconomic phenomena in developing countries like Ecuador is emphasized, overcoming the limitations of traditional models.

1. Introducción

El análisis de la literatura existente reveló una evolución significativa en las metodologías para modelar y predecir el desempleo en Ecuador, empleando diversas herramientas econométricas y estadísticas multivariantes. Los estudios pueden clasificarse en varias categorías fundamentales según sus enfoques metodológicos y objetivos de investigación. Así mismo, se enfatiza que el desempleo es un variable socioeconómica que esta determinada por factores exógenos y endógenos, que la definen directa e indirectamente.

Como antecedentes se tiene que un primer grupo de investigaciones se centró en la aplicación de la Ley de Okun para comprender la relación entre crecimiento económico y desempleo. En [[1] investigaron la correlación entre crecimiento económico y desempleo durante 2012-2021, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y un modelo econométrico basado en la ecuación de Okun, encontrando una correlación lineal negativa de -0.84 entre PIB y desempleo. De manera similar, en [2] examinaron la validez de la Ley de Okun para el período 2007-2020, implementando modelos estáticos mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y modelos dinámicos de cointegración, revelando que un incremento del 1 % en el PIB reduce el desempleo entre 0.07 % y 0.28 %. En [3] aplicaron la Ley de Okun para el período 1990-2010, utilizando MCO y modelos logarítmicos, y encontraron una correlación negativa de -0.266 entre PIB y desempleo. Complementariamente, [4] profundizaron en el análisis diferenciado, investigando los efectos del PIB sobre el desempleo en mujeres y jóvenes durante 2007-2019, evidenciando coeficientes de Okun significativamente diferentes por género y grupo etario. Un segundo grupo de investigaciones exploró la relación entre inflación y desempleo, principalmente mediante la Curva de Phillips. En [5] analizaron esta relación para Ecuador, Latinoamérica y el Mundo durante 1991-2015, implementando modelos de regresión lineal múltiple con variables de control. Sorprendentemente, encontraron una relación positiva contraria a la teoría, donde un incremento del 1 % en el desempleo se asociaba con un aumento del 4.39 % en la inflación. En [6] utilizaron Python y bibliotecas especializadas para modelar esta dinámica, combinando un modelo de regresión lineal múltiple basado en la Curva de Phillips con un modelo ARIMA(1,1,1), obteniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.380.

La aplicación de técnicas de machine learning y redes neuronales representó un avance metodológico significativo. En [7] propusieron un modelo híbrido innovador que combina redes neuronales recurrentes y algoritmos genéticos para predecir la tasa de desempleo. Su metodología incluyó preprocesamiento de datos mediante normalización y detección de valores atípicos, implementando modelos BiLSTM, GRU y un modelo híbrido GA-LSTM. Los resultados demostraron la superioridad del modelo híbrido, con un error cuadrático medio (MSE) de 0.052 y un error porcentual absoluto

medio (MAPE) de 3.797 %. [7] y amplió este enfoque aplicando diversos modelos de machine learning, incluyendo árboles de decisión, bosques aleatorios, modelos logit y probit, máquinas de soporte vectorial, redes neuronales y análisis discriminante. El análisis discriminante resultó ser el modelo más efectivo, alcanzando una precisión del 95.90 % en la clasificación de individuos empleados y desempleados.

Un tercer grupo de investigaciones se enfocó en aspectos multivariantes más amplios del desempleo. En [8] implementaron técnicas estadísticas multivariantes que incluyeron regresión lineal múltiple y modelos Probit para analizar los factores determinantes del desempleo. Su modelo Probit alcanzó un 99 % de predicciones correctas, revelando la incidencia significativa de variables como área de residencia, edad, estado civil, etnia, ocupación e ingresos en la probabilidad de desempleo. En [9] investigaron la incidencia del desempleo y la pobreza en las remesas de migrantes, utilizando modelos de regresión lineal simple y técnicas de validación estadística. Un aspecto metodológico crucial fue la implementación de rigurosas técnicas de validación estadística. La mayoría de los estudios emplearon pruebas de estacionariedad como Dickey-Fuller Aumentada, pruebas de heterocedasticidad (White, Breusch-Pagan), análisis de autocorrelación (Breusch-Godfrey), pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y evaluación de multicolinealidad mediante el Factor de Inflación de Varianza (VIF). En [10] ejemplificaron esta aproximación comprehensiva, implementando un modelo de regresión lineal simple con MCO y múltiples técnicas de validación estadística, revelando una capacidad predictiva del 43.30 %.

Finalmente, estudios como [11] y [12] exploraron la influencia de variables exógenas, como precios del petróleo y shocks macroeconómicos, en la dinámica del desempleo. [11] utilizó modelos de rezagos distribuidos bajo Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), demostrando que variaciones en el precio del petróleo y la cotización del dólar explicaban el 45.6 % de la variación en la tasa de desempleo urbano. La evolución metodológica evidenciada en estos estudios refleja una transición gradual desde modelos econométricos tradicionales hacia enfoques más sofisticados que incorporan técnicas de machine learning, análisis multivariante avanzado y validación estadística rigurosa, proporcionando una comprensión cada vez más precisa de los factores que determinan el desempleo en Ecuador. A el contribuir a la literatura existente, este estudio no solo busca mejorar la precisión en la predicción del desempleo, sino también proporcionar una herramienta analítica más robusta para la formulación de políticas económicas. En última instancia, esperamos que nuestros hallazgos en este trabajo ofrezcan nuevas perspectivas sobre cómo las dinámicas del desempleo interactúan con los factores macroeconómicos en Ecuador, ayudando a construir una base sólida para futuras investigaciones estadísticas, econométricas, y decisiones estratégicas en este campo.

2. Materiales y Métodos

Para realizar el artículo, han sido empleadas diversas bases de datos las cuales son bases en series de tiempo en [13], [14], [15] y [16], y se encuentran como registros de valores en índices porcentuales sobre 100 %. El presente estudio es de tipo aplicado con un enfoque cuantitativo, con el propósito de analizar la relación entre variables económicas y sociales relacionadas con el desempleo mediante el uso de modelos econométricos y técnicas de Machine Learning. Este enfoque permite describir y prever patrones históricos del desempleo en Ecuador. Por ello, se clasifica como descriptivo y predictivo, pues además de identificar tendencias pasadas, se enfoca en desarrollar herramientas para la predicción de comportamientos futuros.

El diseño es no experimental dado que no se manipulan las variables, sino que se analizan datos observacionales obtenidos de fuentes secundarias. Es un diseño longitudinal, ya que se utilizan datos de series temporales que abarcan desde el año 1978 hasta 2023, y comparativo, debido a que se contrastan modelos econométricos tradicionales con técnicas modernas de Machine Learning. La metodología empleada en esta investigación es de tipo descriptiva, de acuerdo con [[17], quienes señalan que la metodología descriptiva se enfoca en describir fenómenos sin intervención directa del investigador. En este caso, han sido recopilados, identificados y analizados antecedentes generales del desempleo en Ecuador, así como datos y estadísticas correspondientes al periodo antes mencionado. Se aplican métodos de investigación inductivo y deductivo, lo que permite interpretar los datos obtenidos de manera racional y objetiva, y analizar el impacto de las cifras de desempleo en la población ecuatoriana.

El fundamento teórico de esta investigación se sustenta en la investigación bibliográfica, consistente con lo señalado por [17], quienes destacan que la recolección de información bibliográfica es una de las etapas más relevantes de cualquier investigación, garantizando la pertinencia y calidad de los datos utilizados. Para ello, se consultaron diversas bases de datos científicos, tales como: EBSCO, Redalyc, Scielo y Researh Gate. Además, se recurrió a informes y estadísticas proporcionadas por organizaciones e instituciones nacionales e internacionales, tales como: Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), Banco Central del Ecuador (BCE), Organización Internacional del Trabajo (OIT), Datos macroeconómicos del Ecuador y de América Latina y el Caribe (CEPAL). Estas fuentes aseguraron la validez y confiabilidad de los datos empleados en el análisis del desempleo en Ecuador, así como en el desarrollo de modelos



Figura 1: Indicadores nacionales en % respecto a la PEA

econométricos tradicionales y modernos.

Población. Incluye todos los datos macroeconómicos y sociales relevantes del Ecuador entre los años 1978 y 2023. Los indicadores clave, de [9], [13], [14] y [15] incluyen la variable dependiente es el Desempleo (y) que es el Porcentaje de la población activa desempleada, y variables independientes son PIB (x_1) que es el Producto Interno Bruto en términos reales, la Inflación (x_2) que es el Medida como el cambio porcentual en los precios al consumidor, las Exportaciones e Importaciones (x_3) y (x_4) que son valorizadas en millones de dólares estadounidenses, se mide en porcentaje sobre 100 %, el Salario Mínimo (x_5) que esta En dólares, ajustado por inflación cuando sea necesario, el Gasto Público (x_6) que es Expresado como porcentaje del PIB, y la Tasa de ínteres (x_7) que es el valor de impuesto agregado a un préstamo.

Muestra. El estudio abarcó el periodo 1978-2023, recopilando observaciones anuales que totalizan 45 datos por variable. Los criterios de selección incluyeron la disponibilidad completa y consistente de datos macroeconómicos y la representatividad de variables relacionadas directamente con el desempleo. El área de intervención comprendió el análisis de datos macroeconómicos históricos obtenidos de fuentes confiables, con un levantamiento de datos basado en registros oficiales disponibles en línea. La muestra ha sido seleccionada mediante un enfoque de muestreo no probabilístico, garantizando la inclusión de datos completos y consistentes para todas las variables consideradas.

La variable principal de estudio es la tasa de desempleo, la cual se calcula utilizando la fórmula que relaciona el número de personas desempleadas con la población económicamente activa (PEA), expresada como porcentaje. Esta fórmula se define como:

$$\textit{Tasa de Desempleo (\%)} = \left(\frac{\textit{Número de personas desempleadas}}{\textit{Población total activa}} \right) \times 100. \tag{1}$$

En este contexto, en base a 1, las personas desempleadas incluyen a aquellos que no tienen empleo, pero están disponibles para trabajar y han realizado acciones para buscar empleo en un período específico. Por ejemplo, se puede apreciar una muestra ligera de la tasa de desempleo entre el año del 2019 al 2024, ver Figura 1.

La Población Económicamente Activa (PEA) comprende a todas las personas empleadas y desempleadas que conforman la fuerza laboral activa. Esta métrica permite expresar el nivel de desempleo como un porcentaje del total de la fuerza laboral, lo cual facilita su interpretación y el análisis de su impacto en la economía nacional. La tasa de desempleo, en este contexto, se modela en función de variables independientes previamente definidas, con el objetivo de realizar pronósticos y generar nuevas contribuciones al análisis estadístico del desempleo en el Ecuador. El estudio se basa en 46 observaciones correspondientes a los datos disponibles hasta la fecha, constituyendo la población total utilizada para el modelado y pronóstico. Asimismo, se aplicaron criterios de exclusión a través de instrumentos metodológicos que permitieron eliminar variables con registros incompletos, inconsistencias o series temporales interrumpidas. Para el análisis, se emplearon herramientas estadísticas y de programación: R fue utilizado para el preprocesamiento de datos, análisis econométrico y pruebas estadísticas; mientras que Python se aplicó en la implementación y evaluación de modelos de aprendizaje automático (Machine Learning). Entre las técnicas estadísticas aplicadas se incluyen el Análisis Exploratorio de Datos (EDA), pruebas de multicolinealidad mediante el Índice de Inflación de la Varianza (VIF), y la prueba de Breusch-Pagan para la detección de heterocedasticidad, con el fin de asegurar la solidez y consistencia de los modelos propuestos.

Se emplean herramientas ya expuestas en la literatura como modelos econométricos, redes neuronales, series temporales y regresión lineal. Lo cual, se define posteriormente: Con los Modelos Econométricos que Se utilizan para analizar la relación entre variables económicas y prever el comportamiento de indicadores como el desempleo, basándose en métodos estadísticos clásicos y avanzados, como en el contexto de [1]. Las Redes Neuronales que Son modelos computacionales que imitan el cerebro humano, capaces de aprender patrones complejos en grandes volúmenes de datos, como la predicción de series temporales, esto se puede ver en [7]. Las Series Temporales que son una Técnica estadística utilizada para analizar datos recogidos en intervalos regulares de tiempo, permitiendo prever el comportamiento futuro de variables como el desempleo, [18]. Y la Regresión Lineal que es un Método estadístico utilizado para modelar la relación lineal entre una variable dependiente y una o más variables independientes, comúnmente aplicado en economía para análisis predictivos, [18].

2.1. Tratamiento de datos

Distancias de Mahalanobis La construcción de bases de datos en cualquier estudio puede incluir registros incompletos o valores atípicos, lo que hace imprescindible aplicar un protocolo de análisis de datos antes de realizar cualquier procedimiento estadístico. Entre las técnicas más utilizadas para analizar muestras multivariadas se encuentra la distancia de Mahalanobis, que mide cuántas desviaciones estándar separa una observación $\mathbf{X}$ de la media (μ) en una distribución. Esta métrica es especialmente útil para identificar datos atípicos, ya que estos suelen diferir significativamente de los patrones comunes observados en los datos [19].

Desde una perspectiva geométrica, la distancia Euclidiana define la mínima separación entre dos puntos, pero no tiene en cuenta la correlación entre variables. Por el contrario, la distancia de Mahalanobis incorpora estas correlaciones, convirtiéndola en una herramienta más adecuada para muestras con variables relacionadas [19].

Esta métrica invariante a cambios de escala mide la distancia entre un punto $x \in \mathbb{R}^p$, generado por una distribución $f_{\mathbf{X}(\cdot)}$, y la media de dicha distribución ($\mu = E(X)$), utilizando la matriz de covarianza $\Sigma = E(X - \mu)$. Se define como:

$$D(X, \mu) = \sqrt{(X - \mu)^T \Sigma^{-1} (X - \mu)}. \tag{2}$$

Análisis de Componentes Principales (PCA) El PCA es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, transformando variables correlacionadas en componentes principales no correlacionadas. Es empleado para explorar relaciones entre variables y simplificar datos, además de ser útil para determinar el número de capas ocultas en redes neuronales [20].

Dado un conjunto de datos *dataset* $x^{(1)}, x^{(2)}, \cdots, x^{(m)}$ con observaciones n-dimensionales, se pretende reducir el *dataset* a observaciones k-dimensionales (cuando $k < n$). Para esto, el proceso inicia con la estandarización de los datos:

$$x_j^i = \frac{x_j^i - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \tag{3}$$

luego, se calcula la matriz de covarianza mediante:

$$\Sigma = \frac{1}{r} \sum_i (x_i)(x_i)^T, \quad \Sigma \in \mathbb{R}^{n \times n} \tag{4}$$

A continuación, se obtiene el *eigenvector* y *eigenvalue* de la matriz de covarianza mediante la ecuación:

$$U^T \Sigma = \lambda \mu, U = \begin{bmatrix} | & | & & | \\ u_1 & u_2 & \cdots & u_n \\ | & | & & | \end{bmatrix}, \quad u_i \in \mathbb{R}^n, \tag{5}$$

de esta manera, los datos originales son proyectados a un subespacio de k dimensiones, de manera que los principales *eigenvectors* de la matriz de covarianza son seleccionados. Estas nuevas variables son capaces de representar a los datos originales y su varianza. Cada uno de estos nuevos vectores se pueden obtener mediante la expresión:

$$x_i^{\text{new}} = \begin{bmatrix} u_1^T x_i \\ u_2^T x_i \\ \vdots \\ u_k^T x_i \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^k \tag{6}$$

Lo previo se utiliza en específico en conjunto con las técnicas de modelaje que se observan en lo posterior. Esto es en:

Modelos Econométricos Tradicionales
En este caso se aplican los Modelos de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS), como en el contexto de [3].

Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS)
La fórmula de OLS es:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \cdots + B_nX_n + \varepsilon. \tag{7}$$

En la cual: Y es la variable dependiente (en este caso, la tasa de desempleo); B_0 es el término constante o intercepto; $B_1, B_2, \ldots, B_n$ son los coeficientes de las variables independientes; $X_1, X_2, \ldots, X_n$ que son las variables independientes (PIB, inflación, salario mínimo, etc.); y ε es el término de error (variación no explicada por el modelo).

Se empleó modelos de *Machine Learning*, en los cuales se utilizó un modelo secuencial de red neuronal recurrente, para capturar patrones temporales complejos y no lineales en los datos, como se encuentra en [7] y [21].

Redes neuronales: Las redes neuronales son un enfoque de clasificación que imita el funcionamiento de las neuronas biológicas. Cada neurona artificial procesa señales de entrada ponderadas por un conjunto de pesos, activándose únicamente si la suma alcanza un umbral determinado [22]. Existen diversas funciones de activación que definen el comportamiento de las neuronas; en este caso, se emplearon $\mathbf{ReLU} = \text{máx}(0, y)$, en las capas ocultas y en la salida la función lineal x, con x en cierto intervalo continuo.

En las redes neuronales, se crean enlaces entre las neuronas, a cada uno de los cuales se le asigna un peso $V_{(j,k)}$, el cual es ajustado durante el proceso de aprendizaje. Estos pesos permiten que las combinaciones de entradas activen o no las neuronas de las capas ocultas y de salida, de modo que el modelo aprenda comportamientos no lineales a partir de los datos. En este proceso, la propagación de señales en cada capa se describe por las ecuaciones $X_j = R_{ij} \cdot I$ y $O_j = activation(X_j)$, donde X_j es la matriz de señales de entrada a la capa j, R_{ij} son los pesos entre las capas, I es la matriz de señales de entrada y O_j es la matriz de salida de la capa.

Para que la red neuronal aprenda de manera efectiva, se calcula el error $e_{(out,k)} = t_k - o_k$ en la capa de salida, comparando los valores obtenidos con los esperados. Este error debe retroalimentarse a través de la red para ajustar los pesos. La retro propagación de los errores se realiza mediante la fórmula $C_i = V_{ij}^T \cdot C_j$, donde C_i es el error que se retropropaga a la capa anterior y C_j es el error proveniente de la capa siguiente. Al retropropagar los errores, los pesos se ajustan para que la red neuronal pueda retener información de ejemplos previos y actualizarse con nuevas observaciones.

Uno de los procesos más ampliamente empleados para este propósito es el descenso de gradiente, que es formulado en [19], como se muestra en las ecuaciones (8-10).

$$\frac{\partial \boldsymbol{C}}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} = \frac{\partial \sum_n (t_n - o_n)}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} = \frac{\partial \boldsymbol{C}}{\partial \boldsymbol{\mathcal{O}}_k} \cdot \frac{\partial \boldsymbol{\mathcal{O}}_k}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} = -2(t_n - O_n) \cdot \frac{\partial \boldsymbol{\mathcal{O}}_k}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} \tag{8}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{C}}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} = -2(t_n - o_n) \cdot \frac{\partial}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} \left[activation \left(\sum_j \boldsymbol{V}_{jk} \cdot \boldsymbol{\mathcal{O}}_j \right) \right] \tag{9}$$

$$\boldsymbol{V}_{jk}^{(r+1)} = \boldsymbol{V}_{jk}^{(r)} - \alpha \cdot \frac{\partial \boldsymbol{C}}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}} \tag{10}$$

Donde $\boldsymbol{V}_{jk}^{(r+1)}$ representa el nuevo peso actualizado para un enlace jk, que es actualizado a partir de su valor anterior $\boldsymbol{V}_{jk}^{(r)}$ en el gradiente $\frac{\partial C}{\partial \boldsymbol{V}_{jk}}$ que aporta una porción de nueva energía transmitida mediante el hiper-parámetro *learning rate* α [22].

Deep Learning. Las redes neuronales artificiales que presentan 2 o más capas ocultas con funciones de activación no lineales consecutivas se denominan modelos de Deep Learning como se ve en [23]. La adición desmesurada de capas ocultas y un mayor número de neuronas, no siempre es la mejor alternativa ya que esto puede llevar al modelo a presentar problemas de sobreajuste. Además, el cálculo de los parámetros implicados en el modelo puede representar una tarea desafiante ya que el cálculo de la actualización de parámetros involucrará un mayor número de derivadas. Este problema puede ser abordado mediante la regla de la cadena que se establece como:.

$$\frac{df_3}{du}(x) = \frac{df_3}{du}\left[f_2(f_1(x))\right] \times \frac{df_2}{du}\left[f_1(x)\right] \times \frac{df_1}{du}(x), \tag{11}$$

Por ejemplo, en [21] para un modelo de Deep Learning de dos capas ocultas, a más de la matriz de pesos $\boldsymbol{V}_k$ involucrada en cada capa, se puede añadir un término Bias a manera de intercepto $\boldsymbol{B}_k$. El concepto de un modelo de dos capas ocultas se presenta en la Figura 2, en la cual $\boldsymbol{V}$ es denotada por $\boldsymbol{W}$.

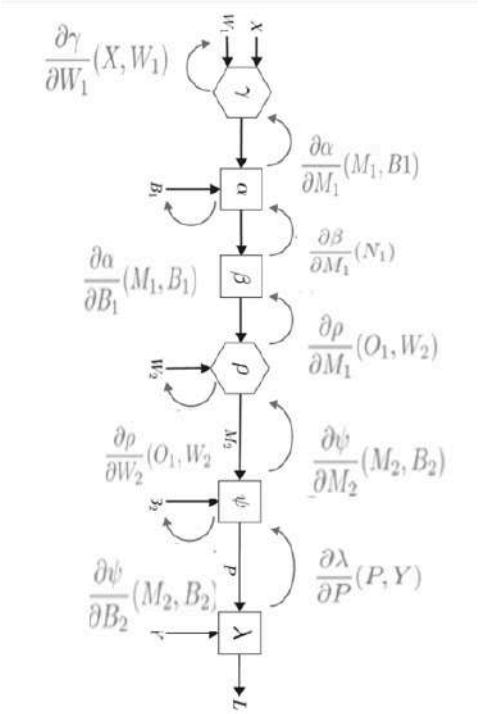


Figura 2: Formulación de un modelo de Deep Learning con dos capas ocultas

Siguiendo la formulación propuesta los gradientes, empleados para la actualización de los pesos en las conexiones de la red neuronal, se pueden calcular mediante las expresiones, como en [24]:

$$\frac{\partial L}{\partial B_2} = \frac{\partial \lambda}{\partial P}(P, Y) \times \frac{\partial \Psi}{\partial B_2}(M_2, B_2), \tag{12}$$

$$\frac{\partial L}{\partial W_2} = \frac{\partial \lambda}{\partial P}(P, Y) \times \frac{\partial \psi}{\partial M_2}(M_2, B_2) \times \frac{\partial \rho}{\partial M_2}(O_1, W_2), \tag{13}$$

$$\frac{\partial L}{\partial B_1} = \frac{\partial \lambda}{\partial P}(P, Y) \times \frac{\partial \psi}{\partial M_2}(M_2, B_2) \times \frac{\partial \rho}{\partial M_1}(O_1, W_2) \times \frac{\partial \beta}{\partial M_1}(N_1) \times \frac{\partial \alpha}{\partial B_1}(M_1, B_1), \tag{14}$$

$$\frac{\partial L}{\partial W_1} = \frac{\partial \lambda}{\partial P}(P, Y) \times \frac{\partial \psi}{\partial M_2}(M_2, B_2) \times \frac{\partial \rho}{\partial M_1}(O_1, W_2) \times \frac{\partial \beta}{\partial M_1}(N_1) \times \frac{\partial \alpha}{\partial M_1}(M_1, B_1) \times \frac{\partial \gamma}{\partial W_1}(X, W_1). \tag{15}$$

Estos son un tipo de red neuronal diseñado para trabajar con datos secuenciales, como series temporales, texto o cualquier tipo de información ordenada en el tiempo. Su principal característica es que tienen conexiones con capas de la red apiladas una sobre otra, lo que les permite recordar información previa y capturar dependencias temporales en los datos.

En este trabajo se emplean los modelos secuenciales de redes neuronales, los cuales son diseñados para manejar secuencias de datos con dependencias a largo plazo. En este tipo de redes, cada célula de la NN contiene puertas de entrada, salida y olvido, las cuales controlan el flujo de información a través de la red. Estas puertas permiten decidir qué información conservar, actualizar o descartar, asegurando que la red pueda mantener información relevante durante varias iteraciones [7, 11, 22].

Así mismo, por otro lado, como las Redes Neuronales Recurrentes (RNN) tradicionales, las redes con memoria de corto y largo plazo (LSTM) son capaces de aprender relaciones más complejas y mitigar problemas como el desvanecimiento de gradientes, lo que las hace ideales para tareas de predicción en series temporales y modelado de datos secuenciales.

La estructura básica de una RNN con LSTM, según [24, 21], consiste en varias capas interconectadas. La primera capa es la capa de entrada, que recibe los datos de entrada secuenciales X como una secuencia de características, donde cada observación tiene n características. Esta capa transforma la entrada en una secuencia que será procesada por la capa oculta LSTM. En este tipo de redes, la propagación de la señal se realiza mediante la combinación de pesos, activaciones y funciones de activación, las cuales ayudan a determinar qué información se mantiene o se descarta a medida que avanza la secuencia temporal. A lo largo de este proceso, cada neurona oculta ajusta sus pesos en función del aprendizaje para activar las siguientes neuronas o capas.

En la capa oculta LSTM, se emplean puertas que controlan la información que pasa a lo largo de la red. La puerta de olvido f_t decide qué información del estado anterior se descarta, calculándose mediante la fórmula:$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$, donde σ es la función sigmoide, W_f son los pesos, h_{t-1} es el estado oculto anterior y x_t es la entrada actual.

La puerta de entrada i_t determina qué nueva información debe almacenarse en el estado de memoria, usando la fórmula: $i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$. El estado de memoria actualizado C_t se calcula como: $C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \tilde{C}_t$, donde $\odot$ denota el producto de qHadamard (elemento a elemento).

El estado oculto h_t, una representación comprimida de la secuencia temporal que pasa a la siguiente capa de la red, se calcula como: $h_t = o_t \odot \tanh(C_t)$, donde o_t es la puerta de salida. La capa de salida utiliza el estado oculto h_t para generar la predicción final. Si la tarea es de regresión, la salida es directamente h_t.

Además, una red neuronal realiza los cálculos considerando las entradas $x_1, x_2, \ldots$, propagando los valores desde las neuronas de entrada a las de salida Y, y usando los pesos w como parámetros intermedios, con b siendo el sesgo. El aprendizaje se basa en el ajuste de los pesos que conectan las neuronas. La base de datos proporciona la información sobre la exactitud de los pesos al comparar qué tan bien coincide la salida pronosticada para una entrada con la etiqueta anotada en los datos de entrenamiento [22].

Por ejemplo, en una neurona artificial, la salida se calcula como: $Y = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + b_y$, donde w_i son los pesos, x_i las entradas y b_y el sesgo. La red ajusta sus pesos mediante una función de pérdida. Para tareas de regresión, esta función es el error cuadrático medio (MSE), definido como:

$$\text{MSE} = \frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r}(Y_i - \hat{Y}_i)^2,$$

y luego optimiza estos pesos usando algoritmos como Adam, con el fin de minimizar el error y mejorar el rendimiento del modelo.Posterior se enfatizan las clases de métricas para medir los errores.

2.2. Análisis Estadístico con Métricas de Evaluación

Las métricas de precisión predictiva, según [7], incluyen diversas medidas para evaluar el rendimiento de los modelos predictivos:

El Error Cuadrático Medio (MSE):

$$\text{MSE} = \frac{1}{n}\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

evalúa la desviación promedio cuadrática entre los valores reales y predichos, mientras que el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE):

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n}\sum\left|\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right|$$

mide el error como porcentaje relativo sobre los valores reales. El Error Medio Absoluto (MAE):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum|Y_i - \hat{Y}_i|$$

representa la magnitud promedio del error absoluto, y La Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

ofrece una medida del error en las mismas unidades que los datos originales. Adicionalmente, se utilizan métricas establecidas en la literatura como El Criterio de Información de Akaike (AIC):

$$\text{AIC} = 2k - 2\ln(L)$$

, que penaliza modelos complejos que no mejoran significativamente el ajuste, El R ^{2} ajustado:

$$R^2_{\text{adj}} = 1 - \left(\frac{1 - R^2}{n-1} \cdot \frac{n-1}{n-k-1} \right)$$

que ajusta el R ^{2} estándar para reflejar el número de predictores en el modelo, y El Factor de Inflación de la Varianza (VIF):

$$\text{VIF} = \frac{1}{1 - R^2_j}$$

que evalúa la multicolinealidad entre las variables independientes. Los intervalos de confianza (IC) estiman el rango donde podría estar la media poblacional, mientras que los intervalos de predicción (IP) estiman el rango donde caerá un nuevo valor individual observado.

Estas métricas permiten comparar el desempeño entre enfoques tradicionales y modernos.

3. Resultados

Se lograron los siguientes resultados para el análisis del desempleo en el Ecuador. La base de datos consta de 46 observaciones obtenidas del instrumento aplicado para modelar el desempleo en función de 7 variables predictoras. El instrumento es multivariado continuo, por lo cual las técnicas estadísticas convencionales fueron suficientes para abordar el problema planteado. Sin embargo, también fue necesario el uso de redes neuronales (NN) y técnicas de *Deep Learning*, herramientas ampliamente utilizadas en los últimos años para resolver problemas complejos [18].

La base de datos fue procesada con el lenguaje de programación estadística `R` y también con Python, a través de su distribución Anaconda, para manejar los paquetes `TensorFlow` y `Keras` desde el entorno `RStudio`, utilizando la librería `reticulate`. El análisis comenzó con la imputación de datos mediante la técnica *K-Nearest Neighbors* (KNN), empleando las librerías `VIM` y `skimr`. Los resultados muestran que no existen datos faltantes (véase Figura 5).

Posteriormente, se aplicó un tratamiento a los datos para detectar observaciones atípicas mediante el uso de las distancias de Mahalanobis. Se utilizó un punto de corte basado en la distribución χ^2 con un nivel de confianza del 99.9 %, excluyendo así el 0.1 % de las observaciones consideradas como atípicas. Los resultados mostraron que no se excluyó ninguna observación, por lo tanto, la muestra final permanece con 46 registros.

Antes de analizar el instrumento, fue necesaria su validación para garantizar la obtención de inferencias y resultados confiables. Como técnica paramétrica, se verificaron cinco supuestos fundamentales: normalidad, independencia, linealidad, homocedasticidad y multicolinealidad. Además, se construyó una matriz de correlación multivariada con las siete variables predictoras para observar las relaciones entre ellas (véase Figura 4).

3.1. Análisis De Los Datos.

Se realizó la visualización de los datos mediante diagramas de caja (boxplots) para cada una de las variables explicativas, lo que permitió identificar y remover posibles datos atípicos del conjunto. También se evaluaron supuestos e hipótesis estadísticas relevantes:

1. **Normalidad**: para este apartado se aplica la prueba de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov for normality test), en la cual se observa que H_0: Los datos sí cumplen la cualidad de normalidad, con un $p < 0{,}05$, y H_1: Los datos no muestran normalidad, con $p > 0{,}05$. En este caso, el *p-value* es de 0.0004214, por tanto no se rechaza la H_0.

2. **Independencia**: se utiliza la Independencia de los predictores Durbin-Watson, con H_0: los residuos no presentan problemas de autocorrelación y H_1: los residuos presentan problemas de autocorrelación. En este caso, se observa que *p-value* < 0. Por tanto se rechaza la H_0, en este caso, las variables explicativas no son independientes entre sí.

3. **Linealidad**: del data set, se emplea la Linealidad Q-Q plot, prueba de Box-Tidwel, con H_0: Los datos tienen linealidad, y H_1: Los datos no tienen linealidad. En este caso el *p-value* es menor que 0.05, por esto se rechaza la H_0, ver Figura 3.

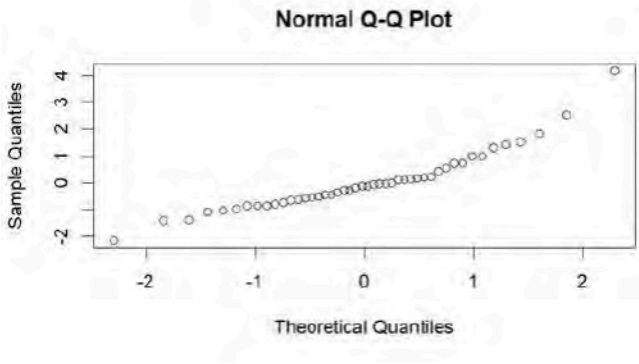


Figura 3: Linealidad

4. **Homocedastidad:** Se aplica Homoscedasticidad de Breusch Pagan, (Non Constant Variance Score NCVS), en este caso la H_0: los datos presentan homocedasticidad, y H_1: los datos no presentan homocedasticidad, en este caso p-value =0.042 <0.05. Por tanto, no se rechaza la H_0, es decir, los residuos muestran varianza constante, como en la Figura 4.

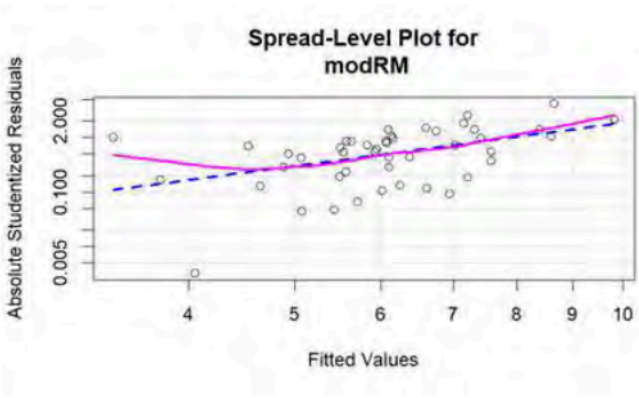


Figura 4: Homoscedasticidad de los datos

5. Se emplea la Multicolinealidad VIF (Variance inflation factor), con un valor menor que 10 para cada variable, lo que significa que cada variable presenta una varianza moderada, lo cual sirve para dar una buena calidad de ajuste del modelo, ver Figura 5.

   Además, en la figura 6 podemos apreciar los histogramas de cada una de las variables.

3.1.1. Regresión Lineal Múltiple.

Con la Regresión Lineal se modela el desempleo en función de las variables predictoras. Se utilizó *Stepwise* (ir eliminando las variables que no son significantes), para descubrir el modelo (la combinación de variables apropiada). Se empezó con el modelo:

$$Desempleo \sim Exportaciones + Pib + Importaciones + GastoPublico + SalarioMinimo + TasaInteres + Inflacion. \quad (16)$$

A medida que se utilizó el *Stepwise*, para remover variables que no eran altamente significativas, es decir superaban el *p-value* del 5 %. Obteniendo, así los modelos posteriores:

$$Desempleo \sim Exportaciones + Pib + Importaciones + TasaInteres + GastoPublico + SalarioMinimo + Inflacion, \quad (17)$$

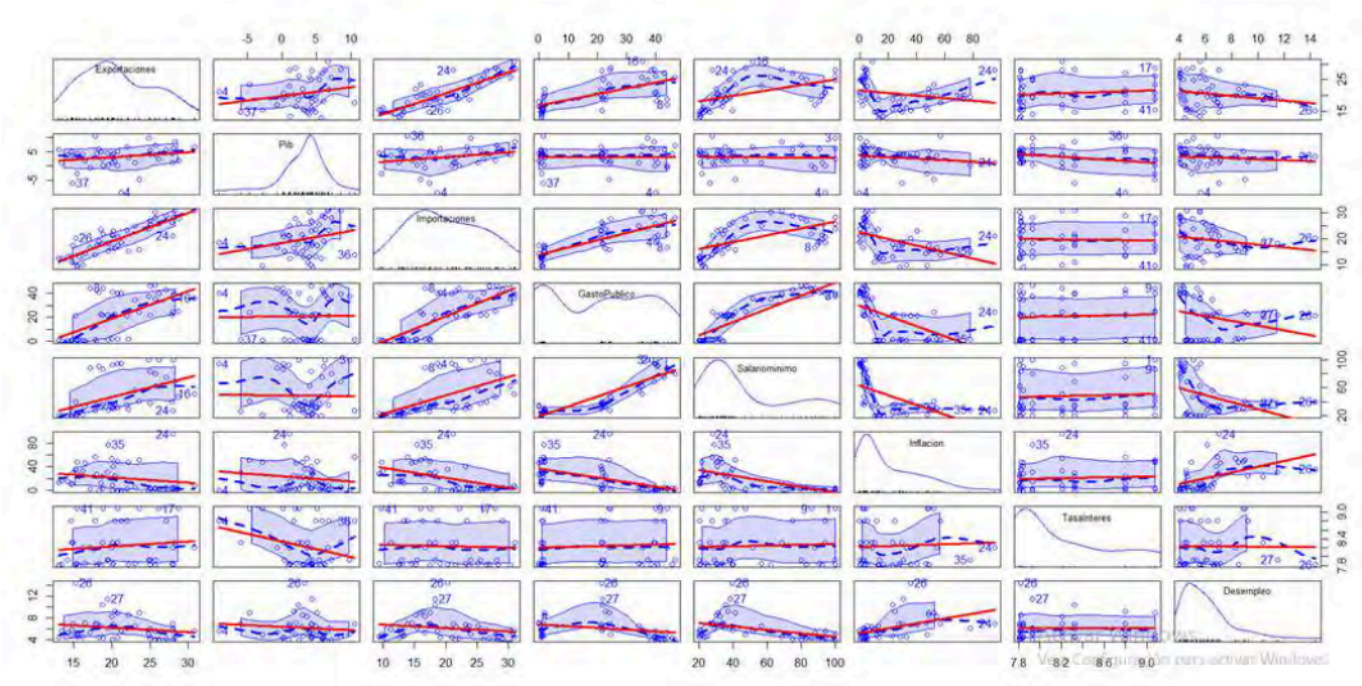


Figura 5: Correlación de las variables

Group variables None

— Variable type: numeric —

skim_variable	n_missing	complete_rate	mean	sd	p0	p25	p50	p75	p100	hist
Exportaciones	0	1	20.4	4.85	13.1	16.3	20.1	23.6	30.8	
Pib	0	1	3.03	3.85	-9.2	1.2	3.7	5.1	10.5	
Importaciones	0	1	19.5	6.14	9.38	14.6	18.7	23.8	30.9	
GastoPublico	0	1	20.1	16.2	0	1.4	22.0	35.6	44.1	
Salariominimo	0	1	46.6	26.6	20	27.5	35.8	62.1	100	
Inflacion	0	1	20.7	21.8	-0.34	3.46	12.6	32.8	95.5	
TasaInteres	0	1	8.25	0.459	7.81	7.84	8.21	8.8	9.06	
Desempleo	0	1	6.33	2.21	4.05	4.64	5.61	7	14.4	

Figura 6: Estadísticos de las variables de estudio.

en el cual, la variable tasa de interés, no ha sido altamente significativa, con un *p-value* de 0.92881 y ha sido excluido, posterior está el siguiente modelo:

$$Desempleo \sim Exportaciones + Pib + Importaciones + GastoPublico + SalarioMinimo + Inflacion, \tag{18}$$

en el cual, la variable PIB, no ha sido altamente significativa, con un *p-value* de 0.67 y ha sido excluido, posterior está el modelo:

$$Desempleo \sim Exportaciones + Importaciones + GastoPublico + SalarioMinimo + Inflacion, \tag{19}$$

en el cual, la variable Importaciones, no ha sido altamente significativa, con un *p-value* de 0.2468 y ha sido excluido, posterior está el modelo:

$$Desempleo \sim Exportaciones + GastoPublico + SalarioMinimo + Inflacion, \tag{20}$$

en el cual, la variable Exportaciones, no ha sido altamente significativa, con un *p-value* de 0.18737, en el cual el modelo presenta un AIC=194.17 y ha sido excluido, posterior está el modelo:

$$Desempleo \sim GastoPublico + SalarioMinimo + Inflacion. \tag{21}$$

Y en función al *p-value* <0.05 para cada variable, por último está el modelo que se ajusta medianamente con un $R^2 = 29{,}73\,\%$ de calidad, el cual es:

$$Desempleo \sim GastoPublico + SalarioMinimo + Inflacion. \tag{22}$$

Con la regresión lineal se observa que la tasa de desempleo se ajusta de una manera eficaz con las variables explicativas Gasto Público, Salario Mínimo e Inflación, las cuales muestran un p-value altamente significativo, ver tabla 1.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos del mejor modelo de regresión lineal múltiple

Componente	**Detalles**
Fórmula del modelo	*Desempleo* $\sim$ *GastoPúblico* + *SalarioMínimo* + *Inflación*
Residuales	**Mín**: -3.31 10 %: -1.043 **Mediana**: -0.1946 30 %: 0.6305 **Máx**: 7.157
Coeficientes	
- (Intercepto)	Estimación: 6.33614 / Error estándar: 0.87516 / t: 7.240 / p-valor: <0.001 (***)
- *GastoPúblico* x_6	Estimación: 0.06453 / Error estándar: 0.03511 / t: 1.838 / p-valor: 0.0731 (.)
- *SalarioMínimo* x_5	Estimación: -0.04742 / Error estándar: 0.02187 / t: -2.169 / p-valor: 0.0358 (*)
- *Inflación* x_2	Estimación: 0.03900 / Error estándar: 0.01517 / t: 2.572 / p-valor: 0.0137 (*)
Estadísticos globales	
- Error estándar residual	1.874 (42 *gl*)
- R^2	0.2973
- R^2 ajustado	0.2471
- Estadístico F	5.922 (3 y 42 *gl*) / p-valor: 0.001829
- AIC	194.1479
Notas	***: p $\leq$ 0.001; **: p $\leq$ 0.01; *: p $\leq$ 0.05; .: p $\leq$ 0.1 *gl* = grados de libertad

Por tanto, el modelo en base a la Tabla 1, para el modelo (22), sería:

$$y = 6{,}33614 + 0{,}039 \cdot x_2 - 0{,}04 \cdot x_5 + 0{,}06 \cdot x_6 + \epsilon rror. \tag{11}$$

Además, el modelo se ajusta a través de regresión lineal con un R^2 cerca al 29.73 %, lo cual muestra que la calidad de ajuste es baja, y las variables explicativas no se ajustan a los datos de una manera eficaz. También, se observa que el modelo presenta un AIC=194.14, que es medianamente bueno y menor con respecto al AIC del modelo 20, el cual muestra un valor de 194.17.

3.1.2. Modelos secuenciales de Redes Neuronales (NN).

Se emplearon modelos secuenciales de Redes Neuronales con una capa de entrada de 8 neuronas, 2 capas ocultas (layer dense) y una de salida. En la capa de entrada hay 8 neuronas, en la primera capa oculta entre 8 a 20 neuronas, y en la capa oculta 2, entre 9 a 38 neuronas, esto se hizo con validación cruzada, es decir, con la idea de hiperparámetros sujetos a la idea de función de perdida y el error cuadrático medio. Además, las capas ocultas ocupan normalización. El modelo se entrenó con 50 epochs de aprendizaje mediante la optimización por el modelo Adam el cual utiliza una taza de aprendizaje (rate decay) igual a 0.1, el cual decrece con una razón de 0.1/50 para cada etapa de aprendizaje nueva. El valor de 50 epochs de aprendizaje viene por la rule of thumb de [16] y [25], que permite el triple del número de variables para las etapas de aprendizaje. Los resultados de esta etapa de aprendizaje se muestran en la figura 6 y su arquitectura para el clasificador en la figura 7.

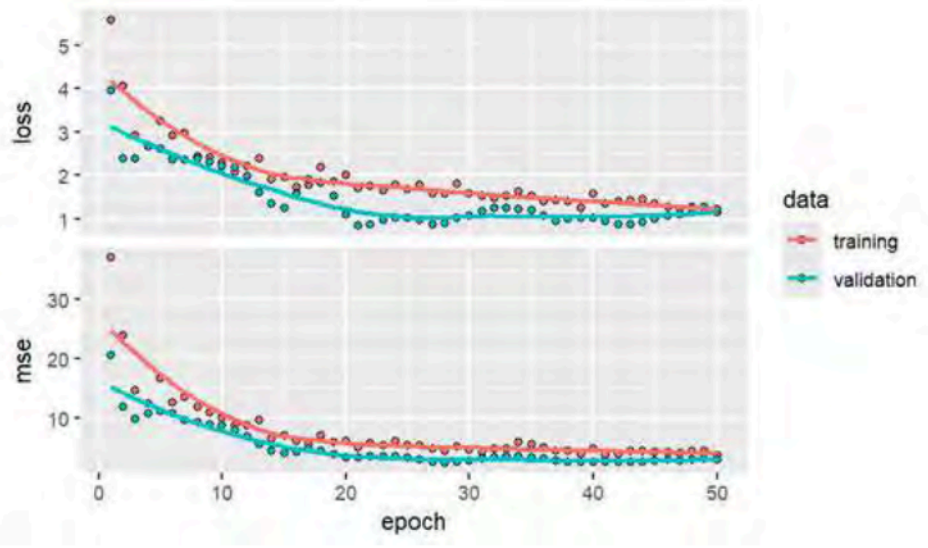


Figura 7: Proceso de entrenamiento de la red recurrente con una capa oculta

El modelo de red neuronal recurrente diseñado con 8 neuronas de entrada, con una capa oculta, fue evaluado en el conjunto de prueba que corresponde al 20 % de las observaciones totales (15 observaciones que la red no había visto previamente), ver figura 8. Al evaluar el desempeño de la red con estas nuevas observaciones, se obtuvo un Loss de 0.2846069, y un MSE de 0.2063614, con un número exacto de 16 neuronas de la primera capa oculta. Este valor se tomó puesto es el menor en comparación a los otros valores entre las 8 hasta las 20 neuronas con respecto al Loss y al MSE, ver la Tabla 2. Además, se empleó una segunda capa oculta, entre 9 a 38 neuronas, ver Tabla 3, en la cual se puede apreciar que el MSE es 0.4178960 y el Loss es 0.5044433 para cada una de las neuronas, respectivamente.

Al implementar una segunda capa oculta en la red neuronal, se observó un cambio en el desempeño del modelo en comparación con la arquitectura que contenía una sola capa oculta. Específicamente, se analizó la variación del error cuadrático medio (MSE), identificándose mejoras o deterioros en función de la configuración aplicada. La determinación de la topología óptima de la red reveló que el uso de Análisis de Componentes Principales (PCA) fue eficaz para establecer el número adecuado de capas ocultas [26]. Asimismo, la evaluación exhaustiva de distintas combinaciones en el número de neuronas por capa, siguiendo criterios previamente establecidos en la literatura, permitió afinar la arquitectura final del modelo, contribuyendo a una mejora en la precisión del pronóstico del desempleo [27].

```
Model: "sequential_57"
_________________________________________________________________
 Layer (type)                Output Shape              Param #   Trainable
=================================================================
 normalization_5 (Normalizati  (None, 7)               15        Y
 on)
 dropout_52 (Dropout)        (None, 7)                 0         Y
 dense_154 (Dense)           (None, 16)                128       Y
 dense_153 (Dense)           (None, 1)                 17        Y
=================================================================
Total params: 160
Trainable params: 145
Non-trainable params: 15
_________________________________________________________________
```

Figura 8: Arquitectura de la red neuronal recurrente con una capa oculta

3.1.3. Análisis de Sensibilidad con PCA.

El modelo secuencial de NN con 8 entradas y dos capas ocultas (16 neuronas en la primera capa, óptima tras pruebas entre 8-20 neuronas), logró un Loss de 0.284 y MSE de 0.206 en pruebas con datos no vistos. El análisis reveló que la primera capa es crítica es decir, pequeños cambios en sus pesos afectan más el rendimiento que en la segunda. Algunas entradas son sensibles, es decir, ciertos datos influyen desproporcionadamente en el error, sugiriendo dependencias temporales clave. No hay problemas de gradientes ya que pese a la profundidad, el flujo de errores se

mantuvo estable (tanh/ReLU ayudaron). La arquitectura es robusta, pero conviene monitorear entradas críticas y ajustar regularización. Ideal para series temporales con patrones complejos El PCA como técnica de reducción de dimensiones, permitió calcular el número de variables mediante las cuales se pudo determinar progresivamente la varianza de un conjunto de variables. El PCA se ejecutó mediante la función princomp de R y los resultados se muestran en la Tabla 2 y figura 9.

Tabla 2: Resultados del análisis de componentes principales ejecutado sobre la base de datos

	Comp.1	**Comp.2**	**Comp.3**	**Comp.4**
Standard deviation	35.1015223	16.4474154	8.0623244	4.47688338
Proportion of Variance	0.7687486	0.1687826	0.0405558	0.01250501
Cumulative Proportion	0.7687486	0.9375312	0.9780870	0.99059200
	Comp.5	**Comp.6**	**Comp.7**	**Comp.8**
Standard deviation	3.020677813	1.900832634	1.472044510	0.417319785
Proportion of Variance	0.005693001	0.002253444	0.001351993	0.0001086602
Cumulative Proportion	0.996285003	0.998539347	0.999891340	1.000000000

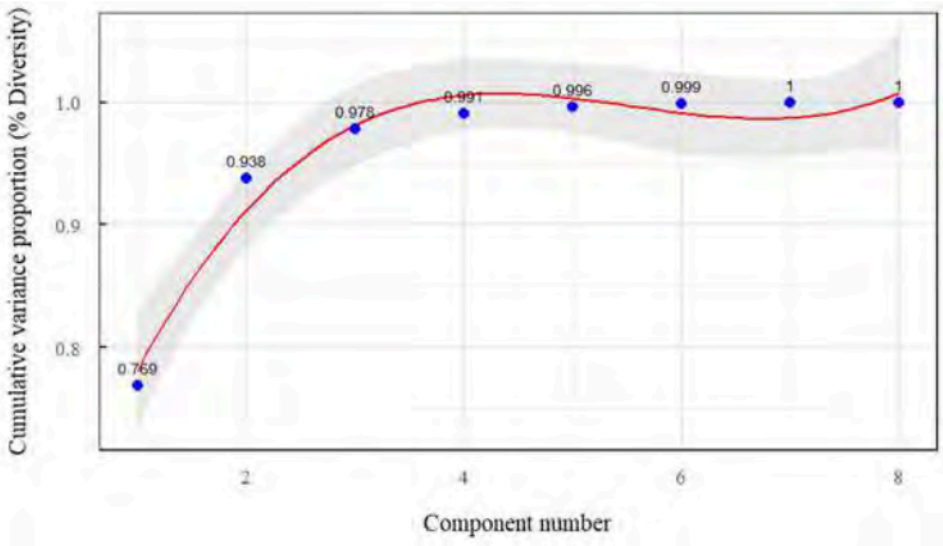


Figura 9: Proporción acumulada de la varianza para cada número de componentes obtenido mediante el PCA

Como se observó en la Figura 8, se necesitó más de 8 componentes principales en el modelo para poder explicar más del 75 % de la varianza presente en los datos. Por lo cual y de acuerdo con [17], se probaron modelos de hasta 2 capas ocultas para configurar la topología óptima de la red neuronal.

3.1.4. Modelo de Deep Learning con dos capas ocultas.

Para continuar explorando el modelo, se añadió una segunda capa oculta con el fin de evaluar si esto genera mejoras en el rendimiento en comparación con la configuración previa. En la primera capa oculta se determinó que 8 neuronas ofrecían el mejor desempeño. Por lo tanto, en esta nueva capa oculta se probó combinaciones que iban desde 8 hasta 20 neuronas, es decir, desde la mitad hasta el doble de neuronas que en la primera capa. Se mantuvo el uso de la función de activación ReLU, con tasa de aprendizaje de 0.1 y una Layer dropout de 0.2. Los resultados de las métricas de rendimiento para las distintas configuraciones de la segunda capa oculta se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Métricas de desempeño para diferentes configuraciones de redes neuronales con una capa oculta

Number of neurons	Loss	MSE
8	0.3253975	0.2586036
9	0.3584613	0.3152414
10	0.2977118	0.2471480
11	0.3277122	0.2732615
12	0.3142872	0.2550138
13	0.2971343	0.2419511
14	0.3522452	0.3275869
15	0.3093087	0.2364802
16	**0.2846069**	**0.2063614**
17	0.2998758	0.2382888
18	0.3691668	0.3620637
19	**0.3027082**	**0.2160653**
20	0.3027082	0.9700000
21	0.3027082	1.6400000

En la tabla 3 se apreció varias configuraciones de número de neuronas para el modelo con una sola capa, en este caso las configuraciones que presentaron un mayor desempeño son con 16 y 19 neuronas las cuales alcanzaron las mejores métricas del bucle iterativo que se realizó para encontrar las mejores configuraciones.

3.1.5. Modelo de Deep Learning con dos capas ocultas.

Se volvió a correr el proceso anterior, se añadió una segunda capa oculta con el fin de evaluar si esto genera mejoras en el rendimiento en comparación con la configuración previa. En la primera capa se determinó 16 neuronas para el mejor desempeño. En la segunda capa oculta se evaluó cada modelo posible desde 8 hasta 32 neuronas, es decir, desde la mitad hasta el doble de neuronas de la capa anterior. Se mantuvo el uso de la función de activación ReLU, así como la optimización mediante el modelo Adam con tasa de aprendizaje de 0.1. Los resultados obtenidos para las distintas configuraciones de la segunda capa oculta se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Métricas de desempeño para diferentes configuraciones de redes neuronales con dos capas ocultas.

Número de Neuronas (Capa 2)	Loss	MSE
9	0.5044433	0.4178960
10	0.5044433	0.4178960
11	0.5044433	0.4178960
12	0.5044433	0.4178960
13	0.5044433	0.4178960
14	0.5044433	0.4178960
15	0.5044433	0.4178960
16	**0.5044433**	**0.4178960**
17	0.5044433	0.4178960
18	0.5044433	0.4178960
19	0.5044433	0.4178960
20	0.5044433	0.4178960
21	0.5044433	0.4178960
22	0.5044433	0.4178960
23	0.5044433	0.4178960
24	0.5044433	0.4178960
25	0.5044433	0.4178960
26	0.5044433	0.4178960
27	0.5044433	0.4178960
28	0.5044433	0.4178960
29	0.5044433	0.4178960
30	0.5044433	0.4178960
31	0.5044433	0.4178960
32	0.5044433	0.4178960
33	0.5044433	0.4178960
34	0.5044433	0.4178960
35	0.5044433	0.4178960
36	0.5044433	0.4178960
37	0.5044433	0.4178960
38	0.5044433	0.4178960

En la tabla 4 se muestra varias configuraciones de número de neuronas para el modelo con dos capas ocultas, no existen algunas configuraciones que presenten un mayor desempeño. Es decir, el loss y MSE no representan un cambio menor con respecto a los valores de la tabla 3. El proceso de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal con dos capas ocultas se observan en las figuras 10 y 11, a continuación.

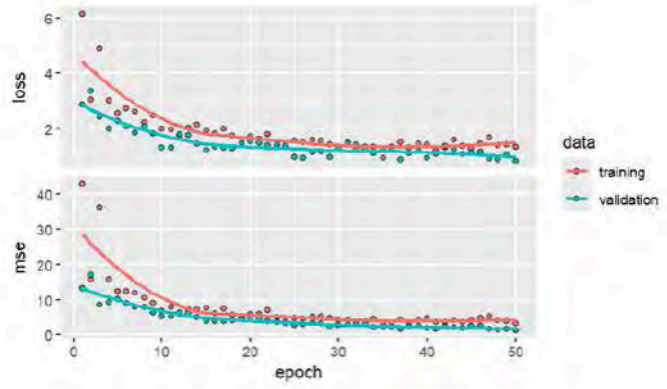
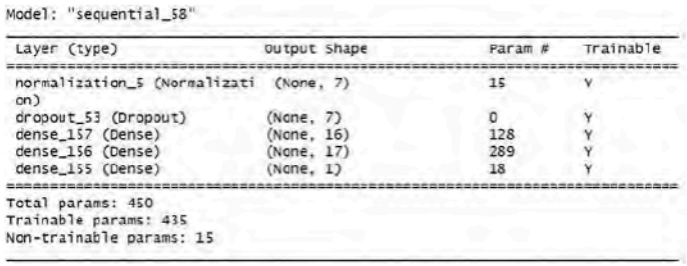


Figura 10: Proceso de entrenamiento de la red neuronal propuesta con dos capas ocultas



```
Model: "sequential_58"
_________________________________________________________________
 Layer (type)                Output Shape              Param #   Trainable
=================================================================
 normalization_5 (Normalizati (None, 7)                15        Y
 on)
 dropout_53 (Dropout)        (None, 7)                 0         Y
 dense_157 (Dense)           (None, 16)                128       Y
 dense_156 (Dense)           (None, 17)                289       Y
 dense_155 (Dense)           (None, 1)                 18        Y
=================================================================
Total params: 450
Trainable params: 435
Non-trainable params: 15
_________________________________________________________________
```

Figura 11: Arquitectura de la red neuronal propuesta con dos capas ocultas

3.1.6. Modelo de red con pronóstico

El modelo con una sola capa oculta presenta mayor desempeño con respecto a la red con dos capas ocultas en función al MSE igual a 0.2063614, con 16 neuronas para estas capas respectivamente. Por último, con la red de una sola capa oculta presenta un accuracy de 0.75 % con 16 neuronas, esto permite pronosticar el desempleo para determinados intervalos de tiempo a futuro con 75 % de precisión como esta en la Tabla 5.

Tabla 5: Métricas de desempeño para diferentes configuraciones de redes neuronales con una capa oculta y pronóstico

Número de Neuronas	Loss	MSE	Accuracy
8	0.3253975	0.2586036	0.6000000
9	0.3584613	0.3152414	0.7000000
10	0.2977118	0.2471480	0.6000000
11	0.3277122	0.2732615	0.6000000
12	0.3142872	0.2550138	0.6000000
13	0.2971343	0.2419511	0.5000000
14	0.3522452	0.3275869	0.6500000
15	0.3093087	0.2364802	0.7000000
16	**0.2846069**	**0.2063614**	**0.7500000**
17	0.2998758	0.2382888	0.6500000
18	0.3691668	0.3620637	0.6500000
19	**0.3027082**	**0.2160653**	**0.6500000**
20	0.3027082	0.9700000	0.6500000
21	0.3027082	1.6400000	0.6500000

En la Tabla 6, se observa la red con dos capas ocultas y su accuracy.

Tabla 6: Métricas de desempeño para diferentes configuraciones de redes neuronales con dos capas ocultas y *accuracy*

Número de Neuronas	Loss	MSE	Accuracy
9	0.5044433	0.4178960	0.4100000
10	0.5044433	0.4178960	0.4100000
11	0.5044433	0.4178960	0.4100000
12	0.5044433	0.4178960	0.4100000
13	0.5044433	0.4178960	0.4100000
14	0.5044433	0.4178960	0.4100000
15	0.5044433	0.4178960	0.4100000
16	**0.5044433**	**0.4178960**	**0.4100000**
17	0.5044433	0.4178960	0.4100000
18	0.5044433	0.4178960	0.4100000
19	0.5044433	0.4178960	0.4100000
20	0.5044433	0.4178960	0.4100000
21	0.5044433	0.4178960	0.4100000
22	0.5044433	0.4178960	0.4100000
23	0.5044433	0.4178960	0.4100000
24	0.5044433	0.4178960	0.4100000
25	0.5044433	0.4178960	0.4100000
26	0.5044433	0.4178960	0.4100000
27	0.5044433	0.4178960	0.4100000
28	0.5044433	0.4178960	0.4100000
29	0.5044433	0.4178960	0.4100000
30	0.5044433	0.4178960	0.4100000
31	0.5044433	0.4178960	0.4100000
32	0.5044433	0.4178960	0.4100000
33	0.5044433	0.4178960	0.4100000
34	0.5044433	0.4178960	0.4100000
35	0.5044433	0.4178960	0.4100000
36	0.5044433	0.4178960	0.4100000
37	0.5044433	0.4178960	0.4100000
38	0.5044433	0.4178960	0.6500000

Finalmente, se verificó cada modelo con su desempeño con los datos de prueba que no se observaron en cada modelo durante el proceso de entrenamiento. Este conjunto estuvo conformado por 15 observaciones y se midió su desempeño con las métricas Loss y MSE. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 7.

Tabla 7: Comparación de los modelos implementados, evaluados sobre la base de datos Test

Métricas	Modelo secuencial de una capa oculta	Modelo secuencial de dos capas ocultas
Loss	0.2846069	0.5044433
Accuracy	0.7500000	0.4100000
MSE	0.2063614	0.4178960

Como se observó en la Tabla 7, el mejor modelo fue con una capa oculta y 16 neuronas, logrando un desempeño con las métricas de Loss = 0.2846069 y MSE = 0.2063614, es decir, el modelo más efectivo para abordar el modelo y pronóstico del desempleo.

4. Discusion

Los resultados muestran que existen diversas técnicas multivariantes propuestas en varios textos para analizar variables continuas. Al analizar el desempleo en función de las variables predictoras

$$[x_1, \ldots, x_7]$$

se observó que técnicas convencionales como las regresiones múltiples no son lo suficientemente robustas para obtener buenos resultados con los distintos modelos, dado el conjunto de datos propuesto.

Por el contrario, las redes neuronales son ensambles de neuronas artificiales y modelos secuenciales, en donde cada una presenta la posibilidad de aprender los comportamientos no lineales partiendo de los datos. Como se pudo visualizar en la Tabla 3, los modelos de Deep Learning alcanzan niveles de desempeño y precisión excelentes en la tarea de encontrar los valores óptimos para el *loss* y el *MSE*. Esto demuestra la capacidad de las redes neuronales (NN) de modelar el desempleo con menor error en la calidad de ajuste del modelo en comparación con la regresión lineal múltiple.

Si relacionamos la información del estudio previo de [7], en donde la investigación se realizó de forma semejante para modelar y predecir el desempleo en función de varias variables, entre ellas el producto interno bruto, se puede apreciar que el uso de las redes neuronales es óptimo con respecto a otros modelos como los obtenidos por regresión lineal, árboles de decisión, etc.

Los hallazgos de este estudio resaltan la superioridad de las NN frente a métodos econométricos tradicionales para modelar y predecir el desempleo en Ecuador. Mientras que investigaciones previas, como las basadas en la Ley de Okun [1, 2, 3, 4], identificaron correlaciones lineales entre variables macroeconómicas y desempleo, sus enfoques estáticos (ej. Mínimos Cuadrados Ordinarios - MCO - o modelos logarítmicos) mostraron limitaciones para capturar dinámicas no lineales y dependencias temporales inherentes a fenómenos socioeconómicos. Por ejemplo, los coeficientes de Okun reportados (entre $-0{,}84$ y $-0{,}266$) reflejan relaciones inversas entre PIB y desempleo, pero su capacidad predictiva se ve afectada ante shocks externos o cambios estructurales, comunes en economías en desarrollo como la ecuatoriana.

En contraste, las NN demostraron adaptabilidad al aprender patrones complejos y secuenciales en los datos, incluso con un conjunto limitado de variables (8 predictores). La configuración óptima de una capa oculta con 16 neuronas, que alcanzó un MSE de 0.2064 y precisión del 75 %, sugiere que arquitecturas simples pero especializadas pueden lograr un equilibrio entre rendimiento y eficiencia computacional. Esto contrasta con modelos lineales multivariantes, que subestimaron el impacto no lineal de variables como la inflación (x_2) o la tasa de interés (x_7) en el desempleo.

Adicionalmente, la capacidad de las NN para procesar interdependencias temporales como el efecto retardado del PIB (x_1) o el gasto público (x_6) explica su ventaja en escenarios donde el desempleo responde asincrónicamente a cambios macroeconómicos.

Cabe destacar que variables como el salario mínimo real (x_5) y las exportaciones (x_3) mostraron influencias ambiguas en modelos tradicionales, pero las NN lograron contextualizar su rol dentro de interacciones multivariadas. Esto coincide con hallazgos de [7], donde redes neuronales superaron a árboles de decisión y regresiones lineales al incorporar efectos indirectos, como el impacto de las importaciones (x_4) en la competitividad laboral. No obstante, la escasez de datos históricos de alta frecuencia en Ecuador, especialmente en períodos de crisis, plantea desafíos para generalizar los resultados, un problema común en estudios de economías emergentes [4].

Conclusiones

El presente estudio, enfocado en modelar y predecir el desempleo en Ecuador mediante el uso de redes neuronales, demostró ser óptimo, ayudando a contrastar con otros trabajos similares que el desempleo puede verse influenciado por variables como el gasto público, el salario mínimo y la inflación. El instrumento constó de 8 variables que consideran los factores anteriormente mencionados. Todos los datos obtenidos de cada variable fueron estructurados como observaciones, las cuales ayudaron a determinar las variables automáticas obtenidas por técnicas multivariantes.

En el presente estudio se emplearon redes neuronales con una y dos capas ocultas, y varios modelos de Deep Learning. De todas las técnicas implementadas, se determinó que el modelo de una capa oculta con la configuración de 16 neuronas fue el que logró el mejor desempeño para la detección automática del modelamiento del desempleo, alcanzando un desempeño con las métricas de $Loss = 0.2846069$, $Accuracy = 0.7500000$ y $MSE = 0.2063614$, considerando la existencia de una base de datos de prueba que no fue observada durante el proceso de entrenamiento en las redes neuronales. En contraste, la regresión lineal mostró una calidad de ajuste de 29.73 %.

Se concluye entonces que, para modelar y predecir el desempleo, el uso de redes neuronales (NN) refleja que se pueden obtener resultados óptimos con dichas métricas, por ende, una mejor calidad de ajuste de la variable desempleo en función de las variables predictoras. Este estudio evidencia que las NN son herramientas efectivas para modelar y predecir el desempleo en Ecuador, superando métodos tradicionales como la Ley de Okun o regresiones múltiples. La configuración óptima, una red con una capa oculta de 16 neuronas, logró métricas robustas ($MSE = 0.2064$, precisión del 75 %) al capturar relaciones no lineales y secuenciales entre variables macroeconómicas clave: PIB, inflación, gasto público y tasa de interés. Estos resultados subrayan que el desempleo en Ecuador no solo responde a fluctuaciones económicas directas, sino también a interacciones complejas entre políticas fiscales, variables externas

(exportaciones/importaciones) y factores laborales (salario mínimo).

En concreto, pese al ajuste bajo que refleja el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) para modelar el desempleo, se puede respaldar con los aportes de la NN con una sola capa oculta y 16 neuronas, concluyendo que el modelo está significativamente condicionado al gasto público, salario mínimo e inflación, con $MSE = 0.20$ para el ajuste del modelo.

La superioridad de las NN radica en su capacidad para adaptarse a la volatilidad estructural de economías en desarrollo, donde shocks externos (ej. crisis globales, fluctuaciones de commodities) alteran abruptamente tendencias históricas. Esto las posiciona como herramientas valiosas para diseñar políticas públicas proactivas, permitiendo simular escenarios bajo diferentes condiciones macroeconómicas.

Sin embargo, se recomienda ampliar el conjunto de variables predictoras — incorporando, por ejemplo, indicadores de informalidad laboral o inversión extranjera — y validar los modelos con datos en tiempo real para mejorar su aplicabilidad. Futuras investigaciones podrían explorar arquitecturas híbridas (ej. NN con atención mecanista) o comparar desempeños con otros algoritmos de inteligencia artificial (ej. Transformers) [7], especialmente en contextos de alta incertidumbre.

Referencias

[1] M. B. Castro and K. Beltrán, "Análisis correlación del crecimiento económico y la tasa de desempleo en el ecuador (período 2012-2021)," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 4, pp. 4020–4035, 2023.

[2] A. D. C. Vega-Granda, Y. L. Bermeo-Pineda, and F. Y. Vega-Jaramillo, "Solange del cisne gonzález-toro," vol. 7, pp. 661–680, 2021.

[3] L. Flores-Cevallos and C. Flores-Tapia, "Análisis econométrico del desempleo y crecimiento económico: aplicación de la ley de okun para la economía ecuatoriana en el período 1990 - 2010," *Ekotemas*, vol. 3, no. 2, pp. 97–118, 2017. [Online]. Available: https://www.ekotemas.cu/index.php/ekotemas/article/view/226/146

[4] R. Patiño, L. Molero, J. Ruperti, and V. Fernández, "Efectos del pib sobre el desempleo en mujeres y jóvenes en el ecuador (2007-2019)," *Avances en Investigación Científica*, vol. 2, pp. 741–754, 2020. [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7958752

[5] A. Campoverde, C. Ortiz, and V. Sánchez, "Relación entre la inflación y el desempleo: una aplicación de la curva de phillips para ecuador, latinoamérica y el mundo," *Revista Vista Económica*, vol. 1, no. 1, pp. 22–34, 2016. [Online]. Available: https://revistas.unl.edu.ec/index.php/economica/article/view/200

[6] C. A. Abad-Basantes, J. H. Abad-Basantes, J. C. Ávila Armijos, and L. F. Albuja-Loachamin, "La dinámica de la inflación y el desempleo: Un estudio econométrico basado en la curva de phillips," *Journal of Economic and Social Science Research*, vol. 4, no. 2, pp. 1–16, 2024.

[7] K. Mero, N. Salgado, J. Meza, J. Pacheco-Delgado, and S. Ventura, "Unemployment rate prediction using a hybrid model of recurrent neural networks and genetic algorithms," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 8, 2024.

[8] I. Bonet Cruz, S. Salazar Martínez, A. Rodríguez Abed, G. Ábalo, M. García Lorenzo, and M. Matilde, "Redes neuronales recurrentes para el análisis de secuencias," *IEEE*, 2007.

[9] "Datosmacro," https://datosmacro.expansion.com/, 2024.

[10] R. T. Yela Burgos, J. L. Rivera Velasco, Y. M. Leturne Macías, and S. M. Moreira Macías, "Efecto de la variación de la producción en el desempleo del ecuador basado en la ley de okun," *Espergesia*, vol. 11, no. 1, p. e110105, 2024.

[11] G. Avellán-Solines, "Efectos del dólar y petróleo en el desempleo urbano en ecuador," *Economía y Negocios*, vol. 9, no. 1, pp. 113–119, 2018.

[12] L. A. Lopez Nuñez, "Facultad de contabilidad y auditoría," https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27090/1/T4158e.pdf, 2021, new England Journal of Medicine, pp. 1–93.

[13] Banco Central del Ecuador (BCE), "Datos económicos," 2024.

[14] "Variables económicas del ecuador," https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=39&c=ec&l=es, 2024, indexmundi.

[15] INEC, "Desempleo en el ecuador," https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/, 2024.

[16] M. T. Hagan, H. B. Demuth, M. H. Beale, and O. De Jesús, *Neural Network Design 2nd Edition*, 2nd ed., 2014.

[17] M. I. C. Rachmatullah, J. Santoso, and K. Surendro, "Determining the number of hidden layer and hidden neuron of neural network for wind speed prediction," *PeerJ Comput Sci*, vol. 7, pp. 1–19, 2021.

[18] S. Indolia, A. K. Goswami, S. P. Mishra, and P. Asopa, "Conceptual understanding of convolutional neural network- a deep learning approach," in *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 2018, pp. 679–688.

[19] E. P. Herrera-Granda and M. J. Aza-Espinosa, "Assessment of learning achievements in higher education using moodle virtual classrooms and h5p: A case study," *Preprints*, feb 2025, licencia: CC BY 4.0.

[20] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, pp. 1735–1780, 1997.

[21] I. Quinteros, *Modelos econométricos y estadísticos*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi-UPEC, 2024.

[22] C. C. Aggarwal, *Neural Networks and Deep Learning*. Cham: Springer International Publishing, 2018.

[23] S. Weidman, *Deep Learning from Scratch*, 1st ed. O'Reilly, 2019.

[24] Y. LeCun and Y. Bengio, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, mayo 2015.

[25] R. S. Pindyck and D. L. Rubinfeld, *Econometría: Modelos y pronósticos*, 4th ed. McGraw-Hill, 2001.

[26] E. M. Quindemil Torrijo and F. Rumbaut León, "Análisis de componentes principales para obtener indicadores reducidos de medición en la búsqueda de información," 2019. [Online]. Available: https://orcid.org/0000-0003-3705-6297

[27] M. T. Hagan, H. B. Demuth, M. H. Beale, and O. De Jesús, *Neural Network Design 2nd Edition*, 2nd ed., 2014.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Influencia de la Frecuencia y Tiempo de Inyección en el Funcionamiento de Inyectores CRDi

Influence of Injection Frequency and Time on the Operation of CRDi Injectors

Carlos Mafla-Yépez[a,b], César Morales-Bayetero[a,b], Jorge Melo-Obando[a,b], Paúl Hernández-Rueda[a,b], Jesús Mafla-Ortiz[c]

[a] Grupo de Investigación de Ciencias en RED (eCIER), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
[b] Grupo de Investigación de Ingeniería Automotriz (GIIA), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
[c] Independiente, Ibarra, Ecuador

Recibido: XX/XX/2024, Aceptado: XX/XX/2025
Autor de correspondencia: Carlos Mafla: cnmafla@utn.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1095

PALABRAS CLAVE
Inyectores CRDi,
Frecuencia, Tiempo de Inyección,
Entrega de Combustible,
Alta Presión

RESUMEN
El artículo analiza la influencia de la frecuencia y el tiempo de inyección en el funcionamiento de inyectores electrónicos. En el proceso experimental, se controlaron dos variables independientes y tres dependientes, obteniendo la cantidad de entrega, retorno de combustible y presión en el riel mediante el uso de un equipo de simulación de pulsos de inyección. Se realizaron pruebas con diferentes combinaciones de tiempo y frecuencia. Los resultados mostraron que la frecuencia tiene una influencia significativa en la cantidad de inyección y retorno de combustible, siendo la variable más relevante. Se encontró que la entrega de combustible aumenta en función del tiempo y la frecuencia, siendo 1.5 ms el punto donde se obtuvo la mayor entrega al variar de 5 a 20 Hz. Además, la presión en el riel mostró una relación inversa con el tiempo de inyección y frecuencia, reduciéndose en un 17.5 %, 11.1 %, 11.4 % y 11.7 % en los valores de 5, 10, 15 y 20Hz, respectivamente. El análisis estadístico reveló que los modelos ajustados explican de manera efectiva la variabilidad de entrega de combustible y la presión del riel.

KEYWORDS
CRDi Injectors,
Frequency,
Injection Timing,
Fuel Delivery,
High Pressure

ABSTRACT
The article analyzes the influence of injection frequency and duration on the performance of electronic injectors. In the experimental process, two independent variables and three dependent variables were controlled, measuring the amount of delivery, fuel return, and rail pressure using an injection pulse simulation device. Tests were conducted with different combinations of time and frequency. The results showed that frequency has a significant influence on the amount of injection and fuel return, being the most relevant variable. It was found that fuel delivery increases as a function of time and frequency, with 1.5 ms being the point at which the highest delivery was achieved when varying from 5 to 20 Hz. In addition, rail pressure showed an inverse relationship with injection time and frequency, decreasing by 17.5 %, 11.1 %, 11.4 %, and 11.7 % at 5, 10, 15, and 20 Hz, respectively. Statistical analysis revealed that the fitted models effectively explain the variability in fuel delivery and rail pressure.

1. Introducción

La inyección de combustible es un proceso complejo que requiere mucho trabajo. Se han realizado muchos estudios sobre el impacto de la variación en la presión de inyección de combustible en el rendimiento y las emisiones de los motores de combustión interna [1], el intervalo de inyección puede alterar el momento de la colisión y la posición de las columnas de rociado, que son muy importantes para la ignición de diésel [2]. Además, el consumo de combustible varía dependiendo del régimen del motor. Por un lado, se reduce la pérdida de calor, lo que aumenta la temperatura y la presión dentro del cilindro. Por otro lado, la alta presión de inyección a régimen más altas también contribuye a la atomización y evaporación del combustible [3]Cuando se trata de la carga y la velocidad del motor, el consumo de combustible aumenta a medida que aumenta la carga y la velocidad del motor, para producir más potencia [4]. A alta presión, se inyectará una gran cantidad de combustible en la cámara de combustión, lo que puede provocar un rápido aumento de la tasa de liberación de calor en la etapa inicial de la combustión. Por lo tanto, es necesario ajustar la cantidad de combustible en la combustión premezclada a través de un control efectivo de la dosificación de combustible [5].

1.1. Inyectores CRDi

Una de las soluciones más viables para combatir los problemas ambientales y socioeconómicos que generan los combustibles fósiles es mejorar el funcionamiento del sistema de inyección y en especial de los inyectores, ya que estos poseen una serie de características que ayudan a solventar dicha problemática [1]. Para la utilización de combustibles alternativos se realizó pruebas con diferente número de orificios en los inyectores, así como con diferentes formas de la cámara de combustión [6]. Se han propuesto varios ideales para reducir en gran medida las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (PM), siendo estos los más perjudiciales para el medio ambiente, la reducción del tamaño del motor, el retardo de la sincronización de la inyección o la dilución mediante gases de escape se postulan como posibles soluciones viables ante la problemática planteada [7]. Se prueban dos tipos de inyecciones, retardadas y divididas que funcionan en conjunto con la recirculación de gases (EGR), el primer tipo de inyección esta dado por una sola inyección principal a diferentes parámetros, mientras que la segunda está compuesta por una inyección piloto y una principal a parámetros preestablecidos [8].

1.2. Ancho de pulso de inyección

El ancho de pulso de inyección (API) es un parámetro importante en la inyección electrónica de combustible (EFI) en los motores de combustión interna. Según [9], el API influye en la cantidad de combustible inyectado y, por lo tanto, en el rendimiento del motor. Por otro lado, [10] mencionan que el API también afecta la emisión de gases de escape, especialmente en motores diésel. Una API demasiado corta puede provocar una combustión incompleta y un exceso de emisiones, mientras que una API demasiado larga puede reducir la eficiencia del motor y aumentar la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx). En cuanto a la selección óptima de API, algunos estudios sugieren que puede variar según las condiciones de conducción. Según [11], un API más corto puede mejorar la eficiencia del combustible en condiciones de carga baja, mientras que un API más largo puede ser beneficioso para la aceleración y la velocidad máxima. Además, [12] encontraron que un API más largo puede reducir la vibración del motor, especialmente en bajas rpm. En la actualidad, la mayoría de los sistemas EFI utilizan algoritmos de control automático para ajustar el API en tiempo real. Según [13], estos algoritmos se basan en múltiples factores, como la velocidad del motor, la carga del acelerador, la temperatura del aire de admisión y la posición del cigüeñal. Además, algunos investigadores han propuesto métodos para optimizar el API utilizando técnicas de aprendizaje automático [14], [15] o modelos de simulación numérica.

1.3. Tiempo de inyección y caudal

En comparación con el modo de inyección de elevación alta, el inyector en el modo de inyección de elevación baja tiene una mayor precisión de control en la cantidad de inyección, y esta cambia casi linealmente con el IPW [16]. El flujo dentro de la boquilla del inyector de combustible diésel está directamente asociado con la posterior atomización del chorro y el rendimiento de la mezcla aire-combustible [17]. Los parámetros de mezcla son el inicio de la inyección, curva de inyección y duración de la inyección, presión de inyección, número de inyecciones. Los parámetros de inyección (preinyección, inyección principal, cantidad de combustible inyectada, presión de inyección y comienzo de la inyección). La ECU calcula los parámetros de inyección en función de otros parámetros externos como: temperatura, velocidad

del motor, carga, altitud, dwell time (DT) en el retraso hidráulico y la masa de combustible inyectada, los tiempos de energización correspondientes a la masa constante de combustible de 70 mg + 40 mg y valores fijos de prail = 80 MPa y pback = 5 MPa para los valores de DT empleados desde 1.15 ms hasta 3 ms, el retraso hidráulico de la segunda inyección aumenta en el intervalo de 1.15 DT 1.5 y disminuye para valores de DT mayores a 1.5 ms [18].

1.4. Frecuencia de inyección

La investigación relaciona el proceso de diagnóstico de los elementos eléctricos y electrónicos que son utilizados como componentes del sistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDi mediante el uso de una interfaz gráfica multifunción que relaciona el voltaje y corriente precisos del sistema CRDi [19]. Influencia de las estrategias de inyección múltiple en la caracterización del chorro diésel empleando inyectores diésel tipo solenoide y piezoeléctrico se centra en profundizar en el conocimiento de la influencia de las estrategias de inyección múltiple en el comportamiento del chorro diésel, utilizando un inyector diésel piezoeléctrico y un solenoide, específicamente evaluando los parámetros macroscópicos del chorro diésel, tales como el área, el ángulo y la penetración, bajo diferentes estrategias de inyección [20]. La simulación de grandes remolinos (LES) de combustión por pulverización de inyección múltiple en condiciones similares a las de un motor se realiza utilizando un modelo acoplado de una función de densidad de probabilidad transportada por un campo estocástico euleriano (ESF T-PDF) y un colector generado por flamelet (FGM) [21].

2. Materiales y Métodos

En la investigación se utiliza un sistema de inyección diésel CRDi instalado en un banco de pruebas de bombas de inyección, a través del cual se controla el giro de la bomba, tiempo de prueba y se obtiene la cantidad de combustible inyectado y su retorno desde un inyector electrónico. Además, se dispone de un equipo simulador de pulsos de inyección que permitirá controlar el tiempo del pulso de inyección y la frecuencia en la señal de activación hacia el inyector. En la Fig. 1 se indica los materiales y equipos utilizados en la investigación.

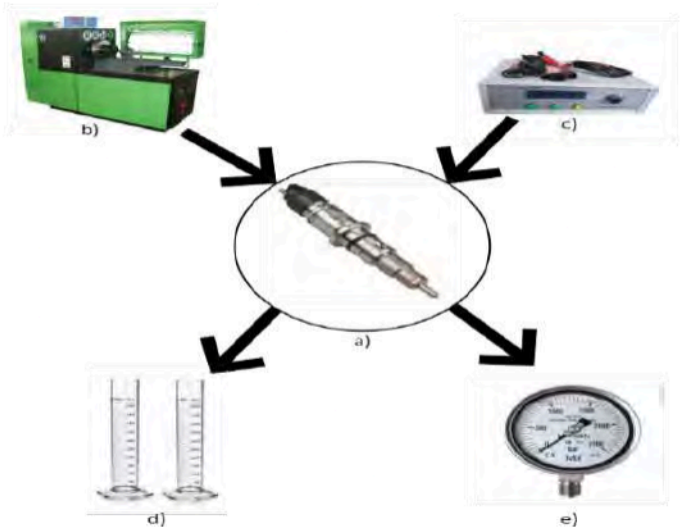


Figura 1: Equipos y materiales: a) Inyector electrónico, b) Banco de inyección diésel, c) Simulador de pulsos de inyección, d) Entrega y retorno de combustible, e) Manómetro alta presión.

2.1. Materiales

2.1.1. Inyectores sistemas CR

Los inyectores con sistema CR que se utilizaron en esta investigación son de marca Bosch tipo CRIN2-16-BL, principalmente utilizados en camiones, cuentan con una alimentación de 12 voltios y una presión máxima de 600 bares por inyector.



Figura 2: Inyector CRIN2.

2.1.2. Inyectores sistemas CR

La función del probador CRI200 es simular los pulsos de trabajo que son enviados desde el computador del vehículo hacia los inyectores. Los parámetros de la señal pueden ser ejecutados según la necesidad de la investigación, también se puede agrupar información con el fin de facilitar el análisis de fallas en varias disposiciones de trabajo del inyector.



Figura 3: Inyector CRIN2.

2.2. Diseño experimental

Para el proceso experimental se establecen las condiciones generales para las diferentes pruebas, como: 1000 RPM de giro de la bomba de inyección diésel de alta presión y 300 strongers (ciclos) para el tiempo de muestreo.Además, se establecen dos variables independientes y tres dependientes para cumplir con los objetivos planteados, las cuales se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Variables de estudio.

Tipo Variable	Variable	Unidad	Niveles
Dependiente	Tiempo inyección	ms	1, 1.5, 2
	Frecuencia	Hz	5, 10, 15, 20
Independiente	Entrega combustible	ml	-
	Retorno combustible	c	-
	Presión riel	Bar	-

De esta manera se obtiene la cantidad de entrega, retorno de combustible desde el inyector y la presión en el riel con los diferentes valores de tiempo de inyección y frecuencia que son controlados a través del equipo de simulación de pulsos de inyección. En la Fig. 4 se muestra el flujograma del método aplicado.

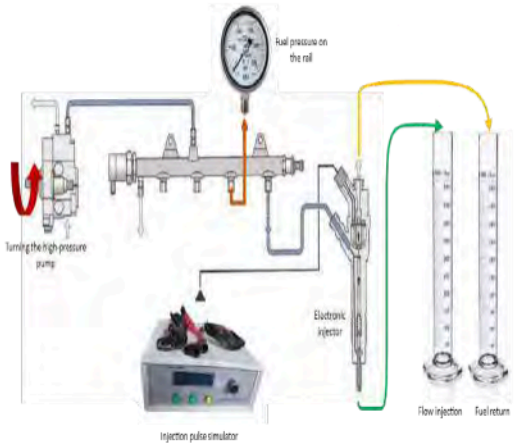


Figura 4: Flujograma del método aplicado.

Los valores obtenidos en cada una de las pruebas aplicadas permitirán realizar un análisis estadístico para conocer la influencia de las variables dependientes en el funcionamiento del inyector y el sistema de alta presión.

2.2.1. Procedimiento pruebas de entrega y retorno de combustible

El funcionamiento del inyector se controla a través del equipo simulador de pulsos de inyección, con el cual se controla el tiempo del pulso de inyección y la frecuencia del trabajo del inyector, además se programa el giro de la bomba a 1000 RPM y 300 strongers en el banco de pruebas de bombas de inyección diésel. De esta manera se obtiene la cantidad de entrega y retorno de combustible en los diferentes parámetros asignados en el diseño experimental de 1, 1.5 y 2 milisegundos de tiempo del pulso de inyección, además de 5, 10, 15 y 20 Hz de frecuencia. Con los valores obtenidos se analiza la influencia de estos dos parámetros en el funcionamiento del inyector y el sistema de alta presión.

2.2.2. Procedimiento pruebas de alta presión

Las pruebas en el riel de alta presión se realizan con las mismas condiciones de 1000 RPM del giro de la bomba y es controlada a través de un manómetro instalado en una de las salidas hacia los inyectores en el riel común. El valor de presión se obtiene en cada uno de los parámetros de funcionamiento del inyector variando el tiempo del pulso de inyección y la frecuencia, para de esta manera determinar la influencia del trabajo del inyector en los valores de alta presión en el riel.

3. Resultados

3.1. Entrega de combustible

Los resultados de entrega de combustible relacionados con las variables de frecuencia y tiempo del pulso de inyección indican que los dos parámetros tienen gran influencia en la variación de la cantidad de inyección de combustible con cada una de las combinaciones realizadas en las diferentes pruebas, siendo la frecuencia la de mayor importancia en los resultados obtenidos, como se puede observar en la Fig. 5 del diagrama de Pareto.

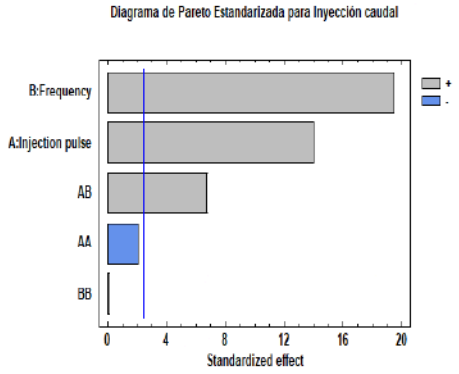


Figura 5: Diagrama de Pareto estandarizada para entrega de combustible.

En la Tabla 2, se muestra los resultados del análisis de varianza para la entrega de combustible en partes separadas para cada uno de los efectos, por lo que prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso existen 3 valores que tienen un valor P menor al 0.05 indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0

Tabla 2: Análisis de varianza para entrega de combustible.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Pulso inyección	567.845	1	567.845	195.15	0.0000
B: Frecuencia	1105.96	1	1105.96	380.08	0.0000
AA	12.615	1	12.615	4.34	0.0825
AB	133.225	1	133.225	45.78	0.0005
BB	0.0133333	1	0.0133333	0.00	0.9482
Error total	17.459	6	2.90983		
Total (corr.)	1837.12	11			

R-cuadrada = 99.0497 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.2577 %

Error estándar del est. = 1.70582

Error absoluto medio = 0.966389

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.0497 % de la variabilidad en entrega de combustible. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.2577 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar es 1.70582 y el error medio absoluto (MAE) de 0.966389 es el valor promedio de los residuos. En la Fig. 6 de superficie de respuesta estimada se presenta la relación de la entrega de combustible con las variables independientes de frecuencia y pulso de inyección, donde se puede observar que la cantidad de inyección de combustible incrementa de 6.6 ml a 46 ml como su valor máximo a medida que se aumenta el pulso de inyección y la frecuencia, siendo la más significativa a 20 Hz y 2 ms.

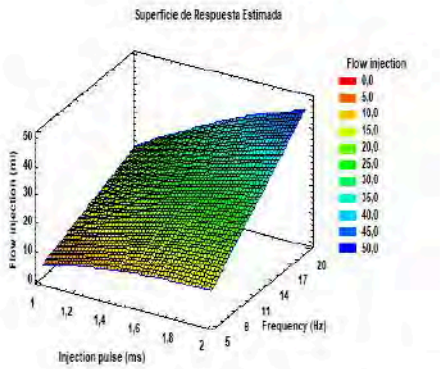


Figura 6: Superficie de respuesta estimada para entrega de combustible.

Se puede evidenciar que a 1ms de tiempo de inyección se obtiene un aumento del 65.2 % cuando se cambia de 5Hz a 20 Hz, a 1.5ms existe un incremento del 80.5 %, mientras que en 2ms se obtiene una variación del 75.6 %, donde se observa que la mayor entrega de combustible se obtiene a 1.5ms cuando la frecuencia cambia de 5 a 20Hz. La Tabla 3 indica los coeficientes de regresión para la variable entrega de combustible con intervalos de confianza del 95.0 %, a través de los cuales se obtiene el modelo ajustado relacionando el pulso de inyección y la frecuencia.

Tabla 3: Coeficientes de regresión para entrega de combustible.

Coeficiente	Estimado
Constante	-16.4583
A: Pulso inyección	24.7
B: Frecuencia	-0.439333
AA	-8.7
AB	1.46
BB	-0.00133333

A continuación, se muestra la ecuación del modelo ajustado con los valores obtenidos:

$$\text{Entrega de combustible} = -16.4583 + 24.7 \times \text{Pulso inyección} - 0.439333 \times \text{Frecuencia} - 8.7 \times \text{Pulso inyección}^2 + 1.46 \times \text{Pulso inyección}^2 \times \text{Frecuencia} - 0.00133333 \times \text{Frecuencia}^2 \quad (1)$$

3.2. Retorno de combustible

Para la cantidad de retorno de combustible como se indica en la Fig. 7 de Pareto, se puede observar que la frecuencia es la variable con mayor influencia en los resultados de las pruebas realizadas a comparación de los valores obtenidos al variar el pulso de inyección.

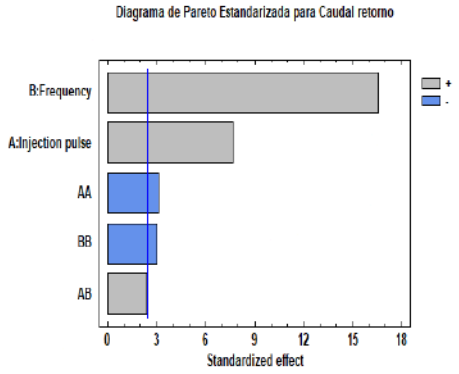


Figura 7: Diagrama de Pareto estandarizada para retorno de combustible.

El análisis de varianza indica que existen 4 valores que tienen un valor P menor al 0.05 indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0 %, luego de las pruebas de estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. Los resultados obtenidos en este análisis se indican en la Tabla 4.

Tabla 4: Análisis de varianza para retorno de combustible.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Pulso inyección	8.0	1	8.0	58.78	0.0003
B: Frecuencia	37.446	1	37.446	275.11	0.0000
AA	1.30667	1	1.30667	9.60	0.0212
AB	0.784	1	0.784	5.76	0.0533
BB	1.20333	1	1.20333	8.84	0.0248
Error total	0.81666	6	0.136111		
Total (corr.)	49.5567	11			

R-cuadrada = 98.3521 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.9788 %

Error estándar del est. = 0.368932

Error absoluto medio = 0.203333

A través del estadístico R-cuadrada ajustada, indica el 96.9788 % de la variabilidad en retorno de combustible al comparar modelos con diferente número de variables independientes. El error estándar en el promedio de los residuos muestra una desviación de 0.368932 y el error medio absoluto (MAE) de 0.203333. En el diagrama de superficie de respuesta estimada de la Fig. 8 se indica la relación del retorno de combustible con el pulso de inyección y la frecuencia. En esta se puede observar que existe una variación significativa al pasar de 1ms a 2ms en cada uno de los niveles de frecuencia, obteniendo un aumento del 50 % a 5Hz, 38.4 % a 10Hz, 34.7 % en 15 Hz y un incremento del 35.8 % a 20Hz, siendo a 5Hz en el nivel que mayor variación presenta en el retorno de los inyectores.

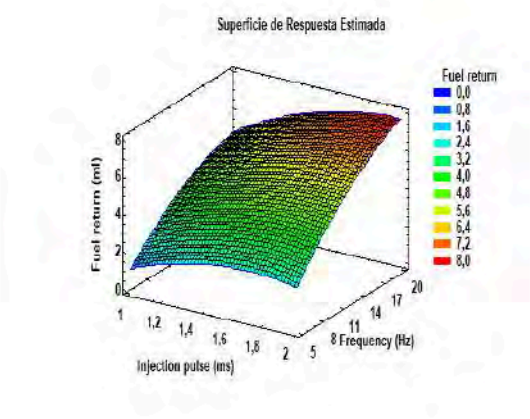


Figura 8: Superficie de respuesta estimada para retorno de combustible.

Además, se puede evidenciar que se obtiene un aumento en el retorno de combustible del 80 %, 67.5 % y 74.3 % con un tiempo del pulso de inyección de 1ms, 1.5ms, 2ms respectivamente, cuando la frecuencia varía de 5 a 20Hz, donde se puede observar que la menor variación en la cantidad de retorno se obtiene a 1.5 ms. En la Tabla 5 se presenta los coeficientes de regresión con intervalos del 95.0 % de confianza, a través de los cuales se obtiene el modelo ajustado relacionando el pulso de inyección y la frecuencia.

Tabla 5: Coeficientes de regresión para retorno de combustible.

Coeficiente	Estimado
Constante	-7.68333
A: Pulso inyección	9.0
B: Frecuencia	0.464667
AA	-2.8
AB	0.112
BB	-0.0126667

A continuación, se muestra la ecuación del modelo ajustado con los valores obtenidos para la variable retorno de combustible:

$$\begin{aligned}\text{Retorno de combustible} = &\text{-7.68333+9.0 } \times\text{Pulso inyección+0.464667} \\ &\times\text{Frecuencia-2.8}\times\text{Pulso inyección2} \\ &+0.112\times\text{Pulso inyección}\times\text{Frecuencia-0.0126667}\times\text{Frecuencia2} \end{aligned} \quad (2)$$

3.3. Presión del riel

La Fig. 9 del diagrama de Pareo estandarizada para presión en el riel indica que las variables de frecuencia y tiempo del pulso de inyección tienen gran influencia en cada una de las combinaciones de las pruebas realizadas, pero a diferencia de la entrega y retorno de combustible, en este caso se obtiene una relación en sentido inverso, es decir, cuanto mayor sea la frecuencia y el pulso de inyección los valores de alta presión descienden.

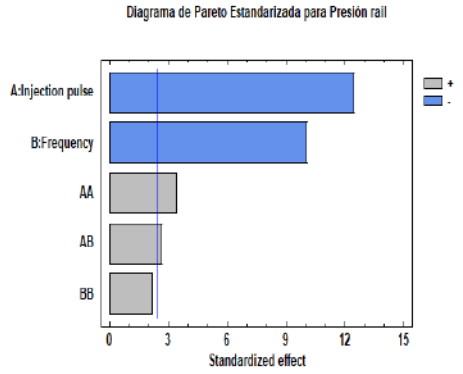


Figura 9: Diagrama de Pareto estandarizada para presión en el riel.

En la Tabla 6, se muestra los resultados del análisis de varianza donde el estadístico R-cuadrada ajustada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96.1529 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar es 10.7755 y el error medio absoluto (MAE) de 6.02778 en el valor promedio de los residuos. Además, en este caso existen 4 efectos que tienen un valor P menor al 0.05 indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0 %.

Tabla 6: Análisis de varianza para presión en el riel.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Pulso inyección	18050.0	1	18050.0	155.45	0.0000
B: Frecuencia	11760.0	1	11760.0	101.28	0.0001
AA	1350.0	1	1350.0	11.63	0.0143
AB	810.0	1	810.0	6.98	0.0385
BB	533.333	1	533.333	4.59	0.0758
Error total	696.667	6	116.111		
Total (corr.)	33200.0	11			

R-cuadrada = 97.9016 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.1529 %

Error estándar del est. = 10.7755

Error absoluto medio = 6.02778

En la Fig. 10 se presenta la relación de la presión del riel con las variables independientes de frecuencia y pulso de inyección, donde se puede evidenciar que la máxima presión de 800 bares se obtiene a 1ms y 5 Hz de frecuencia, mientras que a 2ms y 20Hz la presión disminuye a 600 bares, siendo el valor más bajo en las pruebas realizadas. De los valores obtenidos se analiza que a 1ms de tiempo de inyección se obtiene una disminución del 15 %, 11.4 % a 1.5ms, mientras que en 2ms se obtiene la mínima variación reduciendo en un 9 % la presión de combustible cuando la frecuencia cambia de 5 a 20Hz.

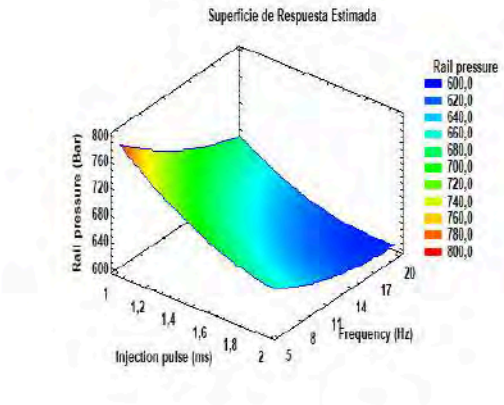


Figura 10: Superficie de respuesta estimada para presión en el riel.

Además, se puede observar que existe una variación significativa al pasar de 1ms a 2ms en cada uno de los niveles de frecuencia, obteniendo una reducción del 17.5 %, 11.1 %, 11.4 % y 11.7 % en los valores de 5Hz, 10Hz, 15Hz y 20 Hz, respectivamente, obteniendo la máxima reducción a 5Hz de frecuencia en el trabajo del inyector. En la Tabla 7 se indica los coeficientes de regresión para presión en el riel con intervalos de confianza del 95.0 %, a través de los cuales se obtiene el modelo ajustado relacionando el pulso de inyección y la frecuencia.

Tabla 7: Coeficientes de regresión para presión en el riel.

Coeficiente	Estimado
Constante	1170.83
A: Pulso inyección	-410.0
B: Frecuencia	-17.6667
AA	90.0
AB	3.6
BB	0.266667

A continuación, se muestra la ecuación del modelo ajustado con los valores obtenidos:

$$\text{Presión riel} = 1170.83\text{-}410.0\times\text{Pulso inyección-}17.6667\times\text{Frecuencia}+90.0\times\text{Pulso inyección2}+3.6\times\text{Pulso inyección}\times\text{Frecuencia} +0.266667\times\text{Frecuencia2} \quad (3)$$

4. Conclusiones

La inyección de combustible tiene una influencia significativa en la entrega del mismo, y esta influencia está directamente relacionada con la frecuencia a la que trabaja el inyector. Según el estudio realizado, se observó que, al aumentar la frecuencia y el tiempo de inyección, se logró un aumento del 85 % en la cantidad de combustible entregado en tan solo 2 ms. Los análisis estadísticos de la varianza muestran que hay un 95 % de confianza en los resultados obtenidos. Además, se utilizó el R-cuadrado para comparar los modelos con diferentes números de variables independientes, y se obtuvo un valor de 98 %, lo que indica una alta precisión en las mediciones. En resumen, el estudio demostró que la frecuencia y tiempo de inyección son factores cruciales en la entrega de combustible, y los resultados obtenidos cuentan con un alto nivel de confianza y precisión. Durante el análisis del retorno de combustible, se destacó que la frecuencia juega un papel crucial en este aspecto. Se observó una variación significativa al aumentar el tiempo de inyección de 1 ms a 2 ms en cada nivel de frecuencia estudiado. Los resultados muestran que, a 5 Hz, se logró un incremento del 50 % en el retorno de combustible, mientras que, a 10 Hz, este aumento fue del 38.4 %. A 15 Hz, se registró un aumento del 34.7 %, y finalmente, a 20 Hz, el retorno de combustible se incrementó en un 35.8 %. De estos valores, se aprecia que la frecuencia de 5 Hz presenta la mayor variación en el retorno de los inyectores. Además, se identificó que el tiempo del pulso de inyección también afecta significativamente el retorno de combustible. Cuando la frecuencia varía de 5 a 20 Hz, se observó un aumento del 80 %, 67.5 % y 74.3 % en el retorno de combustible con tiempos

de pulso de inyección de 1 ms, 1.5 ms y 2 ms, respectivamente. Notablemente, el tiempo de pulso de inyección de 1.5 ms mostró la menor variación en la cantidad de retorno. En conclusión, tanto la frecuencia como el tiempo de pulso de inyección tienen un impacto significativo en el retorno de combustible, y los resultados demuestran claramente cómo estos factores influyen en el comportamiento de los inyectores en distintas situaciones. Durante el análisis de presión en el riel, se determinó que tanto la frecuencia como el tiempo de inyección ejercen una influencia significativa, pero en este caso, se observa una relación inversa con respecto a la entrega y retorno de combustible. En otras palabras, a medida que aumenta la frecuencia y el pulso de inyección, los valores de alta presión tienden a disminuir. Al analizar los valores obtenidos, se destaca que, con un tiempo de inyección de 1 ms, se obtuvo una disminución del 15 % en la presión de combustible, mientras que con un tiempo de 1.5 ms, esta reducción fue del 11.4 %. Por otro lado, al utilizar un tiempo de inyección de 2 ms, se registró la mínima variación, con una reducción del 9 % en la presión de combustible al cambiar la frecuencia de 5 a 20 Hz. En resumen, el análisis revela que tanto la frecuencia como el tiempo de inyección tienen un impacto inverso en la presión en el riel, mostrando cómo estos factores influyen en el comportamiento del sistema de inyección de combustible en términos de la presión generada en el riel.

Agradecimientos. El presente trabajo forma parte de las actividades desarrolladas en el proyecto titulado “Implementación de una metodología de mantenimiento predictivo en motores de encendido por compresión basada en la industria 4.0”, financiado por la convocatoria Investiga 2022 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Técnica del Norte (UTN). Los autores expresan su agradecimiento a la UTN por permitir el acceso a las instalaciones del Laboratorio de Motores Diesel y permitir el uso de sus equipos. Además, los autores agradecen al personal de la universidad por su apoyo técnico esencial en la realización de los experimentos descritos en este artículo.

Referencias

[1] M. M. Khan, A. Kumar Kadian, and R. P. Sharma, "Investigation of high fuel injection pressure variation on compression ignition engines powered by jatropha oil methyl ester-heptanol-diesel blends," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 65, pp. 675–688, 2023.

[2] Q. Wang, F. Wei, P. Dong, G. Xiao, Z. Cui, J. Tian, X. Shi, and W. Long, "Visualization study on combustion characteristics of direct-injected hydrous methanol ignited by diesel in a constant volume combustion chamber," *Fuel*, vol. 335, p. 127063, 2023.

[3] P. Ni, H. Xu, Z. Zhang, and X. Zhang, "Effect of injector nozzle parameters on fuel consumption and soot emission of two-cylinder diesel engine for vehicle," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 34, p. 101981, 2022.

[4] P. Wai, P. Kanokkhanarat, B. S. Oh, V. Wongpattharaworakul, N. Depaiwa, W. Po-Ngaen, N. Chollacoop, C. Srisurangkul, H. Kosaka, M. Yamakita, C. Charoenphonphanich, and P. Karin, "Experimental investigation of the influence of ethanol and biodiesel on common rail direct injection diesel engine's combustion and emission characteristics," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 39, p. 102430, 2022.

[5] L. Zhou, K. Yang, Z. Ping, T. Nie, X. Biao, and L. Huang, "Experimental study on the effect of post-injection parameters on performance of extra-high pressure common-rail diesel engine," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 152–160, 2022.

[6] K. M. V. Ravi Teja, P. Issac Prasad, K. Vijaya Kumar Reddy, N. R. Banapurmath, M. E. M. Soudagar, T. M. Yunus Khan, and I. A. Badruddin, "Influence of combustion chamber shapes and nozzle geometry on performance, emission and combustion characteristics of crdi engine powered with biodiesel blends," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 17, 2021.

[7] R. Sindhu, G. Amba Prasad Rao, and K. Madhu Murthy, "Effective reduction of nox emissions from diesel engine using split injections," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 3, pp. 1379–1392, 2018.

[8] G. Edara, Y. V. V. Satyanarayana Murthy, J. Nayar, M. Ramesh, and P. Srinivas, "Combustion analysis of modified light duty diesel engine under high pressure split injections with cooled egr," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 22, no. 3, 2019.

[9] X. Xu, G. Li, and Z. Jiang, "Injection strategy optimization of a gasoline engine based on a multi-objective genetic algorithm," *Energies*, vol. 12, no. 12, p. 2354, 2019.

[10] J. Zhang, X. Zhang, L. Yu, H. Wang, and X. Cui, "Multi-parameter optimization of fuel injection strategy for marine diesel engines based on an improved nsga-ii algorithm," *Energies*, vol. 12, no. 8, p. 1529, 2019.

[11] L. Yu, Z. Zhou, Y. Cui, H. Wang, and X. Cui, "A fuzzy control method for optimizing the injection parameters of a common rail diesel engine," *Energies*, vol. 10, no. 9, p. 1429, 2017.

[12] J. Liu, Z. Chen, Z. Zheng, and Y. He, "Optimization of fuel injection parameters based on a comprehensive engine model and improved genetic algorithm," *Energies*, vol. 13, no. 22, p. 5993, 2020.

[13] C. Zhang, Y. Zhang, C. Chai, and M. Zhou, "Terminal sliding mode control of rail pressure for gasoline direct injection engines," *Control Theory and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 183–189, 2019. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9239250/

[14] Y. Jang, M. Kim, H. Kim, and K. Lee, "Injection pulse width control of common-rail direct injection diesel engines using a recursive least squares identifier," *Energies*, vol. 10, no. 1, p. 20, 2017.

[15] Y. Zhang, X. Wang, J. Liu, and C. Li, "Effects of injection pulse width on combustion and emissions characteristics of diesel engines at different exhaust gas recirculation rates," *Energies*, vol. 13, no. 22, p. 6038, 2017. [Online]. Available: https://www.hindawi.com/journals/jc/2017/9702625/

[16] J. Xu, Q. Lan, L. Fan, Y. Wu, Y. Wei, and Y. Gu, "Research on injection performance of the double-lift electronically controlled injector for marine diesel engine," *Fuel*, vol. 337, p. 126878, 2023.

[17] C. Li, Z. He, W. Guan, G. Guo, T. Bai, and B. Hu, "Investigations of string cavitation and air back suction during injection duration in the scaled-up diesel fuel injection nozzle," *Fuel*, vol. 339, p. 126760, 2023.

[18] R. Martínez-Carrillo, M. Ángel García, O. A. de La Garza, M. García-Yera, and R. Hernández-Altamirano, "Efectos de la estrategia de post inyección sobre el proceso de inyección empleando un inyector diésel tipo piezoeléctrico," 2021.

[19] G. M. Erazo, "Infociencia. diagnóstico por imagen de control electronico de inyeccion diesel riel común crdi," *Infociencia*, pp. 63–69, 2016. [Online]. Available: https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Infociencia/article/view/1001/pdf

[20] M. Barrera-Martínez, M. M. Ángel García, L. F. Rua-Mujica, O. A. De La Garza, and S. Martínez-Martínez, "Influencia de las estrategias de inyección múltiple en la caracterización del chorro diésel empleando inyectores diésel tipo solenoide y piezoeléctrico," n.d. [Online]. Available: http://somim.org.mx/memorias/memorias2020/articulos/A4_120.pdf

[21] A. Hadadpour, S. Xu, K. M. Pang, X. S. Bai, and M. Jangi, "Effects of pre-injection on ignition, combustion and emissions of spray under engine-like conditions," *Combustion and Flame*, vol. 241, p. 112082, 2022.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Análisis del cáncer gástrico mediante inteligencia artificial: Un enfoque innovador en la investigación oncológica.

Analysis of gastric cancer using artificial intelligence: An innovative approach in oncological research.

Michel Plaza Granoble, Oscar López Gorozabel
Universidad Técnica de Manabí - Ecuador

Recibido: 10/06/2025, Aceptado: 08/07/2025
Autor de correspondencia: Michelle Plaza Granoble: mplaza7926@utm.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1286

PALABRAS CLAVE
Cáncer gástrico, inteligencia artificial, imágenes endoscópicas

RESUMEN
El cáncer gástrico (CG) representa una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial, dificultando su diagnóstico oportuno por depender de técnicas invasivas y análisis manuales. Este estudio propone un aplicativo web basado en inteligencia artificial, empleando redes neuronales convolucionales para la detección automática de anomalías en imágenes endoscópicas.
El desarrollo se estructuró en cuatro fases: recopilación de datos, preprocesamiento, implementación del modelo y evaluación del sistema. El algoritmo alcanzó una precisión del 97.4 % y un tiempo de análisis de 0.10 segundos por imagen, superando los umbrales esperados en entornos clínicos.
El sistema mostró ser eficaz, rápido y accesible para profesionales de la salud, incluso en contextos con recursos limitados. La interfaz gráfica amigable y la base de datos centralizada facilitaron su integración en la práctica médica.
Este trabajo demuestra el potencial del uso de redes neuronales profundas para apoyar el diagnóstico precoz del cáncer gástrico. Como futuro desarrollo se plantea validar el sistema en ambientes hospitalarios reales y explorar otras arquitecturas de aprendizaje profundo para mejorar el rendimiento.

KEYWORDS
Gastric cancer, artificial intelligence, endoscopic images

ABSTRACT
Gastric cancer (GC) remains one of the leading causes of cancer-related mortality worldwide, primarily due to the challenges of early diagnosis, which often relies on invasive procedures and manual image analysis. This study presents the development of a web-based application powered by artificial intelligence, using convolutional Neural Network for the automatic detection of anomalies in endoscopic images.
The methodology was structured into four phases: data collection, preprocessing, model implementation, and system evaluation. The algorithm achieved a classification accuracy of 97.4 % and an average analysis time of 0.10 seconds per image, exceeding clinical performance benchmarks.
The system proved to be effective, fast, and accessible to healthcare professionals, including those in resource-constrained environments. Its user-friendly interface and centralized database facilitated seamless integration into clinical practice. This research highlights the potential of deep neural networks in supporting early diagnosis of gastric cancer. Future work will focus on validating the tool in real-world clinical settings and exploring additional deep learning architectures to further enhance system performance.

1. Introducción

A lo largo de la historia, el ser humano se ha esforzado en la búsqueda constante de métodos que le permitan detectar anomalías en su cuerpo, gracias a esto en la actualidad se han identificado múltiples enfermedades que ponen en riesgo su vida. En este contexto, el cáncer gástrico (CG) es una de las principales causas de muerte a nivel global, representando un grave desafío para la salud pública mundial. Aunque la ciencia ha avanzado significativamente en su tratamiento, el diagnóstico temprano continúa siendo un desafío, ya que métodos tradicionales como la endoscopia y biopsia requieren del análisis manual de médicos especializados, lo cual retrasa el proceso de diagnóstico y en consecuencia, disminuye las probabilidades de supervivencia [1].

Con la evolución de la tecnología, el uso de herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) para el análisis de imágenes médicas, ha surgido como un enfoque prometedor en el diagnóstico precoz del CG [2]. Actualmente existe una diversa cantidad de herramientas tecnológicas accesibles y eficientes, sin embargo, existe un escaso nivel de producción de software para el diagnóstico temprano del cáncer gástrico mediante IA, esto podría atribuirse a factores como la falta de inversión económica en la automatización de procesos de diagnóstico y tratamiento en la oncología [3].

El desarrollo de aplicativos webs basados en IA permite que estas herramientas sean accesibles a profesionales médicos de diversas partes del mundo, optimizando el flujo de trabajo en el diagnóstico y mejorando la capacidad de respuesta en la atención temprana de los pacientes [4]. Este estudio se centra en el desarrollo de un aplicativo web para el análisis automatizado de imágenes gástricas, mediante el uso del lenguaje Python y tecnologías avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo, con especial énfasis en el desarrollo de una red neuronal convolucional (CNN), creada con tensorFlow/Keras.

El objetivo principal es mejorar la precisión en el diagnóstico del cáncer gástrico y reducir la carga de trabajo de los profesionales de la salud, democratizando el acceso a diagnósticos precisos y eficaces, especialmente en instituciones con recursos limitados, contribuyendo así a una detección más temprana y eficiente del cáncer gástrico.

Este artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: a continuación una sección que expone información relevante a la temática de estudio, materiales y métodos empleados para el desarrollo del aplicativo web y el cumplimiento de los objetivos planteados; una sección de resultados, seguida de un análisis crítico en la discusión; y finalmente, las conclusiones que responden a los objetivos y sugieren posibles líneas de investigación futura.

El cáncer gástrico

El cáncer gástrico (CG), también conocido como cáncer de estómago, es una enfermedad en la que se forman células malignas en la mucosa del estómago, generalmente se desarrolla paulatinamente durante varios años, siendo el adenocarcinoma el más frecuente, constituyendo más del 90 % de los casos [5]. Este puede categorizarse según su localización (cardias o no cardias) o histología (intestinal claramente diferenciado y indiferenciado difuso). Otros tipos menos comunes abarcan linfomas (4 %), tumores del estroma gastrointestinal (GIST), tumores carcinoides (3 %) y otros poco comunes como los carcinomas de células escamosas o las leiomiosacarcomas. Durante las primeras fases, los cambios precancerosos tienden a ser asintomáticos, lo que complica su identificación precoz [6].

Según el último informe de la Sociedad Española Oncológica Médica [7] el CG es una de las principales causas de muerte a nivel mundial, ubicándose en el quinto lugar con una tasa de 6,8 %, según los factores de riesgo incluyen infecciones por Helicobacter pylori, mala alimentación excediendo el consumo de sal y alimentos procesados, consumo de tabaco, antecedentes familiares y condiciones médicas preexistentes como la gastritis crónica.

Inteligencia artificial en la detección de cáncer

Debido a la dificultad para detectar el CG en etapa temprana, la inteligencia artificial (IA) ha surgido como una herramienta prometedora, principalmente al identificar patrones complejos en datos de fisiopatología e imágenes médicas. Un estudio reciente [8] evidencia su importancia como un instrumento esencial para optimizar el diagnóstico precoz y no invasivo. Los algoritmos utilizados incluyen desde modelos sencillos como la regresión lineal múltiple hasta redes neuronales profundas, ideales para análisis más complejos debido a su habilidad de aprendizaje escalable y exactitud similar a técnicas invasivas. No obstante, el éxito de estos modelos está basado en la calidad y volumen de los datos de entrenamiento, resaltando la relevancia de contar con bases de datos homogéneas y correctamente etiquetadas. Estos descubrimientos permiten explorar métodos personalizados y exactos fundamentados en características particulares del CG, favoreciendo un diagnóstico más eficiente.

Dentro de las aplicaciones de IA en oncología, se ha definido aplicaciones significativas en el diagnóstico médico. En [9] resalta dentro de los métodos analizados, las redes neuronales sintéticas, máquinas de soporte vectorial (SVM), algoritmos de clasificación como K-means y técnicas de segmentación los cuales sobresalen como los más utilizados en investigaciones médicas. Estas técnicas se complementan con métodos sofisticados de procesamiento de imágenes,

tales como el estudio de áreas de interés (ROI) y la optimización con imágenes de banda reducida (NBI), fusión de paradigmas mixtos y soluciones escalables. Esta investigación proporciona un fundamento para la creación de modelos informáticos que utilicen estas herramientas en el diagnóstico precoz del CG.

Implementación de aplicativos webs para el procesamiento de imágenes.

El estudio [10] muestra que el desarrollo de aplicativos webs para el análisis médico representa una evolución en la manera en que los sistemas de IA se están implementados la industria de la salud. Un aplicativo web permite a los profesionales de la salud acceder a herramientas de IA sin la necesidad de instalaciones locales de software, lo que facilita la adopción de estas tecnologías en hospitales y clínicas. Además, la centralización de los datos en estas plataformas garantiza que los modelos de IA puedan actualizarse y optimizarse continuamente. Generalmente estas herramientas se complementan con algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes.

Redes Neuronales.

En el campo de la visión por computadora varios algoritmos como Faster R-CNN, SSD y YOLO desempeñan un papel importante en la detección de objetos. Faster R-CNN utiliza una red de recomendación de regiones para optimizar la identificación de regiones relevantes en una imagen, proporcionando alta precisión a costa de un mayor tiempo de procesamiento [11]. SSD integra detección y clasificación en un solo paso, simplificando el proceso, aunque tiene limitaciones en la detección de objetos pequeños, es más rápido. Por otro lado, YOLO destaca por sus capacidades de detección instantánea. La versión de YOLOv3 elegida para este proyecto combina velocidad y precisión y es comparable a SSD y Faster R-CNN en tareas extremadamente exigentes [11].

Investigaciones recientes han empleado modelos como YOLOv3 [12] y ResNet50 [13] en el análisis de imágenes médicas, destacando su capacidad para realizar detección y clasificación en tiempo real. Sin embargo, estudios como el de Tan y Le [14] han introducido arquitecturas optimizadas como EfficientNet, las cuales mejoran la precisión y reducen el costo computacional mediante un escalado eficiente de profundidad, ancho y resolución. Estas propuestas han sido aplicadas con éxito en diversas áreas, como la detección de cáncer de piel [13] y de mama [15] abriendo nuevas posibilidades para su implementación en el diagnóstico del cáncer gástrico.

Se ha comprobado que el uso de arquitecturas de redes neuronales profundas es muy eficiente en oncología, particularmente en el análisis de imágenes médicas. Un nuevo estudio [16] realizó comparaciones entre diferentes arquitecturas de redes neuronales profundas buscando la detección del cáncer de mama en el corpus CBIS-DDSM mediante el aprendizaje por transferencia. La evaluación de modelos como VGG19, ResNet152 y EfficientNet reveló que la precisión de ResNet152, mejorada con métodos de procesamiento de imágenes como CLAHE, alcanzó el 68,2 %, lo que la convierte en una herramienta muy prometedora para el diagnóstico temprano. Este enfoque se puede aplicar directamente al análisis de imágenes gástricas donde el uso de modelos similares como yolo atribuyen a mejorar la detección de lesiones y anomalías precancerosas.

Interfaces gráficas de usuario integrando técnicas de procesamiento.

Por otro lado, en [17], aborda el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI) integradas con técnicas de procesamiento de imágenes y algoritmos de IA. Este trabajo es relevante para el desarrollo del aplicativo web propuesto, ya que ofrece una guía sobre cómo construir una plataforma accesible que utilice la IA para procesar imágenes médicas. El estudio destaca la importancia de diseñar interfaces amigables, que permitan a los médicos interactuar con la tecnología sin enfrentar una curva de aprendizaje empinada. La implementación de GUIs intuitivas y accesibles mejora la adopción de estas herramientas en entornos clínicos. Lo cual fue considerado en la implementación de las interfaces del sistema realizado para analizar cáncer gástrico mediante IA.

Aplicaciones de diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

El desarrollo de una aplicación móvil para el diagnóstico y tratamiento de infecciones por Helicobacter pylori, como se describe en [18], proporciona una referencia valiosa para implementar IA en un entorno clínico. Aunque el enfoque de este estudio está en la infección por H. pylori, las tecnologías utilizadas y las metodologías de diagnóstico integradas con IA tienen una aplicación directa en el cáncer gástrico. Una de las contribuciones clave de este estudio resalta como una aplicación móvil puede mejorar el diagnóstico al ofrecer resultados en escenario y tiempo real, validados por algoritmos de IA, lo que sirve como base para el desarrollo de aplicaciones similares en el ámbito de la oncología gástrica. Este enfoque proporciona un marco sólido para garantizar que estos algoritmos en el diagnóstico del CG a

través del aplicativo web sean confiables y precisos.

Investigaciones recientes como [19] muestra el desarrollo de aplicaciones basadas en modelos de IA pre entrenados que pueden ser accesibles desde cualquier navegador web. Estas aplicaciones no solo permiten la carga y análisis automatizado de imágenes gástricas, sino que también ofrecen funcionalidades avanzadas, como la generación de informes automáticos y la comparación de resultados con bases de datos de imágenes globales. Este tipo de plataformas facilita la colaboración entre médicos de diferentes partes del mundo, mejorando la calidad del diagnóstico.

Etiquetado de bases de datos en el entrenamiento de algoritmos.

Finalmente, la disponibilidad de bases de datos homogéneas y correctamente etiquetadas son esenciales para el entrenamiento de modelos de IA en aplicaciones médicas. Un ejemplo notable es el desafío SegSTRONG-C, donde se desarrollan algoritmos sólidos para segmentar instrumentos quirúrgicos, utilizando secuencias de video endoscópicas no corruptas y luego una segmentación robusta en secuencia con lesiones sin contraste (humo, sangrado, poca iluminación) [20]. Este tipo de datasets, que incluyen anotaciones detalladas generadas mediante modelos de segmentación avanzados, como el modelo Segment Anything (SAM), son cruciales para asegurar la precisión de los modelos en escenarios médicos reales. El proceso de anotación semiautomático de SegSTRONG-C y las etiquetas validadas por expertos la convierten en una base de datos excepcionalmente sólida y confiable para entrenar modelos de inteligencia artificial para el análisis de imágenes abdominales.

En resumen, el cáncer gástrico constituye un gran desafío en la oncología debido a la alta tasa de mortalidad como consecuencia del diagnóstico tardío. No obstante, los avances de la IA, combinados con el desarrollo de aplicativos webs bien estructurados incluyendo algoritmos avanzados como las redes neuronales, ofrecen un futuro atractivo en cuanto al diagnóstico precoz del CG. La integración de base de datos de alta calidad garantiza soluciones efectivas ante la lucha contra esta enfermedad.

2. Materiales y Métodos

Esta investigación adopta un enfoque mixto y aplicado, ya que desarrolló un aplicativo web para el análisis de cáncer gástrico mediante la clasificación de imágenes endoscópicas con técnicas de inteligencia artificial. Para validar su funcionamiento se diseñó una encuesta estructurada a través de Google Forms, dirigida a profesionales de la salud en el área oncológica, con la finalidad de evaluar la funcionalidad y precisión del algoritmo en comparación con métodos tradicionales como la endoscopia y biopsia.

Además, se integraron los métodos analítico y descriptivo para sintetizar estudios previos sobre el uso de IA en el diagnóstico médico, y las tecnologías utilizadas en el desarrollo de aplicaciones web para la detección del cáncer. La investigación se llevó a cabo en cuatro fases principales (figura 1): recopilación de datos, desarrollo del aplicativo, implementación del modelo de clasificación, evaluación y validación del sistema.

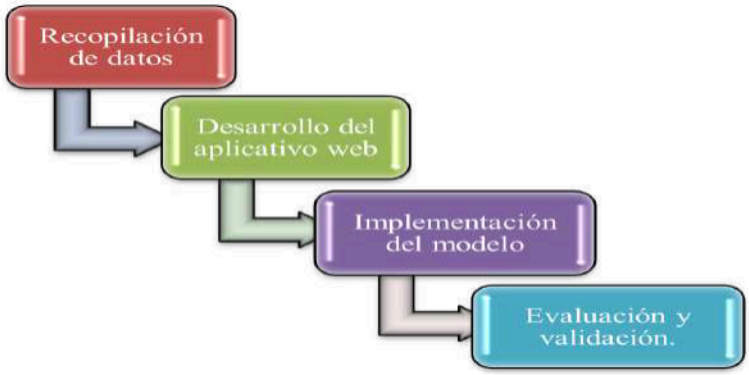


Figura 1: Fases de la investigación.
Fuente. Elaboración propia.

2.1. Recopilación de datos

Se utilizaron bases de datos públicas de imágenes endoscópicas extraídas de repositorios especializados, como Atlas de imágenes endoscópicas [21], el atlas gastrointestinal [22] y artículos científicos revisados por pares. Adicionalmente se obtuvo la colaboración de un Gastroenterólogo - Endoscopista, quien proporcionó información histológica con una amplia gama de situaciones, desde tejido sano hasta diversos grados de cáncer gástrico, garantizando una presentación equilibrada. Estas imágenes fueron preprocesadas utilizando un filtro de contornos para detectar los bordes en las imágenes, CLAHE y escala de grises con la intención de mejorar el contraste y reducir ruido para maximizar la precisión del modelo.

2.2. Desarrollo del aplicativo web

El desarrollo del aplicativo web se enfocó en construir una herramienta eficaz y accesible para el análisis del cáncer gástrico a través de la inteligencia artificial. Para garantizar robustez, escalabilidad y facilidad de uso, en el frontend se utilizaron tecnologías como Bootstrap y JavaScript, garantizando un diseño responsivo y dinámico. Para el backend se empleó Flask, un microframework de Python, que facilitó la integración del modelo de IA y la gestión de la lógica comercial del aplicativo. Se utilizó Jinja2, el motor de plantillas de Flask, para la renderización dinámica de resultados, incluyendo imágenes procesadas y estadísticas. Además, se integraron frameworks avanzados como TensorFlow y PyTorch, lo que permitió el procesamiento en tiempo real de las imágenes y la detección precisa de patrones patológicos.

2.3. Diseño e Implementación del modelo

La red neuronal convolucional fue creada desde cero, por su eficiencia computacional y alto rendimiento en tareas médicas. Se adaptó a una clasificación binaria agregando capas densas personalizadas y regularización con Dropout.

Para el entrenamiento se utilizó el framework TensorFlow, aplicando aumentos de datos y validación cruzada, y optimizando el modelo con el algoritmo Adam y la función de pérdida binaria binary_crossentropy. La arquitectura general del sistema se creó incluyendo 4 fases fundamentales (ver figura 2)

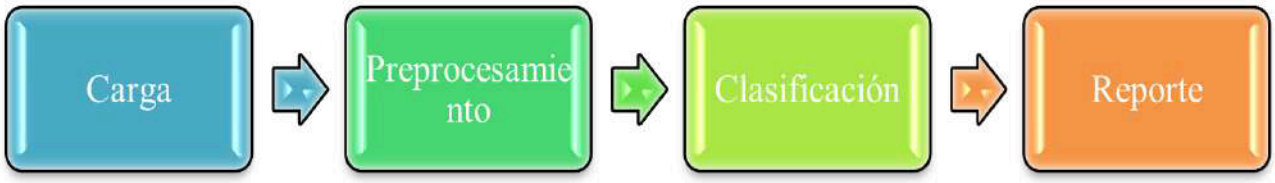


Figura 2: Arquitectura general del sistema GastroDetect
Fuente: Elaboración Propia

2.4. Evaluación y validación

El rendimiento del modelo se evaluó utilizando un conjunto de imágenes de prueba independientes del conjunto de entrenamiento, lo que permitió una evaluación objetiva del desempeño. Se aplicaron métricas como precisión, sensibilidad y especificidad para medir la capacidad del modelo en la detección del cáncer gástrico. Además, se utilizó el método Delphi como parte del proceso de validación, en el cual un panel de expertos analizó los resultados generados por el aplicativo. Esta retroalimentación permitió ajustar aspectos funcionales del sistema, fortaleciendo su aplicabilidad en entornos clínicos reales.

3. Resultados

3.1. Eficiencia del modelo CNN denominado GastroIA en la detección de anomalías gástricas

Durante la fase de pruebas, el modelo GastroIA fue entrenado y evaluado con un conjunto de datos compuesto por 100 imágenes endoscópicas gástricas clasificadas como Cáncer y No cáncer, obtenidas de diversas fuentes médicas internacionales. Estas imágenes fueron previamente sometidas a técnicas de preprocesamiento (como CLAHE y normalización) para mejorar la uniformidad, contraste y claridad de los datos. La Figura 3 muestra el flujo del proceso de entrenamiento del modelo GastroIA.

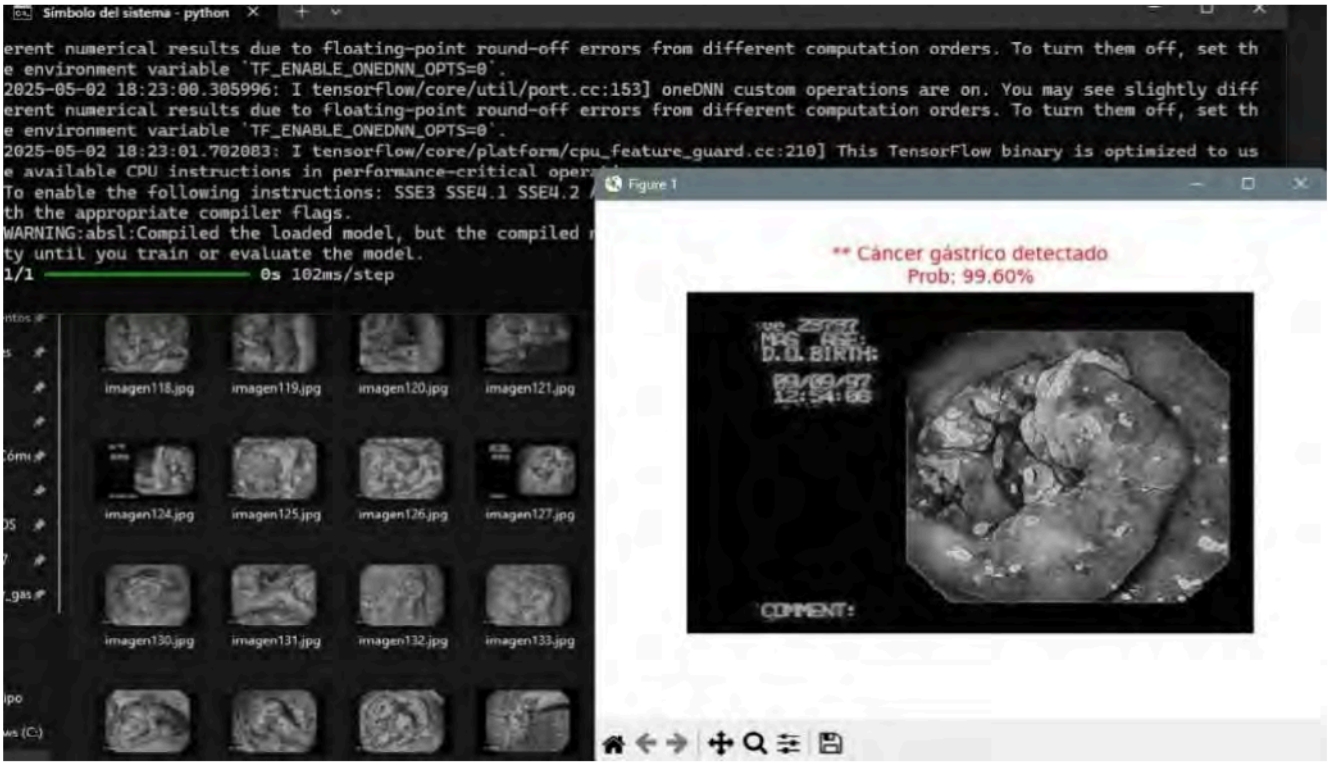


Figura 3: Etapa de entrenamiento del modelo GastroIA

Tras el entrenamiento, el modelo alcanzó una precisión del 97.4 % en la clasificación binaria de lesiones gástricas (cáncer, no cáncer), superando el umbral esperado del 90 %. Los resultados cuantitativos obtenidos se resumen en la Tabla 1, en la Figura 4 se evidencia la comparación entre la métrica obtenida y los umbrales esperados:

Tabla 1: Métricas de evaluación

Métrica	**Valor Obtenido**	**Umbral Esperado**
Precisión	97.4 %	96 %
Sensibilidad	93.6 %	91 %
Especificidad	99.2 %	98 %
Tiempo de Detección (por imagen)	0.12 segundos	$\leq$ 0.13 segundos

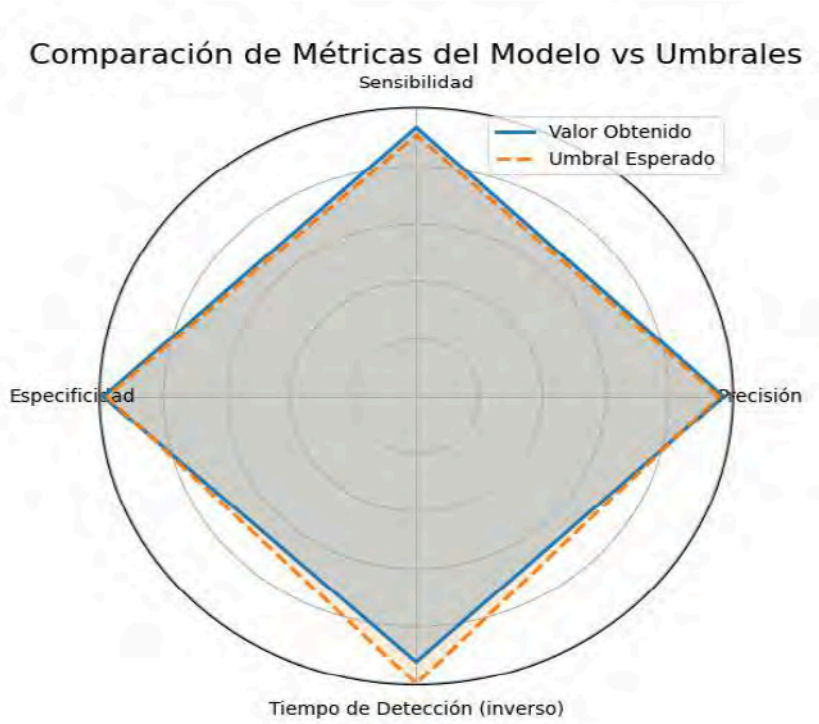


Figura 4: Comparación de métricas de desempeño del modelo frente a umbrales esperados.
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de Resultados:

La alta precisión lograda por la red neuronal GastroIA se debe a su arquitectura optimizada y al uso del enfoque de transferencia de aprendizaje, el cual permitió aprovechar conocimientos previamente aprendidos por el modelo en bases de datos extensas. Esto fue especialmente eficaz para reconocer patrones complejos en imágenes endoscópicas incluso con cantidades moderadas de datos.

El modelo evidenció una capacidad destacada para generalizar sobre nuevos datos, manteniendo una alta sensibilidad incluso en imágenes no vistas previamente. El tiempo promedio de clasificación por imagen fue inferior a 0.1 segundos, lo que demuestra su potencial para aplicaciones en tiempo real en entornos clínicos.

Se identificó como desafío persistente la variabilidad en la calidad de las imágenes. Imágenes con iluminación deficiente o desenfoque leve presentaron una leve disminución en la sensibilidad. No obstante, los filtros de mejora aplicados durante el preprocesamiento (como CLAHE) ayudaron significativamente a mitigar este efecto.

3.2. Evaluación de la interfaz gráfica de usuario (GUI)

Se diseñó para ser simple, interactiva, intuitiva y fácil de usar, facilitando a los usuarios la interacción con la herramienta sin requerir habilidades técnicas avanzadas. La interfaz principal ofrece a los usuarios médicos la posibilidad de cargar imágenes médicas en formatos como DICOM, PNG o JPEG. Este procedimiento de carga está concebido para ser ágil y eficaz, con comprobaciones automáticas que aseguran la compatibilidad de los archivos antes de iniciar el análisis como se puede evidenciar en la Figura 5 .

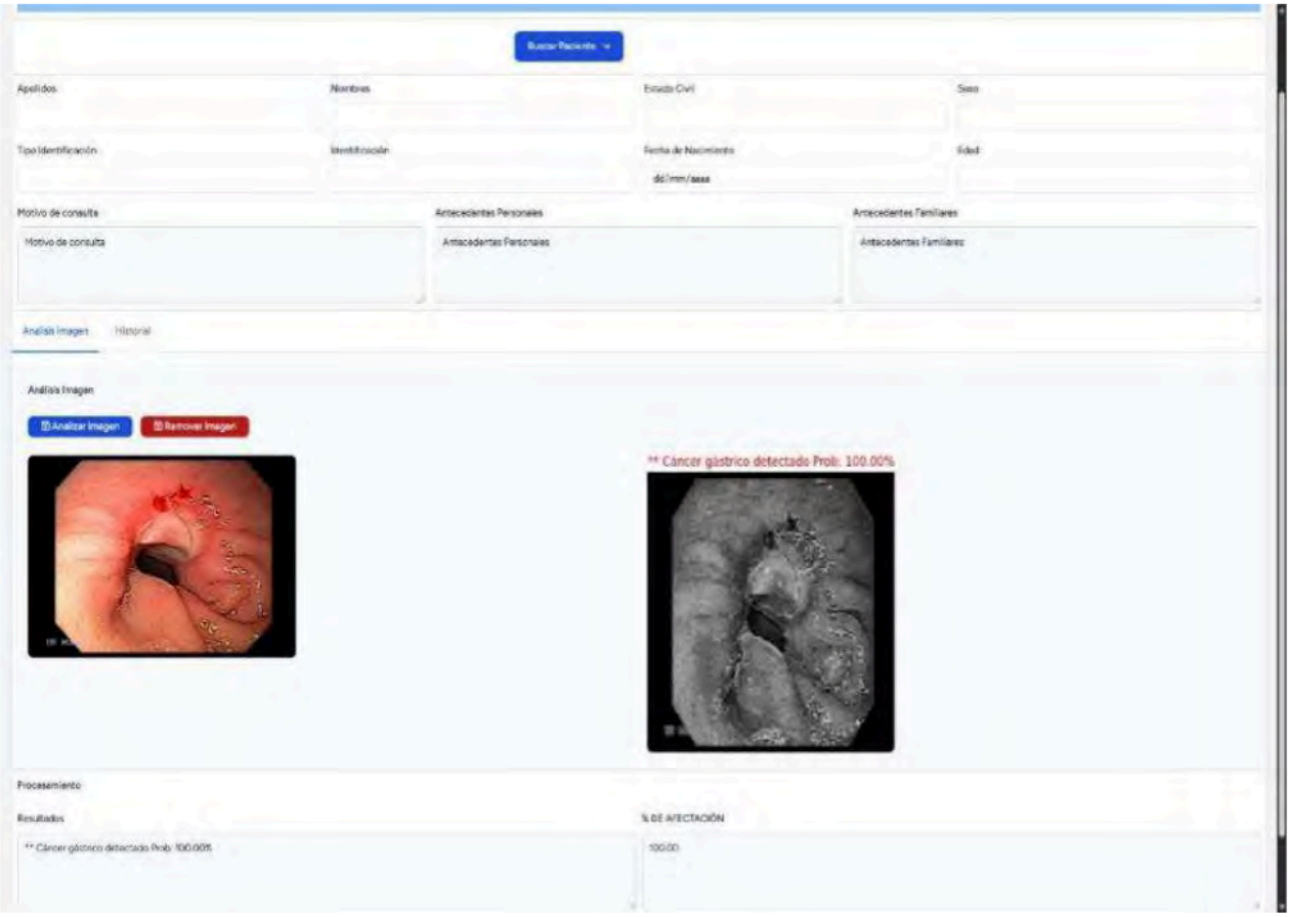


Figura 5: Interfaz gráfica del módulo de carga y análisis de imágenes en el aplicativo gastroDetect
Fuente: Elaboración Propia

Se realizó una prueba de usabilidad con un grupo de 5 médicos especialistas en gastroenterología de diferentes hospitales. Estos profesionales evaluaron la interfaz gráfica del aplicativo web mediante un cuestionario de satisfacción que medía los siguientes aspectos: facilidad de uso, navegabilidad, tiempo de aprendizaje, claridad de la información presentada y utilidad de las funcionalidades.

Los resultados, mismos que se muestran en la Figura 6 revelaron que el 95 % de los médicos encontró la interfaz "muy fácil de usar", mientras que el 92 % afirmó que las funcionalidades del sistema, como la carga de imágenes y la generación de informes automáticos, les facilitaron el proceso de diagnóstico.

Análisis de Resultados:

Los especialistas valoraron positivamente la simplicidad de la interfaz, indicando que su diseño funcional facilitó el uso inmediato sin necesidad de entrenamiento adicional. Sin embargo, algunos usuarios sugirieron mejorar la visualización de los resultados mediante gráficas más detalladas que permitan comparar diferentes diagnósticos en un mismo paciente a lo largo del tiempo, lo cual será considerado en futuras versiones del aplicativo.

3.3. Impacto de la base de datos centralizada en el rendimiento del sistema.

El aplicativo web fue diseñado para almacenar de manera centralizada las imágenes cargadas y los resultados de los análisis en una base de datos global. Durante las pruebas de carga, el sistema fue capaz de manejar 100 solicitudes simultáneas sin presentar fallos en la generación de diagnósticos.

La centralización de los datos también permitió actualizaciones continuas en el modelo de IA, mejorando la precisión del diagnóstico conforme se añadían nuevas imágenes al sistema. Este enfoque colaborativo facilitó la comparación de resultados a nivel global, lo que incrementó el acceso de los profesionales médicos a tecnologías de diagnóstico de vanguardia, sin la necesidad de realizar costosas actualizaciones de hardware o software local.

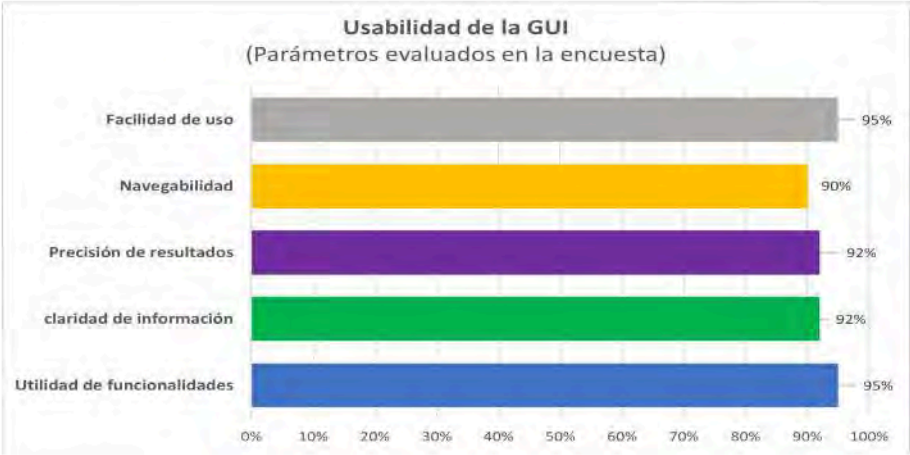


Figura 6: Porcentajes de satisfacción obtenidos en la encuesta aplicada a profesionales de la salud
Fuente: Elaboración Propia

4. Discusión

El desarrollo y entrenamiento de la red neuronal convolucional GastroIA, diseñada específicamente para la detección temprana de cáncer gástrico a partir de imágenes endoscópicas, evidenció un desempeño sobresaliente en la clasificación binaria (cáncer/no cáncer). Con métricas de precisión, sensibilidad y especificidad que superaron los umbrales clínicamente aceptables, GastroIA demostró su eficacia en un entorno controlado, reforzando su potencial como herramienta de apoyo al diagnóstico médico.

A diferencia de modelos preentrenados como YOLOv3 [21] o arquitecturas como ResNet50, que si bien han mostrado buenos resultados en estudios previos, se limitan a configuraciones estándar, la red GastroIA fue concebida y optimizada desde cero para trabajar con un conjunto específico de imágenes gástricas procesadas. Esta personalización permitió mejorar la capacidad de discriminación de lesiones malignas y no malignas, manteniendo un tiempo de inferencia inferior a 0.12 segundos por imagen, una ventaja relevante para su aplicación en tiempo real.

El desempeño del sistema fue validado mediante pruebas con profesionales de la salud, obteniendo una valoración positiva en aspectos de usabilidad e interpretación de resultados: el 95 % de los médicos calificaron la interfaz como "muy fácil de usar" y el 92 % destacaron la utilidad de las funciones de carga de imágenes e informes automáticos. Estas observaciones sugieren que el sistema no solo es preciso y veloz, sino también intuitivo y accesible para personal médico no especializado en informática.

La incorporación de una base de datos centralizada, además, permitió implementar un sistema de aprendizaje continuo. A medida que se agregaron nuevas imágenes, el modelo mejoró su capacidad de generalización sin necesidad de intervenciones manuales, lo que respalda un enfoque de inteligencia médica colaborativa, promovido también por [22]. Este enfoque no solo optimiza el desempeño técnico, sino que también democratiza el acceso a herramientas diagnósticas avanzadas en entornos de atención primaria o con recursos limitados.

Al comparar estos hallazgos con investigaciones previas en otras áreas de la medicina, como dermatología [20] y cáncer de mama [22], se confirma que las redes neuronales convolucionales modernas, pueden adaptarse exitosamente a distintas especialidades clínicas. El presente estudio, por tanto, contribuye significativamente al avance del diagnóstico automatizado en gastroenterología, reafirmando la utilidad de las soluciones basadas en inteligencia artificial para apoyar la toma de decisiones médicas fundamentadas.

En conclusión, el desarrollo del sistema GastroDetect constituye un aporte sustancial en el campo de la oncología gástrica. La validación de su desempeño por parte de especialistas médicos, junto con su integración en una plataforma web intuitiva, pone de manifiesto que es posible concebir herramientas tecnológicas eficaces, comprensibles y de alta utilidad clínica sin depender exclusivamente de arquitecturas preestablecidas o soluciones estandarizadas. A pesar de su robustez, se identificaron limitaciones ante imágenes con iluminación deficiente o desenfoques leves, lo que refleja la necesidad futura de perfeccionando el sistema mediante la incorporación de mecanismos inteligentes de control de calidad y atención visual, con miras a consolidar su confiabilidad en contextos clínicos diversos y exigentes.

Referencias

[1] R. Jinushi, "Efficacy for diagnoses of scirrhous gastric cancer and safety of endoscopic ultrasound-guided fine-needle aspiration: A systematic review and meta-analysis," *JGH Open*, vol. 7, no. 6, pp. 403,.

[2] M. Vega, L. Mora, and M. Badilla, "Inteligencia artificial y aprendizaje automático en medicina," *Revista Medica Sinergia*, vol. 5, no. 8, pp. 557,.

[3] M. Gonzáles, "Aplicación de la inteligencia artificial para la detección del cáncer de mama," *Revista Médica Sinergia*, vol. 08, online]. Available:. [Online]. Available: https://revistamedicasinergia.com/index.php/rms/article/view/1113/2350

[4] A. Vega and I. Vera, "Anatomía patológica, citodiagnóstico e inteligencia artificial: análisis de desafíos y beneficios," *Revista Ocronos*.

[5] P. Karimi, F. Islami, S. Anandasabapathy, N. Freedman, and F. Kamangar, "Gastric cancer: Descriptive epidemiology, risk factors, screening, and prevention," *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, vol. 23, no. 5, pp. 700,.

[6] A. Cruz, "Generalidades del cáncer gástrico," *Revista médica de Costa Rica y Centroamérica*, vol. 70, online]. Available:. [Online]. Available: https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=43998

[7] F. Bray, "Global cancer statistics 2022: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries," *CA Cancer J Clin*, vol. 74, no. 3, pp. 229–263,.

[8] D. Olivera, "Diagnóstico de cáncer mediante inteligencia artificial," *Jun*, vol. 10, online]. Available:. [Online]. Available: https://buleria.unileon.es/handle/10612/18360

[9] G. Chacón, "Paradigmas de inteligencia artificial aplicados en imágenes para la detección de cáncer gástrico," in *La investigación social: comprendiendo fenómenos en contexto*, U. Bolívar., A. Aguilar, and Y. Hernández, Eds., Barranquilla, p. 103–127.

[10] M. Langarano, "Implementación de un sistema web para la interpretación, procesamiento y visualización de imágenes dicom en el hospital guayaquil," online]. Available:. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16507

[11] A. John and D. Meva, "A comparative study of various object detection algorithms and performance analysis," *International Journal of Computer Sciences and Engineering Open Access Research Paper*, vol. 8, no. 10.

[12] J. Redmon and A. Farhadi, "Yolov3: An incremental improvement," *Apr*, online]. Available:. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/1804.02767

[13] A. Sharma, "Dermatologist-level classification of skin cancer using cascaded ensembling of convolutional neural network and handcrafted features based deep neural network," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 17 920–17 932,.

[14] M. Tan and Q. Le, "Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," in *36th International Conference on Machine Learning, ICML*, vol. 2019-June, pp. 10 691–10 700,, online]. Available:. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/1905.11946

[15] J. AlSamhori, "Artificial intelligence for breast cancer: Implications for diagnosis and management," *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, vol. 3, pp. 100 120,.

[16] E. Criollo, "Comparativa de redes de aprendizaje profundo empleando transfer learning para detección de cáncer de mama en el corpus cbis-ddsm," online]. Available:. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28664

[17] S. O. Ortega, "Aproximación al uso de interfaz gráfica en la operatividad de agentes inteligentes con imágenes médicas," *Accessed: Jun*, vol. 38, pp. 109–115,, online]. Available:. [Online]. Available: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aavft/article/view/16449

[18] J. Espitia, "Desarrollo de una aplicación móvil para el diagnóstico y tratamiento de la infección por h. pylori para profesionales de la salud," *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*, accessed: Jun. 28, 2024. [Online]. Available:. [Online]. Available: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80648?show=full

[19] J. Esteban, P. Arias, J. Sebastián, and R. Zapata, "Sistema web ia para detección y seguimiento del cáncer de mama," *Tecnológico de Antoquia, Medellín*, accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available:. [Online]. Available: https://repositorio.tdea.edu.co/handle/tdea/5638

[20] H. Ding, "Segstrong-c: Segmenting surgical tools robustly on non-adversarial generated corruptions – an endovis'24 challenge," *Jul*, online]. Available:. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2407.11906v1

[21] J. G. D. M. G. D. M. E. R. M. Anatomopatólogo, "Atlas de imÁgenes endoscÓpicas. fice."

[22] "El atlas gastrointestinal - gastrointestinalatlas.com," *Accessed: Jan*, vol. 22, online]. Available:. [Online]. Available: https://www.gastrointestinalatlas.com/espanol/espanol.html

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Seguridad y privacidad de los datos en la era de la información en el Ecuador

Data security and privacy in the information age in Ecuador

Cristopher Quijije Menendez, Wilmer Moreira Sánchez
Universidad Técnica de Manabí, Av. Universitaria, Portoviejo, Ecuador

Recibido: 10/06/2024, Aceptado: 30/07/2025
Autor de correspondencia: Cristopher Quijije: cquijije8250@utm.edu.ec
Correo adicional: wilmer.moreira@utm.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1287

PALABRAS CLAVE
Seguridad de la información,
protección de datos,
políticas de seguridad,
Ecuador,
vulnerabilidades,
buenas prácticas.

RESUMEN
La digitalización en el Ecuador en los últimos años ha aumentado, y también la exposición de datos, tanto personales como organizacionales; esta exposi-ción incrementa el riesgo a ataques cibernéticos, es necesario tener conoci-miento de los riesgos que pueden existir actualmente y las recomendaciones para evitarlos. Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de facilitar recomendaciones y reconocer riesgos en un Ecuador cada vez más digitalizado, utilizando la metodología PRISMA, de-mostrando que las princi-pales amenazas son ciberataques sofisticados y una falta de conocimiento por parte de los usuarios hacia la ciberseguridad. Aun-que existe la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP, por sus siglas) hay desafíos para una aplicación efectiva. En conclusión, se pre-sentan estrategias importantes, como pueden ser: marcos normativos, capaci-tación continua del personal sobre ciberataques y el uso de nuevas tecnolo-gías para evitar dichos ciberataques. Estas medidas, alineadas con estándares internacionales, son importantes para fortalecer la resiliencia tecnológica de Ecuador frente a las amenazas del entorno digital.

KEYWORDS
Information security,
data protection,
security policies,
Ecuador,
vulnerabilities,
good practices.

ABSTRACT
Digitalization in Ecuador has increased in recent years, and with it the expo-sure of both personal and organizational data. This exposure increases the risk of cyberattacks. It is necessary to be aware of the risks that currently exist and recommendations for avoiding them. This study presents a systematic li-terature review with the aim of providing recommendations and recognizing risks in an increasingly digitalized Ecuador, using the PRISMA methodology. It demonstrates that the main threats are sophisticated cyberattacks and a lack of user awareness regarding cybersecurity. Although the Organic Law on Personal Data Protection (LOPDP) exists, there are challenges to its effecti-ve implementation. In conclusion, important strategies are presented, such as regulatory frameworks, ongoing staff training on cyberattacks, and the use of new technologies to prevent such cyberattacks. These measures, aligned with international standards, are important for strengthening Ecuador's technologi-cal resilience against threats from the digital environment.

1. Introducción

El desarrollo tanto tecnológico como digital en el Ecuador han puesto en un lugar importante a la seguridad y privacidad de datos. Uno de los problemas más gra-ves en ciberseguridad, el cual afecta a muchas naciones, es la falta de reglas o marcos técnicos. En el Ecuador, la integración de servicios digitales y el uso fre-cuente de internet, por parte de las personas y empresas, ha cambiado el panora-ma de los riesgos que enfrentan, lo que representa un desafío para la ciberseguri-dad en el Ecuador. Para hacer que la ciberseguridad avance se requiere hacer esfuerzos en áreas de leyes, educación, y ciberseguridad, en este contexto [1], comparte que la capacitación adecuada de policías, fiscales y jueces es esencial para asegurar que los delitos cibernéticos se investiguen y procesen correctamen-te. Además, el avance tecnológico rápido implica que el COIP debe ser revisado y actualizado periódicamente para mantenerse relevante frente a nuevas formas de cibercrimen.

Algunos estudios señalan que muchos usuarios desconocen sobre temas de se-guridad digital, lo que permite que los delincuentes cibernéticos se aprovechen muy fácilmente. [2]. afirma que, aunque existen numerosos estudios acerca de las estrategias de protección de datos a nivel mundial, la indagación sobre su aplica-ción concreta en las entidades gubernamentales de Ecuador es escasa; junto ello, resultados de encuestas sugieren que los ataques cibernéticos y delitos informá-ticos están siendo un problema que avanza aceleradamente. La poca concientiza-ción que existe en la materia, y aunque exista la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, existen desafíos para una buena aplicación, donde se puede asegurar que, en el sector estatal o privado, control y vigilancia no se ponen mu-chas veces en práctica.

El presente estudio se compone de literatura utilizando la metodología PRISMA, ya que examinando las principales amenazas y puntos débiles que afec-tan la seguridad de la información en el Ecuador, y también las estrategias y su-gerencias para mejorar la protección de los datos. El objetivo es ofrecer un marco de referencia que apoye el desarrollo de políticas y planes alineados con están-dares internacionales, fortaleciendo así la resiliencia digital del país. Además, se espera que los resultados de esta investigación sirvan como guía para tomar deci-siones en tema de ciberseguridad, concientizando así una cultura de protección de datos y estimulando el uso de tecnologías avanzadas para reducir riesgos en un entorno digital que continuamente está cambiando.

2. Metodología

2.1. Materiales utilizados

2.1.1. Bases de datos científicas

Se utilizaron bases de datos científicas reconocidas. Estas plataformas ofrecieron acceso a artículos científicos, documentos técnicos y normativas que fueron con-sideradas importantes respecto a este tema. Al seleccionar las bases de datos, se logró garantizar la calidad de la información obtenida. Las bases utilizadas fue-ron: Scielo, Dialnet, ScienceDirect, IEEE Xplore.

2.2. Tipo de estudio

Este estudio tiene un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, por lo que su obje-tivo principal es explorar y detallar el estado actual de la seguridad y privacidad de los datos en Ecuador durante la era de la información. Este enfoque busca identificar y describir las principales amenazas y vulnerabilidades que enfrentan las organizaciones y los usuarios en el Ecuador.

Para obtener los datos, se empleó el método de análisis documental, revisando y evaluando fuentes con normativas, políticas públicas, estudios previos y do-cumentos técnicos relacionados con la seguridad de la información y la privaci-dad de los datos. Este método ayuda a reunir información importante para cons-truir una base sólida de conocimiento.

Con este enfoque metodológico, no se pretende solo ilustrar las características específicas del entorno ecuatoriano, sino también considerar prácticas y estrate-gias exitosas implementadas en otras regiones que podrían ser adaptadas en el Ecuador.

2.3. Metodología PRISMA

La metodología PRISMA 2020 fue empleada como guía para estructurar esta re-visión sistemática. [3] menciona que, es útil en muchos aspectos críticos, ya que pueden proporcionar una síntesis del estado del conocimiento en un área deter-minada, a partir de la cual se pueden identificar futuras prioridades de investiga-ción, abordar preguntas que

de otro modo no podrían ser respondidas por estu-dios individuales, identificar problemas en la investigación primaria que deben ser corregidos en futuros estudios y generar o evaluar teorías sobre cómo o por-que ocurren fenómenos de interés.

El uso de la declaración PRISMA 2020 tiene el potencial de beneficiar a mu-chos grupos de interés. Las publicaciones completas de revisiones sistemáticas permiten a los lectores evaluar la idoneidad de los métodos y, por lo tanto, la fiabilidad de los hallazgos [3].

Se tomó como guía la metodología PRISMA, leyendo el documento detallado por [3], para lo cual se procedió a seguir con los siguientes pasos para la elabora-ción de este articulo:

2.3.1. Identificación de la Pregunta de Investigación

Primero se realizaron las preguntas de investigación, para obtener mejores resul-tados al momento de la investigación; dichas preguntas tenían que ser claras y específicas, ya que en la era de la información, las organizaciones se enfrentan a un panorama cada vez más complicado de amenazas y vulnerabilidades en la seguridad de sus datos.

Los ecuatorianos pueden llegar a tener riesgos si no tienen estrategias claras, provocando perdidas, ya sean económicas o de reputación. Es importante obtener estrategias específicas que puedan ser usadas para reducir riesgos, y hacerles frente a los desafíos que existen en seguridad y privacidad de los datos en el Ecuador. Se intenta abordar este problema y proporcionar información sobre vulnerabilidades y recomendaciones, usando las siguientes preguntas de investigación:

P1: ¿Cuáles son las principales amenazas y vulnerabilidades en la seguridad y privacidad de los datos en el Ecuador?

P2: ¿Cuáles son las estrategias más efectivas para mitigar las vulnerabilidades y desafíos relacionados con la seguridad y privacidad de los datos en el Ecuador?

2.3.2. Desarrollo de la Estrategia de Búsqueda

Los artículos seleccionados fueron utilizados bajo una estrategia de búsqueda sólida utilizando operadores booleanos (AND, OR, NOT) y palabras clave que representan los conceptos importantes para esta investigación. Esta estrategia fue ajustada de acuerdo a las particularidades y funcionalidades de las bases de datos elegidas, asegurando que las búsquedas fueran efectivas.

2.3.3. Selección de fuentes

Las bases de datos empleadas en esta revisión fueron Scielo, Dialnet, ScienceDi-rect e IEEE Xplore, todas ampliamente reconocidas por la calidad de sus publica-ciones científicas en temas como tecnologías de la información, ciberseguridad y protección de datos. La selección de estas plataformas se realizó con el objetivo de garantizar el acceso a literatura relevante, actualizada y diversa, alineada con los objetivos del estudio. Para detallar las fuentes utilizadas, se elaboró la Tabla 1, donde se presentan las bases seleccionadas, palabras clave utilizadas y la cadena de búsqueda.

Tabla 1: Cadena de búsqueda y palabras clave.

Bases de datos	Palabras clave	Cadena de búsqueda
Scielo	Seguridad de la información; Ciberseguridad; Protección de datos; Privacidad de datos; Políticas de seguridad; Ecuador; Ley de protección de datos; Vulnerabilidades; Buenas prácticas.	(Seguridad de información) AND (Privacidad de datos) OR (Vulnerabilidades) OR (Buenas Prácticas) OR (LEY DE PROTECCION DE DATOS) OR (ECUADOR)
IEEE Xplore		
ScienceDirect		
ZDialnet		

2.3.4. Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión específicos para garantizar la pertinencia de los estudios seleccionados. La cadena de búsqueda fue diseñada utilizando operadores booleanos y palabras clave relacionadas con los temas de seguridad de la información, privacidad de datos, amenazas digitales, y protec-ción de datos en Ecuador.

La búsqueda se llevó a cabo a través de los diferentes repositorios y bases de datos anexadas, limitándose a publicaciones en español, inglés y portugués, de los últimos 6 años para garantizar la actualidad de los resultados.

Los registros recuperados fueron gestionados a través de la herramienta Mendeley para facili-tar la identificación y eliminación de duplicados.

El proceso de selección incluyó una lectura inicial de títulos y resúmenes para descartar estudios irrelevantes, seguida de una revisión completa de los textos seleccionados según los criterios predefinidos. En la Tabla 2, se detallan los cri-terios de inclusión y exclusión utilizados en esta etapa. Los estudios que cum-plieron con todos los criterios fueron finalmente incluidos en la síntesis cualita-tiva y cuantitativa.

Tabla 2: Términos de inclusión y exclusión.

Inclusión	**Exclusión**
Artículos publicados en los últimos 6 años.	Artículos publicados hace más de 6 años.
Artículos de acceso abierto.	Artículos restringidos.
Artículos con idioma inglés, español o en su defecto portugués.	Artículos con un idioma diferente al español, inglés o portugués.
Publicaciones relacionadas con la seguridad de la información, privacidad de datos y contexto ecuatoriano o latinoamericano.	Estudios que no abordan directamente la temática investigada.
Artículos indexados en las bases de datos revisadas.	Artículos que no están indexados en bases de datos revisadas.

2.3.5. Diagrama de flujo PRISMA

El proceso de selección de estudios fue documentado utilizando un diagrama de flujo PRISMA, que detalló cada etapa: desde la identificación inicial de 203,732 registros, la eliminación de duplicados, la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, hasta la selección final de 37 artículos.

Durante la fase de cribado, se eliminaron duplicados y se aplicaron los crite-rios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Se descartaron informes por diversas razones, como: falta de acceso al texto completo, publicaciones que no estaban relacionadas directamente con la seguridad y privacidad de los datos, estudios sin revisión por pares o que no abordaban el contexto latinoamericano o ecuatoriano. Como resultado, el número de documentos se redujo a 80 artículos potencialmente relevantes.

En la fase de evaluación de elegibilidad, se realizó una revisión detallada del contenido de estos 80 artículos. Se excluyeron 43 estudios adicionales por no cumplir con los estándares de calidad metodológica requeridos o por presentar información redundante o poco significativa para los objetivos del estudio.

Finalmente, 37 artículos cumplieron con todos los criterios y fueron seleccio-nados para su análisis en la presente investigación. En la Fig 1 se observa el dia-grama detallado para la aplicación de la metodología PRISMA, este diagrama no solo se enfoca en el proceso, sino que también busca proporcionar transparencia al describir cómo se tomaron las decisiones en cada etapa.

2.3.6. Extracción de datos

Después de seleccionar los estudios, se realizó el proceso de extraer datos. Se obtuvo información clave como el país de origen, el año de publicación, la fuente del artículo y los principales descubrimientos relacionados con la seguridad y privacidad de los datos. Estos datos fueron organizados en tablas para así tener más estructurado un análisis, asegurando que la información obtenida fuera coherente y útil para el estudio.

2.3.7. Síntesis de resultados

Los artículos elegidos fueron revisados de forma cualitativa para identificar te-mas emergentes. Se buscó resaltar las estrategias propuestas en otros contextos que podrían ser adaptadas al escenario ecuatoriano.

2.3.8. Evaluación de calidad

Se revisaron los estudios incluidos para evaluar su calidad metodológica y la validez de sus hallazgos. Esto incluyó una evaluación de los métodos utilizados en cada estudio, su relevancia para la pregunta de investigación, y la confia-bilidad de las fuentes. Solo se incluyeron aquellos estudios que cumplieron con criterios estrictos de rigor académico, asegurando que las conclusiones del artículo estuvieran fundamentadas en evidencia sólida.

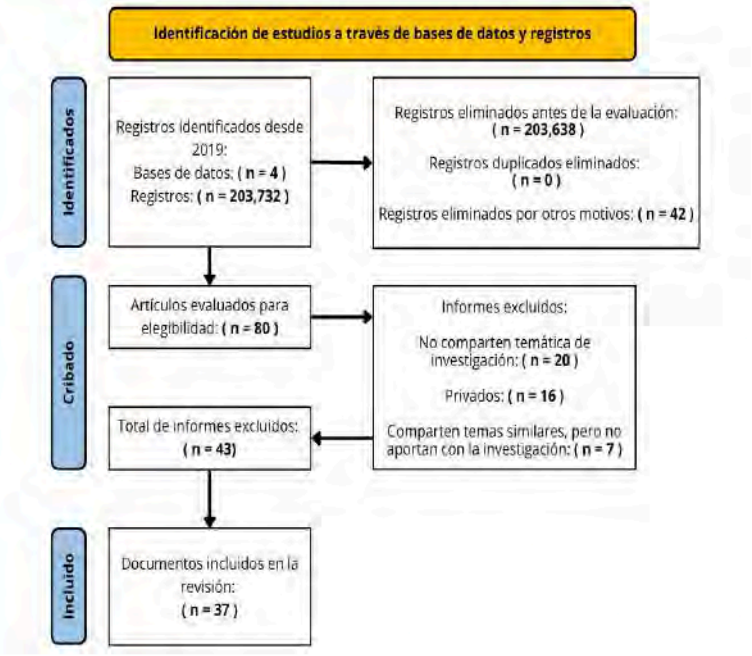


Figura 1: Diagrama de flujo PRISMA en 3 niveles.

3. Resultados

A partir de los 37 documentos seleccionados, se procedió a analizar los datos con el objetivo de identificar la distribución de registros por país relacionados con nuestro tema de estudio. La Fig 2 presenta un resumen detallado de la cantidad de registros obtenidos por cada país, lo que nos permite observar la relevancia y contribución de cada región al análisis.



Figura 2: Cantidad de Registros por Directorio y País.

Como se puede observar en la Fig 2, se identificaron artículos provenientes de diversos países, lo que evidencia el interés global en las temáticas de seguridad y privacidad de los datos. Ecuador lidera la lista con 7 artículos, lo cual resalta el enfoque nacional de la investigación. Le siguen España con 5 artículos, poste-riormente Colombia y China, con 4 artículos cada uno. Otros países como Brasil, México, Bulgaria, Chile y Cuba también aportaron al análisis, con 2 artículos cada uno. Finalmente, se encontraron contribuciones individuales de países co-mo Argelia, Malasia, Suecia, Jordania, Portugal, Perú y Alemania, cada uno con un artículo. Esta diversidad geográfica demuestra la relevancia internacional de las amenazas y soluciones relacionadas con la protección de datos.

Por otra parte, la Fig 3 complementa este análisis al mostrar la distribución de los artículos seleccionados por

región. En ella, se observa que América del Sur lidera con un 43 %, seguida por Europa con un 27 %, Asia con un 16 %, América Central y el Caribe 11 % y África con un 3 %. Este desglose regional refuerza la diversidad y representatividad de las investigaciones incluidas, destacando la contribución de diversas partes del mundo en el estudio de seguridad y privacidad de los datos.

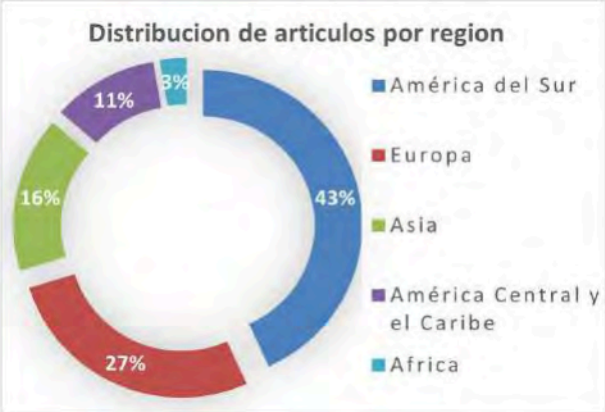


Figura 3: Distribución de artículos por región.

Se puede observar una predominancia de investigaciones provenientes de América del Sur, que concentra un 43 % (16 artículos), lo cual refleja un interés significativo en esta región por abordar los temas de seguridad y privacidad de la información. Europa sigue en relevancia con un 27 % (10 artículos), mientras que Asia aporta con un 16 % (6 artículos). América Central y el Caribe contribuyen con 11 % (4 artículos), y África con un 3 % (1 articulo). Esta diversidad regional pone de manifiesto el alcance global de los desafíos y soluciones relacionados con la protección de datos, aunque con un énfasis notable en las regiones de América del Sur y Europa. Este análisis resalta las diferencias regionales en la investigación sobre seguridad y privacidad de datos, mostrando una fuerte con-centración en regiones con mayor infraestructura tecnológica y recursos acadé-micos.

3.1. Seguridad y privacidad de los datos en el Ecuador

[2] menciona que, la integración y adaptación de tecnologías de vanguardia para fortalecer la seguridad de la información en el sector público de Ecuador es una laguna notable en la literatura especializada, y a pesar del creciente interés en tecnologías como la inteligencia artificial y el blockchain para la seguridad de la información, existe un vacío en cuanto a investigaciones sobre su implementa-ción efectiva en las instituciones públicas ecuatorianas y los desafíos vinculados a su adopción.

En [4] se argumenta que, a nivel ético, el principio de autodeterminación informati-va debe permitir a las personas controlar sus datos, además se deben establecer mecanismos de responsabilidad y transparencia para las entidades que los ges-tionan, evaluando también la perpetuación de sesgos y discriminaciones en el uso de la IA. Por ello, Ecuador debe fortalecer sus capacidades técnicas y opera-tivas, concienciar sobre la relevancia de la reserva de los datos, la instrucción de estructuras de gobernanza y rendición de cuentas que aseguren la utilización ética y responsable de los avances tecnológicos, salvaguardando los derechos fundamentales de los ciudadanos.

En este contexto, [2] propone que la normativa y legislación ecuatoriana sobre seguridad informática revela que, si bien se ha establecido una sólida base legal para la protección de datos en el ámbito público, aún persisten áreas significativas que requieren mejora y alineación con estándares internacionales reconocidos.

[4] indica que la era digital ha traído consigo numerosos beneficios, pero también desafíos en la confidencialidad de los datos. En el Estado ecuatoriano y otros territorios, la adopción creciente de tecnologías como internet, redes socia-les, comercio electrónico, entre otras, ha facilitado la compilación y el manejo de información personal sin que los ciudadanos den su consentimiento.

En [5] se afirma que el Ecuador necesita definitivamente enfrentar el reto de elaborar la ENC, como un acuerdo nacional, no solo en términos de prevención y san-ción del ciberdelito, sino también para disuadir posibles atacantes, identificarlos y perseguirlos con ayuda de la cooperación internacional.

3.2. Principales amenazas y vulnerabilidades

[6] observa que, aunque el sistema de información de las grandes empresas ha logrado avances positivos en la protección de seguridad en gestión y tecnología, todavía existen problemas urgentes y deficiencias basadas en la situación actual, como algunas brechas y deficiencias en la gestión de seguridad, ya que no existen muchas tecnologías y aplicaciones para aumentar la seguridad. Las protecciones tecnológicas se centran principalmente en el cortafuegos, antivirus, detección de intrusiones y tecnología de respaldo de datos.

Por consiguiente, [2] señala que la integración y adaptación de tecnologías avanzadas para aumentar la seguridad de la información en el sector público de Ecuador es una carencia destacada en la literatura especializada, añadiendo que, aunque exista un interés en tecnologías como la inteligencia artificial y el blockchain para la seguridad de la información, existe una falta de investigaciones sobre su implementación en las instituciones públicas ecuatorianas y los retos asociados a su adopción.

Por otra parte, uno de los aspectos negativos identificados en la revisión son vulnerabilidades que comprometen la seguridad y privacidad de la información en múltiples contextos organizacionales. En la Tabla 3 se han seleccionado algunas de estas vulnerabilidades, describiendo vulnerabilidades como el acceso no autorizado, las configuraciones débiles en sistemas y redes, la falta de capacitación del personal y la dependencia de tecnologías. Estas vulnerabilidades reflejan la necesidad de adoptar enfoques más completos para evitar riesgos y fortalecer las estrategias de protección de datos en las organizaciones ecuatorianas.

Tabla 3: Vulnerabilidades más comunes

Vulnerabilidad	Descripción	Autores de referencia
Por comportamiento humano	El rol que desempeñan las personas en el ámbito de seguridad es sumamente importante, teniendo en cuenta que el factor humano es el eslabón más débil en la protección de la información [?].	[7]; [8]; [9]
Falta de formación y cultura de ciberseguridad	La ausencia de conocimiento y comportamientos seguros puede exponer a las personas a riesgos, resaltando así la relevancia de la enseñanza sobre seguridad cibernética y la incorporación de hábitos adecuados para resguardarse en el entorno digital actual [10].	[2]; [4]; [6]; [10]; [11]; [12]; [13]; [14]; [15]; [16]
Ciberataques actualizados o más complejos	La evolución de los ciberataques requiere que las instituciones y los individuos inviertan más en ciberseguridad para enfrentar amenazas más sofisticadas [1].	[12]; [17]; [18], [19]; [20]
Falta de control de acceso	Acceso no autorizado a la alteración parcial o total de la información que se almacena estos sistemas [21].	[21]; [2]
Resistencia al cambio	La resistencia al cambio dentro de las instituciones es una vulnerabilidad que afecta la implementación de medidas de seguridad [7].	[7]

Se generó la Fig 4, el cual muestra que la vulnerabilidad más referenciada por los autores es la falta de formación y cultura de ciberseguridad (10 menciones), lo que resalta la necesidad de educar y concienciar a las personas sobre los riesgos cibernéticos y la adopción de hábitos seguros. Le siguen los ciberataques más complejos (5 menciones), que evidencian la creciente sofisticación de las ame-nazas y la urgencia de invertir en tecnologías avanzadas de protección. El com-portamiento humano (3 menciones) se confirma como un eslabón débil, desta-cando la importancia de estrategias educativas. En menor frecuencia se encuen-tran la falta de control de acceso (2 menciones) y la resistencia al cambio (1 mención), aunque estas últimas, pese a su menor relevancia en el análisis, pueden tener impactos significativos en la implementación de medidas de seguridad. Estos hallazgos subrayan la importancia de abordar tanto los factores tecnológi-cos como los humanos para mejorar la seguridad de la información.



Figura 4: Vulnerabilidades más comunes.

4. Discusión

4.1. 3.3 Recomendaciones sobre políticas y normativas de seguridad aplicables para mejorar la seguridad y privacidad de los datos en el Ecuador

En su investigación, [1] expresa que, el estudio de modelos legislativos interna-cionales es esencial para identificar mejores prácticas y adaptar estrategias efec-tivas en Ecuador. Países como Estados Unidos, la Unión Europea y Japón han desarrollado marcos legales robustos que pueden servir como referencia.

Es en este contexto [22] destaca como normativa importante que, la política estatal debe basarse en estándares nacionales que combatan el cibercrimen, pro-tejan la información y aseguren la seguridad tecnológica. También es fundamen-tal definir las áreas económicas donde se supervisarán las TIC, especialmente en infraestructuras críticas, asegurando la protección de datos y promoviendo un desarrollo digital sostenible, además de que estos principios no pueden imple-mentarse sin priorizar tecnologías nacionales y garantizar la seguridad informati-va a través de una normativa adecuada.

Por otro lado [15] expresa que, las auditorías y metodologías específicas son eficaces para evaluar y fortalecer la seguridad, en donde la capacitación es esen-cial. La implementación de tecnologías avanzadas plantea retos que deben ser abordados adecuadamente, y los planes de gestión basados en normas reconoci-das son estrategias efectivas para mejorar la seguridad.

[2] afirma que, respecto a las políticas y regulaciones, a pesar de los avances en el desarrollo de un marco legal sólido para la protección de datos, se enfrentan dificultades en la eficacia de las sanciones y la aplicación de las leyes.

Haciendo referencia a computación en la nube [23], expresan las políticas de seguridad son la base de una defensa efectiva en la nube. Las organizaciones deben desarrollar y mantener políticas de seguridad claras y detalladas que cu-bran todos los aspectos de la gestión de la seguridad en la nube, desde la configu-ración de los recursos hasta la gestión de identidades y accesos. Estas políticas deben ser revisadas y actualizadas regularmente para abordar nuevas amenazas y cumplir con las regulaciones en evolución.

[5] adjunta que, las soluciones estratégicas al problema de la ciberseguridad han sido impulsadas por países de-sarrollados, sin embargo, el uso globalizado de las TlC, afecta de todas maneras a los sistemas interorganizacionales internacio-nales. Por tanto, es importante ayudar y motivar a los países en desarrollo en la elaboración de sus estrategias nacionales y coadyuvar en su implantación me-diante un ciclo de vida.

Por otro lado, [5] manifiesta que las buenas prácticas desarrolladas hasta el momento, especifican que las ENC tendrán que contemplar aspectos políticos, de gobernanza, estratégicos, operativos, técnicos y jurídicos; que deben ser organi-zados y priorizados con base en modelos y principios generales definidos, con-centrados en la protección del ciberespacio.

La Tabla 4 sintetiza las principales estrategias de ciberseguridad identificadas en diversas investigaciones, descri-biendo brevemente su propósito y citando a los autores que las respaldan. Incluye enfoques como la implementación de SGSI, auditorías, uso de nuevas tecnologías, planes de respuesta ante incidentes, mar-cos normativos, monitoreo

continuo, y programas de capacitación. Cada estrate-gia está acompañada por referencias bibliográficas que validan su efectividad, destacando su relevancia en la protección de la información y en la mitigación de amenazas cibernéticas.

Tabla 4: Estrategias de mitigación y referencias.

Estrategias	Descripción	Autores de referencia
SGSI	El SGSI debe asegurar la selección de procedimientos de control de seguridad de la información adecuados y suficientes para proteger los activos de información y generar confianza en las partes interesadas [8].	[8]; [17]; [24]; [2]
Auditorios	Las auditorías de ciberseguridad realizadas por dominios pueden ser muy efectivas para evaluar los controles y las respuestas a las amenazas cibernéticas [25].	[15]; [7]; [25]
Nuevas tecnologías	Uso de tecnologías de seguridad avanzadas, aunque con retos en recursos y capacitación especializada [2].	[2]; [12]; [26]; [6]; [27]; [20]; [16]; [28]
Planes de respuesta	Establecer planes de respuesta a incidentes que definen los procedimientos a seguir en caso de una brecha de seguridad [12].	[12]
Implementación de marcos normativos	Las organizaciones deben aplicar políticas de seguridad respaldadas por marcos como ISO 27001, COBIT 5 e ITIL para protegerse de ciberataques [9].	[2]; [9]; [13]; [29]; [15]; [17]; [30]; [31]; [27]; [24]; [23], [32]; [25]
Monitoreo continuo	El monitoreo continuo es esencial para detectar y responder a incidentes de seguridad en tiempo real [23].	[12]; [33]; [6]; [23]; [34]; [35]
Capacitación y concienciación del personal	Invertir en programas de educación sobre ciberseguridad para aumentar la conciencia pública y reducir los riesgos de ataques cibernéticos [14].	[2]; [4]; [12]; [17]; [14]; [18]; [15]; [7]; [36]; [6]; [37]; [19]; [27]; [1]; [23]; [10]; [20]; [38]

Sabiendo esto se elaboró la Fig 5, la cual muestra las diversas estrategias utiliza-das para fortalecer la seguridad de la información en las organizaciones y la fre-cuencia con la que se implementan. Las estrategias más frecuentes son la capaci-tación y concienciación del personal, que se ha implementado 19 veces, y la im-plementación de marcos normativos, con una frecuencia de 14. Estas dos estrate-gias reflejan un enfoque claro en el desarrollo de una cultura de seguridad orga-nizacional y en la alineación con las mejores prácticas normativas.



Figura 5: Estrategias de mitigación y frecuencia.

Se puede observar que las estrategias como el monitoreo continuo (6) y las nue-vas tecnologías (8) también son importantes y de mucha ayuda, aportando una adopción de medidas tecnológicas y una vigilancia constante para proteger los activos de información.

Por otro lado, las estrategias menos frecuentes incluyen el SGSI y las audito-rías, ambas con una frecuencia de 3, y los planes de respuesta, con solo 1 aplica-ción. Esto sugiere que, aunque esenciales, estas estrategias pueden no estar tan integradas o ser menos priorizadas en comparación con la formación continua del personal y la adopción de marcos regulatorios.

5. Conclusión

Se demuestra la relevancia de mejorar la seguridad y privacidad de los datos en el contexto ecuatoriano, especialmente en una época donde la digitalización está tomando fuerza y creciendo constantemente. Las principales amenazas identifi-cadas, como ciberataques avanzados, la poca capacitación en ciberseguridad y las vulnerabilidades técnicas, evidencian la necesidad de adoptar estrategias que sean de ayuda. Entre las más destacadas se encuentran la implementación de marcos normativos sólidos, la formación continua del personal y la incorpora-ción de tecnologías avanzadas como el Big data, blockchain e inteligencia artifi-cial.

Aunque Ecuador ha avanzado en el desarrollo de un marco legal, como la Ley de Protección de Datos Personales, aún enfrenta retos significativos en su aplica-ción y alineación con estándares internacionales. Este estudio da como consejo tomar medidas prácticas, como auditorías de seguridad, planes de respuesta ante incidentes y monitoreo continuo, que, junto con una cultura de ciberseguridad fortalecida, permitirían reducir riesgos y garantizar una protección eficaz de la información.

Para sobrellevar estos desafíos, es necesario poner en primer lugar la imple-mentación de políticas claras y sostenibles que refuercen la protección de datos en todos los sectores. De esta manera, Ecuador podrá consolidar su posición frente a las demandas del entorno digital global, promoviendo la confianza en los sistemas tecnológicos y asegurando un desarrollo digital inclusivo y seguro.

Referencias

[1] L. A. Ordóñez Córdova, "El Marco Legal de los Delitos Cibernéticos en Ecuador," Reincisol., vol. 3, no. 5, pp. 1447–1469, Jun. 2024, doi: 10.59282/reincisol.v3(5)1447-1469.

[2] A. A. Ávila Coello, "Seguridad de la información en instituciones públi-cas: desafíos y buenas prácticas en el contexto ecuatoriano.," Journal of Economic and Social Science Research, vol. 4, no. 2, pp. 140–156, Apr. 2024, doi: 10.55813/gaea/jessr/v4/n2/96.

[3] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," Mar. 29, 2021, BMJ Publishing Group. doi: 10.1136/bmj.n71.

[4] G. E. Barahona Martinez, Y. G. Barzola Plúas, and L. V. Peñafiel Muñoz, "El Derecho a la Protección de Datos y el Avance de las Nuevas Tecnolo-gías en Ecuador: Implicaciones Legales y Éticas," Journal of Economic and Social Science Research, vol. 4, no. 3, pp. 46–64, Jul. 2024, doi: 10.55813/gaea/jessr/v4/n3/113.

[5] M. R. Egas, G. Ninahualpa, D. Molina, and J. Diaz, Estrategia Nacional de Ciberseguridad para Paises en Desarrollo National Cybersecurity Stra-tegy for Developing Countries Case study: Ecuador proposal. 2020.

[6] Liu Jia, Research on Information Security of Large Enterprises. IEEE, 2020.

[7] D. Imbaquingo, F. Diaz, T. Saltos, S. Arciniega, D. Leon, and A. Robayo, Problemas de seguridad de la información en Instituciones de Educación Superior. IEEE, 2020.

[8] R. Almeida De Paula and J. Oliveira Castro, "Sistemas de gestão de segu-rança da informação-uma análise comportamental (Information security management systems-a behavioral analysis)," 2023.

[9] Bhaharin Surayahani, Sulaiman Rossilawati, Mokhtar Umi, and Yusof Maryati, Issues and Trends in Information Security Policy Compliance. IEEE, 2019.

[10] N. J. Pinda Román and L. A. Moya Martínez, "Ciberseguridad enfocada en el futuro digital de los estudiantes," LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, vol. 5, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.56712/latam.v5i2.1910.

[11] F. Arellano, Í. Donoso Barraza, A. Flores Bustos, C. P. Soto, V. Flores Fon-seca, and R. Martínez-Peláez, "Examining cybersecurity culture in Leon city organizations: Insights from 2022 Examinando la cultura de ciberse-guridad en las organizaciones de la ciudad de León: percepción de 2022," 2024. [Online]. Available: https://orcid.org/0009-0003-5061-7746.

[12] R. Benaichouba, M. Brahmi, and L. Adala, "ECONOMIC OF CYBER-SECURITY AND SOCIETY DATABASES: PROTECTING THE DIGITAL ECOSYSTEM FROM CYBER-ATTACKS," International Journal of Pro-fessional Business Review, vol. 9, no. 7, p. e04803, Jul. 2024, doi: 10.26668/businessreview/2024.v9i7.4803.

[13] V. I. Capa Sanmartín, A. J. Romero Fernández, F. P. Cañizares Galarza, and S. A. Machuca Vivar, "La gestión de seguridad de la información para una empresa," CIENCIAMATRIA, vol. 8, no. 4, pp. 651–666, Aug. 2022, doi: 10.35381/cm.v8i4.877.

[14] A. P. da Silva Sotero and L. R. dos Santos, "O estelionato virtual e a in-eficácia da legislação brasileira para coibir o crime cibernético," Cuader-nos de Educación y Desarrollo, vol. 16, no. 8, p. e5183, Aug. 2024, doi: 10.55905/cuadv16n8-081.

[15] J. Guaña Moya, "La importancia de la seguridad informática en la educa-ción digital: retos y soluciones," RECIMUNDO, vol. 7, no. 1, pp. 609–616, Feb. 2023, doi: 10.26820/recimundo/7.(1).enero.2023.609-616.

[16] J. M. Trujillo Torres, C. Rodríguez Jiménez, S. A. García, and B. Berral Ortiz, "Revisión sistemática de la literatura sobre la seguridad digital en estudiantes de educación superior," Información tecnológica, vol. 35, no. 4, pp. 1–12, Aug. 2024, doi: 10.4067/s0718-07642024000400001.

[17] D. L. Carvajal Portilla, A. Cardona Londoño, and F. J. Valencia Duque, "Una propuesta de gestión de la seguridad de la información aplicado a una entidad pública colombiana," Entre ciencia e ingeniería, vol. 13, no. 25, pp. 68–76, Jun. 2019, doi: 10.31908/19098367.4016.

[18] M. Ron, G. Ninahualpa, D. Molina, and J. Diaz, Estrategia Nacional de Ciberseguridad para Paises en Desarrollo. IEEE, 2020.

[19] F. Juca Maldonado and R. Medina Peña, "Ciberdelitos en Ecuador y su impacto social; panorama actual y futuras perspectivas.," Portal de la Ciencia, vol. 4, no. 3, pp. 325–337, Sep. 2023, doi: 10.51247/pdlc.v4i3.394.

[20] C. Su, "Big data security and privacy protection," in Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems, ICVRIS 2019, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2019, pp. 87–89. doi: 10.1109/ICVRIS.2019.00030.

[21] R. D. Estrada Esponda, J. L. Unás Gómez, and O. E. Flórez Rincón, "Prác-ticas de seguridad de la información en tiempos de pandemia. Caso Universidad del Valle, sede Tuluá," Revista Logos, Ciencia & Tecnología, vol. 13, no. 3, Oct. 2021, doi: 10.22335/rlct.v13i3.1446.

[22] A. K. Zharova and V. M. Elin, "Technical and Legal Principles of Infor-mation Security on the Example of Russia," in Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and In-formation Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 131–135. doi: 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642899.

[23] D. P. A. Peña Martha, "Amenazas emergentes en la computacion en la nube," 2024.

[24] O. Ñañez, "Modelo de gestión de riesgos de ti para mejorar la gestión de seguridad de la información en la," 2020.

[25] R. Sabillón and J. J. Cano M., "Auditorías en Ciberseguridad: Un modelo de aplicación general para empresas y naciones," RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, vol. 2019, no. 32, pp. 33–48, Jun. 2019, doi: 10.17013/risti.32.33-48.

[26] H. Gao, "Design of Network Data Information Security Monitoring Sys-tem Based on Big Data Technology," in Procedia Computer Science, Elsevier B.V., 2023, pp. 348–355. doi: 10.1016/j.procs.2023.11.040.

[27] R. Madrigal, "IMPACTO DE LOS CIBERATAQUE EN LA SEGURIDAD INTERNACIONAL IMPACT OF THE CIBERATAQUE ON INTERNATIONAL SECURITY," 2020, [Online]. Available: https://www.eumed.net/rev/caribe/2020/01/ciberataque-seguridad-internacional.html.

[28] P. A. Villa Sánchez, J. Gutiérrez Obando, and A. M. López Echeverry, "Elementos de Seguridad para Gestión Documental con Blockchain," En-tre ciencia e ingeniería, vol. 17, no. 34, pp. 36–42, 2023, doi: 10.31908/19098367.2667.

[29] J. V. Cordero, "Las normas ISO/IEC como mecanismos de responsabilidad proactiva en el Reglamento General de Protección de Datos*," 2021. [Online]. Available: https://idp.uoc.edu.

[30] A. Irsheid, A. Murad, M. Alnajdawi, and A. Qusef, "Information security risk management models for cloud hosted systems: A comparative study," in Procedia Computer Science, Elsevier B.V., 2022, pp. 205–217. doi: 10.1016/j.procs.2022.08.025.

[31] L. Isabel, O. Pedro, and G. Teresa, How ISO 27001 can help achieve GDPR compliance. IEEE, 2019.

[32] R. Romansky and I. Noninska, Cyber Space Features – Security and Data Protection Requirements. IEEE, 2019.

[33] P. Genchev, "An approach to support information security risk assess-ment," in Proceedings of the International Conference on Biomedical In-novations and Applications, BIA 2020, Institute of Electrical and Elec-tronics Engineers Inc., Sep. 2020, pp. 125–128. doi: 10.1109/BIA50171.2020.9244516.

[34] Y. Rojas, P. Tamayo, and M. Moreno, "METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN BASADA EN LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES DE LA NORMA CUBANA NC ISO IEC 27001:2016," 2020, [Online]. Available: https://www.eumed.net/rev/rilcoDS/12/gestion-seguridad-informacion.html.

[35] J. M. Salazar, C. Cruz, A. Balderas, and H. Diaz, "LA SEGURIDAD INFORMÁTICA EN LAS INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR," 2021.

[36] F. Javier et al., "Examining cybersecurity culture in Leon city organizati-ons: Insights from 2022 Examinando la cultura de ciberseguridad en las organizaciones de la ciudad de León: percepción de 2022," 2024. [Onli-ne]. Available: https://orcid.org/0009-0003-5061-7746.

[37] Juan Manuel Aguilar Antonio, "Retos y oportunidades en materia de ci-berseguridad de América Latina frente al contexto global de ciberamena-zas a la seguridad nacional y política exterior," 2021.

[38] F. Wulf, S. Strahringer, and M. Westner, "Information security risks, bene-fits, and mitigation measures in cloud sourcing," in Proceedings - 21st IEEE Conference on Business Informatics, CBI 2019, Institute of Electri-cal and Electronics Engineers Inc., Jul. 2019, pp. 258–267. doi: 10.1109/CBI.2019.00036.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Metodología para el desarrollo de sistemas de gestión de mantenimiento basado en la norma NTE- INEN-EN-15341 en MIPYMES manufactureras de la provincia de Imbabura

Methodology for the Development of Maintenance Management Systems Based on the NTE-INEN-EN-15341 Standard in Manufacturing MSMEs of Imbabura Province

Jenyffer Yépez, Karla Paola Negrete, Marco Gabriel Alarcón

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Avda. 17 de Julio 5-21, 100105 Ibarra, Ecuador

Recibido: 17/10/2024, Aceptado: 04/04/2025
Autor de correspondencia: Jenyffer Yepez: jayepez@utn.edu.ec [1]
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1156

PALABRAS CLAVE

MIPYMES,
gestión del mantenimiento,
encuesta MES,
Encuesta sobre la Eficacia del Mantenimiento

RESUMEN

Una adecuada gestión del mantenimiento en las empresas es de importancia, así como también el trabajo adecuado de las máquinas que forman parte del proceso productivo, el diseño de una metodología para gestionar el funcionamiento y operatividad de la maquinaria en MIPYMES manufactureras de la provincia de Imbabura en el que se enfoca la investigación se dividió en fases. Fase I, identificación de la población y selección de la muestra aplicando fórmulas estadísticas y tipo de actividad económica de las organizaciones, obteniendo una muestra de 340 MIPYMES manufactureras; fase II levantamiento de información aplicando la encuesta MES, (Maintenance Effectiveness Survey) que consiste en un conjunto de preguntas relacionadas con la administración y gestión de los equipos, que busca identificar el nivel de mantenimiento realizado en las MIPYMES manufactureras, así como también los procesos que se realizan para el cumplimiento de la actividad económica declarada, en donde se identificó los procesos estratégicos, operativos y de apoyo, es necesario recalcar que, al ser empresas manufactureras y el enfoque es la producción de prendas de vestir, alimentos, artículos de cuero entre otros, cuentan con maquinaria especializada que debe brindar las condiciones adecuadas de funcionamiento y operatividad; fase III, una vez obtenida la información se plantea la metodología para gestionar la operatividad de la maquinaria, considerando el diagnóstico situacional, diseño, implementación y verificación, es necesario mencionar que una adecuada gestión del mantenimiento a través de la aplicación de una metodología general para industrias manufactureras permite que la operatividad de los procesos productivos sea continua, puesto que al generarse una adecuada planificación reduce las paradas de la producción y pérdidas.

KEYWORDS

MSMEs,
Maintenance Management,
MES Survey,
Maintenance Effectiveness Survey

ABSTRACT

Adequate maintenance management in companies is of importance, as well as the proper work of the machines that are part of the production process, the design of a methodology to manage the functioning and operability of machinery in manufacturing MSMEs in the province of Imbabura on which the research focuses was divided into phases. Phase I. Identification of the population and selection of the sample applying statistical formulas and type of economic activity of the organizations, obtaining a sample of 340 manufacturing MSMEs, phase II information gathering applying the MES survey (Maintenance Effectiveness Survey), which consists of a set of questions related to the administration and management of equipment, which seeks to identify the level of maintenance carried out in manufacturing MSMEs, as well as the processes that are carried out for the fulfillment of the declared economic activity, where the strategic, operational and support processes were identified, it is necessary to emphasize that as they are manufacturing companies and the focus is the production of clothing, food, leather articles, among others. others They have specialized machinery that must provide adequate operating and operational conditions, phase III, once the information is obtained, the methodology to manage the operation of the machinery is proposed, considering the situational diagnosis, design, implementation and verification, it is necessary to indicate that adequate maintenance management through the application of a general methodology for industries manufacturing allows the operation of the production processes to be continuous, since when adequate planning is generated, it reduces production stops and losses.

1. Introducción

Las Pymes en América Latina han realizado una gestión tecnológica para atender los requerimientos de los recursos tecnológicos básicos o genéricos que permitan ingresar y mantenerse en el mercado, puesto que no existe ni una estructura funcional encargada, ni se desarrollan planes o agendas tecnológicas, además de carecer de presupuestos específicos para estas actividades [1].

El mantenimiento preventivo de la maquinaria o una adecuada gestión del funcionamiento de los equipos está orientado a la mejora de la producción y operatividad de las organizaciones, en los últimos años las PYMES ecuatorianas siguen teniendo esa tendencia a seguir trabajando de la misma manera que lo han hecho siempre, no se han notado incrementos en la productividad con un pobre desarrollo tecnológico y sin crecimiento estructural. Al propio tiempo, no existen mejoras en alcance de mercado, casi todas se enfocan en lo local o nacional y son incipientes las que exportan, representando entre un 6 % y 7 % [2].

Con el objetivo de fortalecer la productividad de las empresas manufactureras de Imbabura, se ha visto la necesidad de desarrollar una metodología enfocada en el diseño, diagnóstico, implementación y verificación de actividades que mejoren la operatividad de los procesos productivos, al mantener un flujo continuo de la fabricación de productos y aprovechar los recursos, permitiendo un funcionamiento permanente a través de la aplicación de la metodología para sistemas de gestión de mantenimiento, como se muestra en la Figura 1.

El mantenimiento abarca un conjunto de acciones estratégicas, tanto preventivas como correctivas, dirigidas a los equipos y maquinarias de las organizaciones, garantizando así la optimización de los recursos. Esto resulta crucial para asegurar la calidad en los procesos productivos industriales y se consolida como una estrategia clave que la alta gerencia debe adoptar para mejorar la competitividad en la industria nacional.

La planificación permite definir las actividades adecuadas en los equipos y maquinarias enfocadas en la ingeniería industrial, tomar decisiones preventivas y correctivas en un momento determinado, y garantizar la productividad en las organizaciones. Existen algunas metodologías para gestionar el mantenimiento en las MIPYMES, tales como el RCM (Reliability Centered Maintenance) y TPM (Total Productive Maintenance). El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos [3].

Por otro lado, el TPM es un conjunto de iniciativas estratégicas centradas en mantener y mejorar los sistemas de producción y calidad a través de las máquinas, equipos, procesos y empleados que agregan valor a una organización

[4]. Los equipos se pueden clasificar en críticos, importantes o prescindibles, según el impacto que una falla pueda generar en áreas como la producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

Para seleccionar el tipo de mantenimiento más adecuado, el RCM distingue las siguientes estrategias:

- Mantenimiento predictivo o a condición: consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra.
- Mantenimiento preventivo: referido a tareas de sustitución o retrabajo hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente.
- Mantenimiento correctivo: consiste en reparar el equipo una vez que la falla ocurre; no se lleva a cabo ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar la falla.
- Mantenimiento de detección o búsqueda de fallas: consistente en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos sean capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios [5].

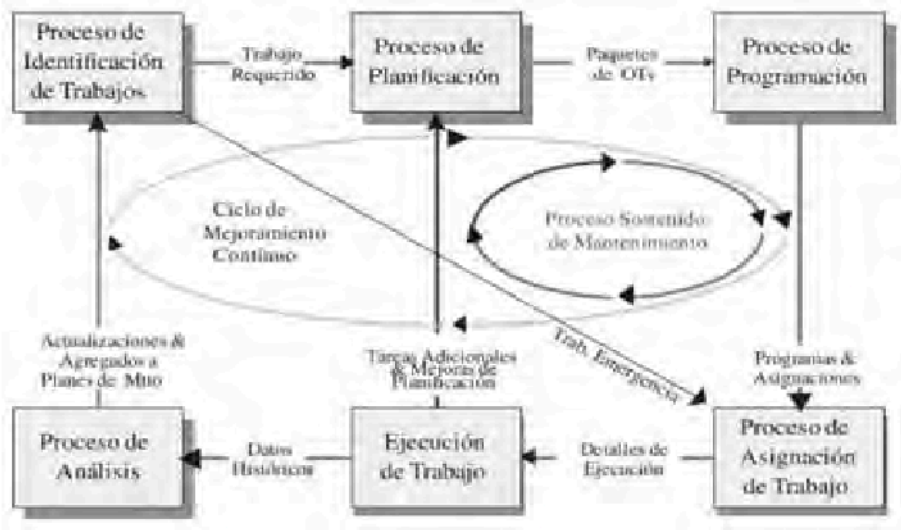


Figura 1: Ciclo de trabajo de mantenimiento

1.1. Gestión de mantenimiento

Una adecuada gestión de las organizaciones alinea los procesos productivos de forma efectiva, eficiente y puntual, lo que significa que debe ajustarse a los objetivos establecidos según las necesidades de las empresas, reduciendo al máximo los costos por mantenimiento que están relacionados con las pérdidas en la producción. A la vez, debe ser capaz de operar, producir y lograr los objetivos con el mínimo costo (minimizando los costes directos), generando actividades que permitan mejorar los indicadores claves del proceso de mantenimiento, asociados a mantenibilidad y confiabilidad [6], tal como se muestra en la Figura 2.

1.2. Sistema de indicadores

De acuerdo con la Norma NTE INEN-EN 15341, el rendimiento del mantenimiento es el resultado de actividades complejas que se analizan, evalúan y mejoran de acuerdo con el sistema de indicadores, midiendo el rendimiento de las MIPYMES; para esto es importante centrarse en tres grupos, tales como: económicos, técnicos y organizacionales y, a la vez, se relacionan directamente como los factores internos y externos [7].

1.3. Plan de mantenimiento

Carlos Montilla [8] destaca algunos puntos esenciales sobre el mantenimiento: “El mantenimiento no es una actividad estática que se planifique y ejecute de manera indefinida; por el contrario, es una actividad dinámica que constantemente

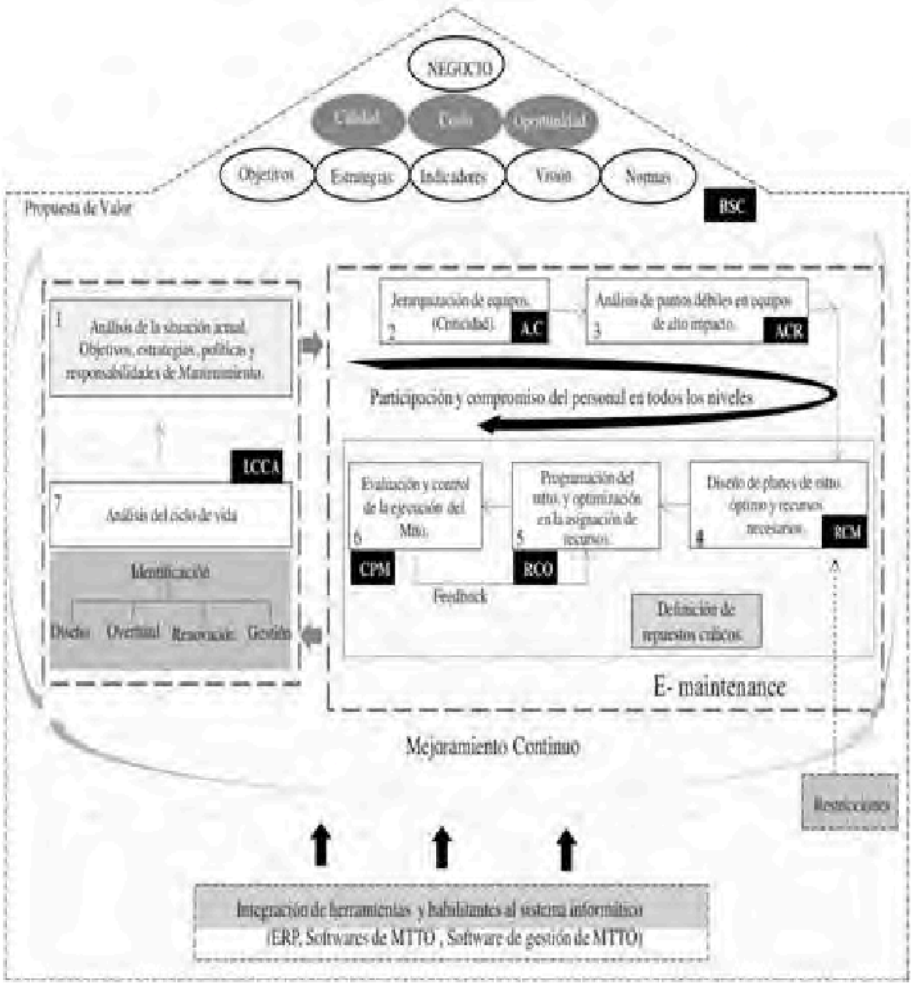


Figura 2: Modelo de gestión de mantenimiento

requiere revisiones, cambios y mejoras, es una parte intrínseca de la producción y cumple una función transversal que impacta a todas las áreas de la empresa."

2. Metodología

Para la investigación se planteó una ejecución por fases, en la fase I, se realiza un estudio de tipo cuantitativo al recopilar información de las empresas manufactureras de la provincia de Imbabura que se encuentran registradas en la base de datos de Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) de los cantones de Imbabura y la clasificación Industrial Internacional Uniforme de Actividades Económicas (CIIU) Revisión 4.0., adicionalmente, mediante la aplicación de la fórmula para cálculo de muestra de población finita se obtiene una muestra de 340 MIPYMES de los cantones que conforman la provincia de Imbabura; en la fase II, se aplicó el cuestionario MES (Maintenance Effectiveness Survey) que consiste en un conjunto de preguntas relacionadas con la administración de recursos, gestión de la información, tecnología de equipos [9], identificando el nivel de mantenimiento que se realiza en las MIPYMES, así como también, se identificaron los procesos estratégicos, operativos y de apoyo; y, en la fase III, se plantea la metodología para gestión del mantenimiento aplicable a empresas manufactureras.

3. Discusión y resultados

3.1. Fase I. Población y muestra

Para determinar la población se tomó información del Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC y el Directorio de Empresas y Establecimientos DIIE 2021 Industrias manufactureras clasificación C (Tabla 1), con un total de 3972 empresas ubicadas en los cantones de Ibarra, Antonio Ante, Otavalo, Pimampiro, San Miguel de Urcuquí y Cotacachi.

Tabla 1: empresas manufactureras por cantón clasificación C

Código	Descripción
C10	Elaboración de productos alimenticios
C13	Productos textiles
C14	Fabricación de prendas de vestir
C15	Fabricación de cueros y productos conexos
C16	Productos de madera y corcho
C25	Productos elaborados de metal excepto maquinaria y equipo
C31	Fabricación de muebles

Para el estudio se seleccionaron las MIPYMES considerando la actividad económica por la que son conocidos los diferentes cantones en la provincia de Imbabura, se tomaron 2826 MIPYMES como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2: Número de empresas manufactureras por cantón clasificación C

Cantón	C10	C13	C14	C15	C16	C25	C31	Total
Ibarra	350		364		92	101	126	1033
Antonio Ante		109	629					738
Cotacachi			91	73				164
Otavalo		153	699					852
Pimampiro	12							12
Urcuquí	27							27
TOTAL	**389**	**262**	**1783**	**73**	**92**	**101**	**126**	**2826**

Para determinar el tamaño de la muestra para realizar el respectivo análisis se aplicó la Ecuación (1) para una muestra de población finita, como lo determina Cochran [10].

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p(1-p)}{e^2 \cdot (N-1)} \tag{1}$$

Donde: N corresponde a la población: 2826 MIPYMES de la provincia de Imbabura; $p = 0{,}50$ es la proporción estimada del parámetro a evaluar (probabilidad a favor); $q = 1 - p = 0{,}50$ es la probabilidad en contra; $Z = 1{,}96$ es el valor de la distribución normal estándar para un nivel de confianza del 95 % y $e = 0{,}05$ es el error de estimación (5 %).

Aplicando este cálculo se obtuvo un tamaño de muestra de 340 MIPYMES, de las cuales se realizó una distribución de acuerdo con cada cantón de la provincia de Imbabura, que se presenta en la tabla 3.

3.2. Fase II. Aplicación de cuestionario e identificación de procesos

3.2.1. MES (*Maintenance Effectiveness Survey*)

Aplicación del cuestionario MES adaptado de [11] y [12], a las 340 empresas manufactureras, con la finalidad de identificar la categoría, tipo y el nivel de mantenimiento que se lleva a cabo en las MIPYMES, de acuerdo con la tabla 4.

Al aplicar el cuestionario a las MIPYMES manufactureras de la provincia de Imbabura, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 5.

Tabla 3: Distribución de MIPYMES seleccionadas por cantón y actividad económica (muestra)

Cantón	C10	C13	C14	C15	C16	C25	C31	Total
Ibarra	42		44		11	12	15	124
Antonio Ante		13	76					89
Cotacachi			11	9				20
Otavalo		18	84					102
Pimampiro	2							2
Urcuquí	3							3
TOTAL	**47**	**31**	**215**	**9**	**11**	**12**	**15**	**340**

Tabla 4: Muestra de MIPYMES por cantón

Rangos	Evaluación
300 - 261	Categoría "Clase Mundial" / nivel de excelencia en mantenimiento.
201 - 260	Categoría "Nivel de Madurez" / nivel de buenas prácticas en mantenimiento.
141 - 200	Categoría "Nivel Promedio" / nivel aceptable en mantenimiento.
71 - 140	Categoría "Nivel de Incertidumbre" / nivel no muy bueno del mantenimiento con oportunidades para mejorar.
0 - 70	Categoría "Nivel de ineficiencia" / nivel muy malo mantenimiento con muchas oportunidades para mejorar.

De la información obtenida al aplicar el cuestionario MES se obtuvo un puntaje, las MIPYMES están en el rango de 71 a 140 puntos que es un nivel de incertidumbre, es decir un nivel no adecuado de mantenimiento, pero con oportunidades de mejora. En base a los resultados de la investigación se determina que, la mayoría de las empresas emplean el mantenimiento correctivo, que de acuerdo con la norma UNE-EN 13306 lo define como "mantenimiento que se debe realizar después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida"[11]. Por lo que las MIPYMES realizan el mantenimiento de los activos una vez que se presente el fallo y avería, se realizan actividades como identificación y detección de fallo en la máquina o equipo, reparación, pruebas de funcionamiento, entre otras.

3.2.2. Clasificación de procesos productivos

Con los resultados obtenidos al aplicar la encuesta MES se determinó que se realiza un mantenimiento correctivo a la maquinaria de las MIPYMES, con la finalidad de gestionar las actividades de producción es necesario identificar los procesos que se llevan a cabo, por lo que se realizó una clasificación del tipo de actividad de la MIPYME y estructuración de los procesos estratégicos, operativos y de apoyo, como se muestra en la tabla 6.

3.2.3. Diseño de la metodología para gestión del mantenimiento

Una vez recopilada la información necesaria se procedió a diseñar la metodología para gestión del mantenimiento en las MIPYMES manufactureras que se muestra en la Figura 3.

Diagnóstico Se explica el primer paso de la metodología diseñada, que comprende el levantamiento de información, la revisión de documentación e instalaciones.

Información de procesos productivos de la organización: Levantamiento de información inicial de la organización, como punto de inicio para el diseño del plan de mantenimiento se obtiene información de la empresa, misión, visión, objetivos, metas, cadena de valor, mapa de procesos.

Revisión de documentación de mantenimiento-evaluación de organización, registros y formatos de mantenimiento ejecutado:

- Análisis de la situación actual de la empresa
- Información de mantenimientos realizados

Tabla 5: Promedios por categoría

C10	C13	C14	C15	C16	C31	C25
134.15	140.99	140.99	121.11	121.11	139.5	127.92

Tabla 6: Tipo de empresa

	C10	C13-C14	C15	C16-C31	C25
Cantón	Ibarra, Pimampiro, Urcuquí	Antonio Ante	Cotacachi	Ibarra, San Antonio	Ibarra
Tipo de empresa	Empresas productoras de alimentos	Empresas textiles, fabricación de ropa	Empresas productoras de artículos de cuero	Empresas de fabricación de muebles	Empresas metalmecánicas
Macroproceso			**Proceso**		
Estratégico	Planificación Estratégica	Planificación Estratégica, Análisis Organizacional, Previsión, Integración de Recursos Institucionales, Dirigir y Controlar	Gestión Estratégica	Gestión Financiera, Gestión Comercial, Control de Calidad	Administración, Atención al cliente
Macroproceso			**Proceso**		
Operativo	Recepción de materia prima, Revisión de materia prima, Almacenamiento, Procesamiento, Empaque, Conservación, Revisión, Etiquetado, Empaquetado	Diseño, Corte, Tejido, Bordado, Confección, Acabados, Revisión, Etiquetado, Empaquetado	Acopiar materiales, Bodega Corte, Ensamblaje, Montaje, Prefabricado, Terminado, Embalaje	Diseño, Corte y trazado, Ensamble, Acabado, Entrega	Recepción de materia prima, Mantenimiento
Macroproceso			**Proceso**		
Apoyo	Marketing, Calidad	Marketing y ventas, Calidad, Investigación de mercado	Distribución, Comercialización	Recursos humanos, Secretaría	Talento humano, Financiero, Asesoría legal

- Tipo de mantenimiento ejecutado
- Contratación de mantenimiento externo
- Documentación, datos históricos de mantenimiento.

Levantamiento de información de instalaciones, funcionamiento y condiciones de maquinaria y manuales técnicos:
- Inspección inicial de equipos para conocer el funcionamiento y ubicación.
- Inspección de instalaciones.

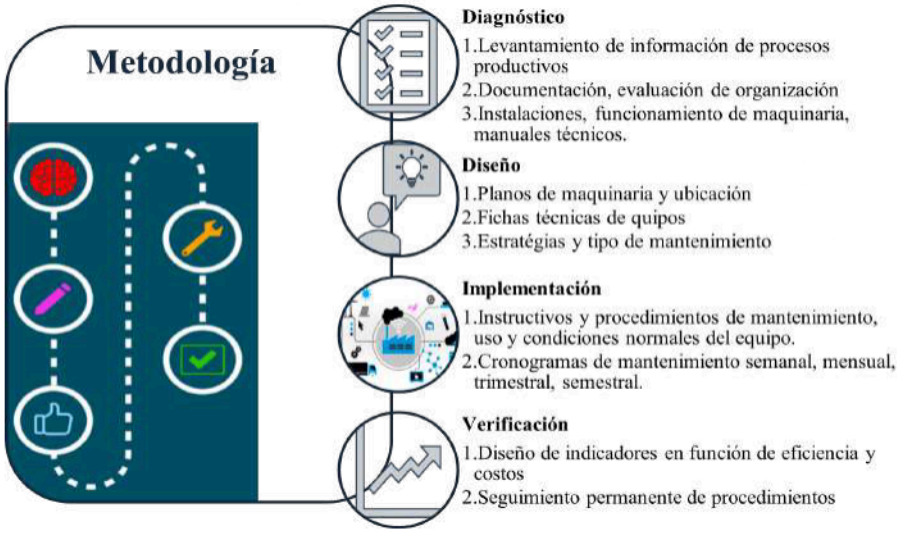


Figura 3: Metodología de gestión de mantenimiento empresas manufactureras

- Aplicación de metodologías para diagnóstico de maquinaria como pueden ser análisis de criticidad, matriz AMFE.

Diseño Una vez realizado el diagnóstico situacional de la organización, infraestructura y maquinaria, es necesario diseñar el sistema de gestión de mantenimiento a partir de la información obtenida, necesidades y situación económica de la empresa.

Planos de maquinaria y ubicación : La elaboración de planos de maquinaria sirve como una representación detallada y precisa de los equipos y sistemas presentes en la planta, permitiendo una visión clara de la disposición física, las dimensiones, y las conexiones entre los distintos componentes, deben incluir vistas isométricas, cortes y detalles que muestren claramente las partes críticas del equipo, como motores, bombas, ejes y sistemas de lubricación.

La ubicación de cada máquina se registra en un plano de planta, que muestra la distribución física dentro de la instalación, sirven para determinar rutas óptimas de acceso y herramientas necesarias, minimizando tiempos de intervención y reduciendo posibles paradas no programadas, lo que facilita la identificación rápida en caso de una intervención preventiva.

Fichas técnicas de equipos: Elaboración de fichas técnicas de maquinaria y equipo considerando la parte mecánica y eléctrica, así como también placas de descripción, levantamiento técnico de información, donde se recopilan datos como la marca, modelo, año de fabricación, especificaciones técnicas, y condiciones actuales de funcionamiento, recomendaciones del fabricante, intervalos de mantenimiento y las tareas específicas a realizar, como ajustes, lubricaciones, calibraciones y reemplazo de componentes.

Las fichas sirven como un documento centralizado que reúne toda la información crítica acerca de cada equipo o maquinaria, permitiendo a los responsables tomar decisiones informadas y planificar las actividades de mantenimiento de manera efectiva.

Diseño de estrategias y tipo de mantenimiento (procedimientos, instructivos, cronogramas): Los procedimientos de ejecución de mantenimiento de los diferentes equipos y maquinaria de la organización detallan el proceso que se debe seguir, así como también se incluyen los formatos y registros, donde se detalla información relacionada con el historial de los equipos.

Se registra todas las intervenciones realizadas, desde mantenimientos rutinarios hasta reparaciones mayores, así como los repuestos utilizados y las horas de operación entre fallas. Este historial es invaluable para predecir posibles fallos futuros y ajustar el plan según las necesidades reales del equipo.

Los instructivos se realizan en función de cada maquinaria, dentro de este se encuentra información sobre las condiciones de operación óptimas del equipo, como temperatura, humedad, vibraciones y otros parámetros ambientales. Esto ayuda a los técnicos a identificar desviaciones que podrían indicar un problema inminente, permitiendo una intervención proactiva, desde el arranque, funcionamiento y parada de los equipos.

Implementación La implementación del sistema de gestión de mantenimiento preventivo ayuda a la optimización de las operaciones y la maximización de la vida útil de los activos, no solo se enfoca en la corrección de fallos una vez

que ocurren, sino en la anticipación y prevención de estos, garantizando que los equipos y sistemas críticos operen de manera eficiente y continua.

Además, se requiere un cambio cultural dentro de la organización, donde el mantenimiento preventivo es visto como una inversión esencial para la sostenibilidad a largo plazo y la implementación es fundamental para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar el riesgo de fallos críticos, asegurando así la continuidad y el éxito de las operaciones.

Aplicación de instructivos y procedimientos de mantenimiento, uso y condiciones normales del equipo: La aplicación de instructivos y procedimientos de mantenimiento, donde se describe el uso y condiciones normales del equipo, es esencial para garantizar la eficiencia, seguridad y longevidad de los activos, puesto que proporcionan pautas claras y detalladas sobre cómo operar y mantener los equipos de manera óptima, minimizando el riesgo de fallos, accidentes y paradas no planificadas, lo que asegura la consistencia en las intervenciones de mantenimiento, detección temprana de problemas y la prevención de averías mayores. La integración de estos instructivos y procedimientos en las operaciones diarias de la organización mejora la fiabilidad y disponibilidad, así como también fomenta una cultura de seguridad y responsabilidad entre los empleados, facilita la formación continua y la actualización de conocimientos, asegurando que el personal esté siempre capacitado para manejar y mantener los equipos bajo los estándares más rigurosos.

Cronogramas de mantenimiento semanal, mensual, trimestral, semestral: Los cronogramas mejoran la operatividad del sistema de gestión al mantener de manera ordenada y planificada los mantenimientos a ejecutarse en la maquinaria.

Verificación Paso final de la metodología diseñada. Comprende el diseño de indicadores y el seguimiento de formatos y registros.

Diseño de indicadores de eficiencia y costos: Los indicadores diseñados para un sistema de gestión evalúan continuamente la eficiencia y efectividad de las operaciones, monitorean el rendimiento de los equipos al medir aspectos clave como la disponibilidad, el tiempo medio entre fallos (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y los costos [13], ofreciendo una visión clara y cuantificable del estado y la gestión de los activos, lo que proporciona datos esenciales para la toma de decisiones informadas y permite a los responsables del mantenimiento identificar áreas de mejora, optimizar recursos y reducir costos.

Seguimiento permanente de procedimientos formatos y registros: El seguimiento permanente de procedimientos, formatos y registros es un componente esencial en la implementación y operación de un sistema de gestión de mantenimiento, asegura que todas las actividades se realicen de manera consistente, documentada y alineada con los estándares establecidos por la organización.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Para la investigación se identificó una población de 2826 MIPYMES de la provincia de Imbabura, con una muestra de 340 MIPYMES manufactureras clasificadas por cantón, de acuerdo con la actividad económica que realizan, se aplicó el cuestionario MES (Maintenance Effectiveness Survey); en base a los resultados obtenidos, se identifica que las MIPYMES están en un nivel de incertidumbre, debido a que los puntajes obtenidos se encuentran en el rango de 71 a 140 puntos, es decir, no tienen un nivel adecuado, por lo que aplican en la mayoría de ocasiones, el mantenimiento correctivo. Con los resultados obtenidos del cuestionario MES realizado para conocer el tipo de mantenimiento y los procesos que se llevan a cabo en las MIPYMES de los diferentes cantones de la provincia de Imbabura, se diseñó una metodología aplicable a las MIPYMES manufactureras, donde se considera el diagnóstico, diseño, implementación y verificación del sistema, obteniendo una correcta gestión de los equipos que se encuentran en los procesos de producción de las diferentes empresas, producción adecuada y una mejora permanente.

Referencias

[1] S. Estrada, "¿Cómo se gestiona la tecnología en las pymes? Diferencias y similitudes entre micro, pequeñas y medianas empresas," *Contaduría y Administración*, vol. 64, p. 3, 2019.

[2] R. Rodríguez and V. Aviles, "Las PYMES en Ecuador: Un análisis necesario," *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 5, p. 197, 2020.

[3] O. Campos, G. Tolentino, M. Toledo, and R. Tolentino, "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos," *Científica*, vol. 23, p. 52, 2019.

[4] N. Canahua, "Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica," *Industrial Data*, vol. 24, pp. 49–76, 2021.

[5] A. Ortiz, C. Rodríguez, and H. Izquierdo, "Gestión de mantenimiento en pymes industriales," *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 18, p. 90, 2013.

[6] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera, and A. Crespo, "Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, p. 128, 2013.

[7] INEN, *NTE INEN EN 15341:2010. Norma Técnica Ecuatoriana*, 2008.

[8] C. A. Molina, *Mantenimiento Industrial y su Administración.* Universidad Tecnológica de Pereira, 2019.

[9] J. Arias, *Técnicas e instrumentos de investigación científica.* Arequipa: Enfoques Consulting Eirl, 2020.

[10] W. Cochran, *Sampling Techniques*, 1977.

[11] UNE, "Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Norma Española UNE-EN 13306," 2018, https://es.scribd.com/document/601828110/UNE-13306-2018-Terminologia-Del-Mantenimiento.

[12] C. Parra, A. Marquez, and V. Gonzalez, "Audit Proposal for Maintenance, Reliability and Warranty Management Process," 2017, researchGate, pp. 7.

[13] N. Canahua, "Implementación de la metodología TPM-Leanmanufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica," *Industrial Data*, vol. 24, p. 50, 2021.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Aplicación de técnicas multivariadas en indicadores de productividad procedentes de la simulación de procesos de producción de una empresa láctea

Application of multivariate techniques to productivity indicators derived from the simulation of production processes in a dairy company

Cristian Flores Cadena [a] and Mairett Rodríguez Balza [1,2]
[1] Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Posgrado, Av. Universitaria y Av. Antisana, Tulcán, 040101
[2] Interoc S.A. Guayas, Ecuador

Recibido: 26/04/2024, Aceptado: 25/07/2025
Autor de correspondencia: Cristina Flores: cristiana.flores@upec.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1248

PALABRAS CLAVE

Multivariate Techniques, MANOVA, PERMANOVA, Simulación, Indicadores de productividad,

RESUMEN

En la industria alimentaria, los procesos de producción presentan problemas con el tiempo de procesamiento y la baja productividad, lo que limita la capacidad operativa y competitiva de las empresas del sector. A pesar de contar con tecnologías de manufactura establecidas, no se dispone de modelos estadísticos integrales que permitan analizar y simular estos procesos de manera precisa para identificar oportunidades de mejora. En este contexto, surge la necesidad de modelar y analizar estadísticamente los procesos de producción del yogurt de frutas, mediante técnicas multivariadas y simulaciones, con el fin de optimizar tiempos y aumentar la eficiencia operativa. Para esto se identificaron las operaciones unitarias del proceso de producción de yogurt de frutas, desarrollando una base de datos estructurada con los tiempos de procesamiento de cada proceso. Se validó la integridad de la base de datos, imputando el 3.3 % de los datos faltantes mediante el método KNN, y se verificó la ausencia de valores atípicos mediante la Distancia de Mahalanobis. El análisis de los tiempos de ejecución determinó las distribuciones de probabilidad más adecuadas para cada proceso, con una validación mediante la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado, Se validó el proceso de simulación mediante una prueba de hipótesis T de Student, comparando el proceso real con el simulado, lo que garantizó su representatividad. Posteriormente, se simularon escenarios de mejora usando el software FlexSim y técnicas de Lean Manufacturing (TPM, 5S, Poka Yoke y eliminación de muda), evaluando el impacto en los tiempos de producción y la cantidad de productos terminados. Los resultados fueron analizados con el método PERMANOVA, dado que no se cumplían los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia para MANOVA. Los análisis revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los escenarios de simulación, destacando el escenario 5S como el más eficiente para reducir el tiempo de producción y aumentar el número de productos. El modelo explicó el 44 % de la variabilidad en los resultados, subrayando la efectividad de la metodología 5S en la optimización del proceso.

KEYWORDS

PERMANOVA,
MANOVA,
Simulation,
Productivity indicators,
Lean Manufacturing

ABSTRACT

In the food industry, production processes face issues related to processing time and low productivity, which limit the operational and competitive capacity of companies in the sector. Despite having established manufacturing technologies, there is a lack of comprehensive statistical models that allow for accurate analysis and simulation of these processes to identify opportunities for improvement. In this context, it becomes necessary to statistically model and analyze the fruit yogurt production process using multivariate techniques and simulations, in order to optimize processing times and increase operational efficiency. To achieve this, the unit operations involved in the fruit yogurt production process were identified, and a structured database was developed containing the processing times for each stage. The integrity of the database was validated by imputing 3.3 % of the missing data using the KNN method, and the absence of outliers was verified using the Mahalanobis Distance. The analysis of processing times identified the most appropriate probability distributions for each process, which were validated using the Chi-square goodness-of-fit test. The simulation model was validated through a Student's t-test by comparing the real and simulated processes, ensuring its representativeness. Subsequently, improvement scenarios were simulated using FlexSim software and Lean Manufacturing techniques (TPM, 5S, Poka Yoke, and waste elimination), evaluating their impact on production times and the number of finished products. The results were analyzed using the PERMANOVA method, as the assumptions of normality, homoscedasticity, and independence required for MANOVA were not met. The analyses revealed statistically significant differences among the simulated scenarios, with the 5S scenario standing out as the most efficient in reducing production time and increasing output. The model explained 44 % of the variability in the results, highlighting the effectiveness of the 5S methodology in optimizing the production process.

1. Introducción

En el ámbito de la industria alimentaria, particularmente en la elaboración de productos lácteos, persisten dificultades asociadas a los tiempos prolongados de procesamiento y a la baja eficiencia en la producción. Estas limitaciones afectan la capacidad de respuesta de las empresas frente a la demanda del mercado y reducen su competitividad [1]. Aunque se cuenta con tecnologías industriales estandarizadas, no se aplican de forma generalizada modelos estadísticos avanzados que permitan analizar el desempeño del proceso de manera integral y detectar oportunidades concretas de mejora continua.

En este contexto, optimizar los procesos productivos se convierte en una necesidad estratégica para garantizar la sostenibilidad y el crecimiento de las empresas del sector. Tradicionalmente, las decisiones en las líneas de producción se han basado en la experiencia empírica o en análisis parciales, sin un respaldo estadístico sólido que permita comprender integralmente el comportamiento de los procesos. Esta falta de modelos analíticos y predictivos limita la identificación de cuellos de botella, el control de variabilidad en los tiempos de procesamiento y la implementación efectiva de mejoras. Por tanto, existe una brecha importante en el uso de herramientas estadísticas avanzadas y de simulación para el análisis de los procesos productivos.

Esta investigación cobra relevancia porque aborda dicha brecha mediante el uso de técnicas estadísticas multivariadas, imputación de datos, detección de valores atípicos, análisis de distribuciones de probabilidad y validación de modelos a través de pruebas de hipótesis. Además, incorpora simulaciones con FlexSim y metodolo-gías de mejora continua como Lean Manufacturing, proporcionando una visión integral del sistema productivo.

La validación del modelo simulado frente a datos reales garantiza que los resulta-dos obtenidos no solo tengan un respaldo teórico, sino también una aplicación prác-tica, lo que permite a los responsables de producción tomar decisiones basadas en evidencia cuantitativa, reduciendo la incertidumbre y mejorando la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda o en las condiciones operativas [2]. Además, la investigación aporta valor metodológico al combinar herramientas estadísticas y de ingeniería industrial para evaluar escenarios de mejora, el cual no solo contribuye a la optimización del tiempo y la productividad, sino que también mejora la organi-zación, limpieza y seguridad en el entorno laboral, generando beneficios sostenibles para la cultura organizacional.

Por otro lado, los indicadores de productividad ayudan a medir el progreso y la eficiencia de los procesos, identificando cuellos de botella y áreas de mejora. Propor-cionan datos para optimizar recursos, reducir costos y minimizar impactos ambienta-les. Además, facilitan la comparación con otras empresas del sector, mejorando la competitividad [3]. Los indicadores de productividad deben estar alineados con los objetivos de la empresa, ser cuantificables, fáciles de interpretar y comparables con estándares previos. Su uso adecuado ayuda a mejorar el desempeño, la competitivi-dad y el crecimiento sostenible [4]. En el ámbito empresarial, la productividad no solo significa producir más con menos, sino hacerlo mejor, alcanzando alta eficiencia sin sacrificar calidad. Los indicadores de productividad permiten a las empresas monito-rear operaciones, fijar metas alcanzables y comparar su rendimiento con estándares internos o del mercado [4].

La simulación de procesos industriales permite modelar y optimizar sistemas complejos sin intervenir en el sistema real. Es clave en manufactura, logística, ener-gía y salud para mejorar eficiencia, reducir costos y mitigar riesgos. [5]. La simula-ción permite prever el impacto de cambios en variables clave, probar estrategias an-tes de su aplicación y optimizar el flujo de materiales, energía e información al iden-tificar cuellos de botella y puntos críticos [6]. Las simulaciones pueden ser discretas, para eventos específicos en logística y producción; continuas, para procesos con cambios constantes como reacciones químicas; o híbridas, combinando ambas para dinámicas mixta [5].

El desarrollo de software especializado, como Arena, FlexSim, AnyLogic y Simul8, ha hecho más accesible la simulación, permitiendo que empresas de diferentes ta-maños se beneficien de esta tecnología. Estas herramientas facilitan el modelado de procesos complejos, la realización de análisis detallados y la visualización de resulta-dos mediante gráficos e informes claros. Por tanto, la simulación no solo es un méto-do avanzado de análisis, sino también un recurso fundamental para la toma de deci-siones estratégicas en un entorno industrial competitivo y dinámico [6].

Por otro lado, tenemos el análisis multivariado de la varianza (MANOVA, por sus siglas en inglés) este método amplía el análisis de varianza (ANOVA), al permitir evaluar simultáneamente diferencias entre grupos en múltiples variables dependien-tes. A diferencia del ANOVA, que examina una sola variable dependiente, el MANOVA considera cómo varios resultados se ven afectados por uno o más facto-res independientes. Esta metodología resulta especialmente valiosa en disciplinas como psicología, biología, ciencias sociales y marketing, donde es necesario com-prender patrones complejos y relaciones entre variables [7].

El MANOVA se fundamenta en la premisa de que las variables dependientes están correlacionadas y, por ello, deben analizarse conjuntamente en lugar de hacerlo de forma individual. Esto mejora la potencia estadística y disminuye la probabilidad de errores tipo I (falsos positivos). Por ejemplo, al evaluar el impacto de un programa educativo, el MANOVA podría analizar simultáneamente el rendimiento de los estu-diantes en matemáticas, lectura y ciencias, considerando las interacciones entre estas áreas [8].

Entre sus principales ventajas destaca la capacidad de manejar múltiples varia-bles dependientes de manera eficiente, ofreciendo una perspectiva más completa sobre cómo los factores independientes influyen en los resultados. Además, permite identificar patrones subyacentes en los datos, lo que es crucial para la toma de deci-siones informadas. No obstante, el MANOVA presenta ciertos desafíos, como cum-plir con estrictos supuestos estadísticos, entre ellos la normalidad multivariada, la homogeneidad de las covarianzas y la independencia de las observaciones [7].

El MANOVA es una herramienta poderosa para abordar preguntas de investiga-ción complejas que involucran múltiples variables dependientes. Su capacidad para analizar estas variables de forma conjunta proporciona una visión más integral y detallada de los datos. Sin embargo, requiere un diseño cuidadoso y un análisis rigu-roso para garantizar resultados válidos y confiables. Es especialmente relevante en estudios donde las variables están interrelacionadas, y un análisis por separado no capturaría toda la complejidad del fenómeno estudiado [8].

Otra de las técnicas multivariantes es el PERMANOVA (Análisis de Varianza Mul-tivariado por Permutación) es un método estadístico no paramétrico que se utiliza para evaluar si existen diferencias significativas entre grupos de datos multivariantes. A diferencia del análisis de varianza multivariable (MANOVA), el PERMANOVA no requiere que los datos sigan una distribución normal ni que las varianzas sean homo-géneas. Este método se basa en permutar las observaciones dentro de los grupos y calcular la estadística F observada para comparar la variabilidad entre los grupos con la variabilidad dentro de los mismos, a través de una serie de permutaciones aleatorias. Esto permite determinar si las diferencias entre grupos son más grandes de lo que se esperaría por azar [9].

El uso de PERMANOVA es particularmente valioso en campos como la ecología, la biología y las ciencias sociales, donde los datos multivariantes son comunes y los supuestos de normalidad no siempre se cumplen. Se utiliza frecuentemente para analizar la composición de comunidades biológicas, diferencias en perfiles genéticos o incluso en estudios de percepción del consumidor. En esencia, este método propor-ciona una forma robusta de evaluar la significancia de las diferencias entre grupos en contextos complejos, donde otras pruebas podrían no ser apropiadas [9].

El objetivo de la presente investigación es modelar y analizar los procesos de pro-ducción de una industria alimentaria, enfocándose específicamente en una empresa dedicada a la elaboración de productos lácteos. A través de la simulación, se busca desarrollar escenarios de mejora que permitan identificar y proponer estrategias para optimizar

los indicadores de productividad, considerando aspectos clave como la eficiencia operativa, la reducción de desperdicios y el incremento en la capacidad de respuesta ante la demanda del mercado.

La ausencia de un enfoque analítico riguroso basado en datos impide optimizar los recursos, reducir desperdicios y mejorar la productividad. Asimismo, las iniciativas de mejora como Lean Manufacturing muchas veces se implementan sin una evalua-ción cuantitativa de su impacto. Por ello, se requiere un estudio que combine el análi-sis estadístico multivariado con herramientas de simulación y metodologías de ges-tión de calidad, con el propósito de diseñar y validar propuestas de optimización que respondan a la realidad operativa del proceso productivo

Para la creación de los escenarios de mejora, se emplearon herramientas funda-mentales de Lean Manufacturing, como el TPM (Mantenimiento productivo total), 5 S (clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina), Poka Yoke y Elimina-ción de Muda (Transporte y Movimiento), las cuales son esenciales para identificar actividades que no aportan valor y para fomentar la mejora continua en los proce-sos. Estas herramientas permitieron estructurar alternativas de optimización basadas en datos concretos y alineadas con los principios de eficiencia y sostenibilidad.

Además, se utilizó el análisis multivariado de la varianza (MANOVA) y el Análisis de Varianza Multivariado por Permutación (PERMANOVA) como métodos estadís-ticos para evaluar simultáneamente las diferencias entre grupos en Múltiples varia-bles dependientes, tales como tiempo de producción y número de productos elabora-dos. Este enfoque proporcionó una visión integral sobre cómo los factores indepen-dientes, como cambios en la distribución de recursos o ajustes en los flujos de traba-jo, impactan de manera significativa en los resultados globales del sistema.

Esta investigación combina técnicas avanzadas de simulación, principios de Lean Manufacturing y análisis esta-dístico robusto para ofrecer un enfoque comprensivo y fundamentado en la mejora de los procesos productivos. Este enfoque no solo con-tribuye a aumentar la competitividad de la empresa láctea considerada en este estu-dio, sino que también establece una base sólida para futuras investigaciones y apli-caciones en el ámbito industrial.

1.1. Investigaciones relacionadas

El estudio de Vargas (2020) optimizó el proceso de fabricación en una empresa de ladrillos en Santa Marta mediante simulación. Se evaluaron las mejoras con las va-riables Çosto por lotez "Tiempo en el sistema", analizadas con MA-NOVA. Los resultados indicaron que un modelo tenía mejor desempeño, por lo que se recomen-dó su implementación. [10].

Duffoo (2024) analizó los indicadores logísticos de la demanda en la industria farmacéutica mediante análisis esta-dístico multivariado. El estudio correlacional y explicativo evaluó KPI como disponibilidad del producto, precisión del pronóstico y tiempo de entrega. Usando datos de Kaggle, se encontró que las pruebas multivaria-das son efectivas para evaluar la demanda, mostrando que su aumento impacta significativamente los KPI y que estos están correlacionados, destacando su impor-tancia en la gestión logística. [11].

Villanueva (2022) aplicó Lean Manufacturing para reducir el trabajo en proceso por escasez de materiales, usando simulación de eventos discretos y herramientas de Industria 4.0 en FlexSim. Se desarrolló un modelo para evaluar la reducción del in-ventario en proceso mediante una estrategia de suministro justo a tiempo. Los resul-tados confirmaron la eficacia de FlexSim, aunque no se especificó el tipo de empresa mexicana analizada [12].

En el estudio realizado por Chud, Bedoya y Paredes (2020), aplicó Lean Manu-facturing con Value Stream Mapping (VSM) en una cadena de producción del sector del cuero. Se identificaron problemas como subutilización de espacios y tiempos perdidos. A través de la simulación del VSM, se lograron mejoras en productividad y eficiencia, reduciendo el tiempo de ciclo y el lead time. Aunque el estudio se centró en una curtiembre, propone explorar Lean Manufacturing en la producción de lácteos. [13].

Natividad (2019) combinó Lean Manufacturing y simulación estocástica para op-timizar el tiempo en la producción de nuggets en una empresa avícola. Usando Crys-tal Ball y el método de Montecarlo, se identificaron mejoras en el Value Stream Mapping (VSM), reduciendo el tiempo de proceso y aumentando la productividad en 2,29 %. La implementación de Kanban permitió disminuir tiempos con alta confian-za estadística. [14]. La presente investigación propone emplear el software FlexSim para analizar la aplicación de estas técnicas en una empresa dedicada a la produc-ción de lácteos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Recolección de datos en la empresa láctea

La presente investigación se basó en datos recopilados de una empresa alimentaria especializada en la producción de productos lácteos, como yogur de frutas, queso mozzarella, queso fresco, manjar de leche y leche condensada. Dado que el yogur de frutas es el producto de mayor demanda, se seleccionó su línea de producción para el análisis. En este

proceso, se identificaron las etapas involucradas en su elaboración y se registraron los tiempos correspondientes a cada una. Asimismo, se recopilaron datos de 30 lotes de producción.

2.2. Tratamientos de datos faltantes y atípicos

Al utilizar una base de datos como fundamento para investigaciones u otros estudios, es común encontrar la presencia de datos faltantes y atípicos. Estos elementos, si no se tratan adecuadamente, pueden afectar la calidad del análisis y la validez de los resultados. Por esta razón, se realizó un tratamiento exhaustivo de los datos faltantes y atípicos en la base de datos obtenidos. El procesamiento y tratamiento de los datos se llevó a cabo utilizando el software R Studio [15].

Para el tratamiento de datos faltantes, se empleó la técnica de imputación KNN (K-Nearest Neighbors), que permite estimar los valores ausentes basándose en la simi-litud entre los registros vecinos más cercanos, preservando así la estructura y las rela-ciones multivariantes de los datos [15]. Por otro lado, para la identificación y trata-miento de datos atípicos, se utilizó la distancia de Mahalanobis, un método estadísti-co que mide la distancia entre un punto y la media del conjunto de datos en un espa-cio multivariado, permitiendo detectar observaciones que se desvían significativa-mente del patrón general. Estas técnicas aseguran que la base de datos final sea con-fiable y adecuada para los análisis posteriores, minimizando el impacto de posibles sesgos derivados de datos incompletos o anomalías [16].

2.3. Ajuste de la distribución de probabilidad para los tiempos en cada operación unitaria o proceso

Con el objetivo de replicar el comportamiento del proceso real, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los tiempos de ejecución en la línea de producción. Este análi-sis permitió identificar la distribución de probabilidad que mejor describen los datos recopilados, utilizando el software R Studio. como herramienta principal.

Para garantizar la validez del ajuste, se aplicó una prueba de bondad de ajuste ba-sada en el método Chi-cuadrado. Este enfoque estadístico evalúa si los datos obser-vados se desvían significativamente de los valores esperados según la distribución seleccionada. La elección de este método se debe a su capacidad para validar ajustes de distribuciones en muestras de datos, asegurando que el modelo estadístico sea representativo del sistema real.

Este procedimiento no solo asegura la fidelidad del modelo de simulación, sino que también proporciona una base sólida para el análisis y optimización de los pro-cesos productivos

2.4. Construcción y Validación del proceso de simulación

Para la construcción del modelo de simulación, se realizó un análisis detallado del funcionamiento del sistema real, con el objetivo de replicar fielmente los procesos involucrados en la elaboración de yogurt. Este análisis incluyó la identificación de los componentes clave del sistema, como maquinaria, equipos y personal, así como sus interacciones dentro de la línea de producción.

Se utilizaron elementos de la librería del software FlexSim 19.1.1 para modelar el funcionamiento de componentes esenciales, tales como el tanque de recepción, el filtro, el pasteurizador, los tanques de fermentación, el envasador de yogurt, las gave-tas, los envases, los recipientes y la cámara de refrigeración. Cada uno de estos ele-mentos fue configurado para representar con precisión su comportamiento real, per-mitiendo al modelo simular de manera integral el flujo de producción.

Además, se programaron las funciones específicas de los equipos en FlexSim, in-tegrando los ajustes de las distribuciones de probabilidad previamente calculadas para los tiempos asociados a cada operación. Estas distribuciones, obtenidas me-diante análisis estadístico, proporcionan una base sólida para reproducir la variabili-dad propia del sistema real. Como resultado, el modelo de simulación refleja un comportamiento que emula fielmente las condiciones actuales del sistema de pro-ducción, ofreciendo una herramienta robusta para el análisis y la optimización del proceso.

2.5. Creación de escenarios de mejoras con la herramienta Lean Manufacturing

Con el propósito de optimizar los indicadores de productividad, se diseñaron y anali-zaron diversos escenarios de mejora a partir del modelo base. Estos escenarios incor-poran principios y herramientas de la filosofía Lean Manufac-turing, como Kaizen, las 5S, las 7 Mudas, Six Sigma, TOC (Teoría de las Restricciones), TQM (Gestión de la Calidad Total), TPM (Mantenimiento Productivo Total), SMED (Cambio Rápido de Herramientas),

La integración de estas estrategias permitió identificar y eliminar desperdicios, reducir la variabilidad en los procesos y

optimizar la utilización de recursos humanos, materiales y técnicos en la línea de producción. Cada escenario de mejora fue simulado utilizando el modelo previamente desarrollado, registrando los nuevos indicadores de productividad obtenidos. Estos resultados evidencian el impacto positivo de la implementación de Lean Manufacturing, proporcionando datos concretos para la toma de decisiones y demostrando su eficacia en la búsqueda.

2.6. Supuestos de MANOVA

El MANOVA (Análisis Multivariante de la Varianza) se basa en tres supuestos fundamentales que deben cumplirse para garantizar la validez de los resultados estadísticos:

- **Distribución normal multivariada de las variables dependientes en cada grupo:** El análisis de normalidad múltiple se realizó mediante el Test de Mardia, Test de Henze-Zirkler, Test de Royston, Test de Doornik-Hansen y Test de Energy.
- **Homogeneidad de la matriz de varianza-covarianza:** La Homogeneidad de la matriz de varianza y covarianza se analizó me-diante el Test de Box (M-Box).
- **Independencia de las observaciones:** Este supuesto implica que las observaciones individuales no deben influirse entre sí, asegurando que cada medida sea autónoma dentro de los datos analizados.

2.7. Utilización de la técnica multivariante Manova

Además, se utilizó el análisis multivariado de la varianza (MANOVA) como método estadístico para evaluar simultáneamente las diferencias entre grupos en Múltiples variables dependientes, tales como tiempo de producción y número de productos elaborados. Este enfoque proporcionó una visión integral sobre cómo la variable independiente, tal como escenarios de mejora de la línea de producción, con 5 niveles, tales como TPM, 5 S, Poka Yoke 1, Poka Yoke 2 y Eliminación de muda (transporte y movimiento), impactan de manera significativa en los resultados globales del sistema.

3. Resultados y Discusión

3.1. Recolección de datos en la empresa láctea

Se seleccionó la línea de elaboración de yogurt de frutas por ser el producto de mayor demanda en la empresa. En la figura se puede observar la cantidad de leche destinada a este producto en comparación con los demás que se elaboran.

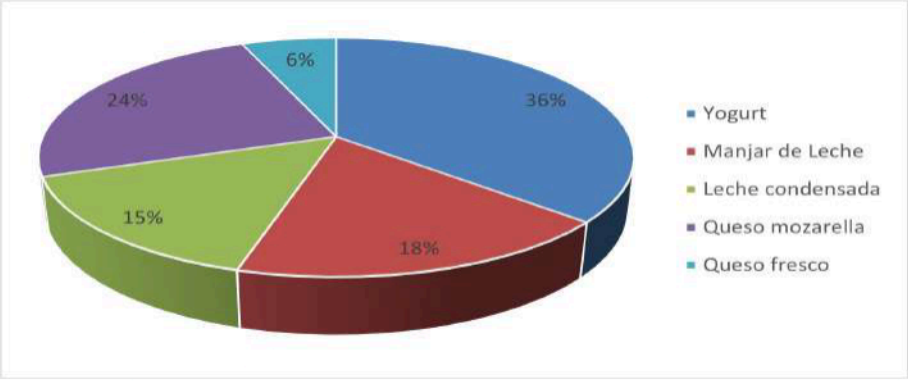


Figura 1: Distribución de la leche utilizada en los diferentes productos elaborados por la empresa

Se identificaron las operaciones unitarias involucradas en el proceso de producción del yogurt de frutas, las cuales incluyen: recepción de la materia prima, enfriamiento, filtración, pasteurizado, enfriamiento, inoculación, agitación, incubación, enfriamiento, agitado, dosificación, envasado y almacenamiento. El diagrama de flujo correspondiente a este proceso se muestra en la Figura 2.

A continuación, se recopiló y organizó una base de datos detallada que incluye los tiempos de procesamiento correspondientes a cada una de las operaciones unitarias identificadas en el proceso de elaboración. Esta información

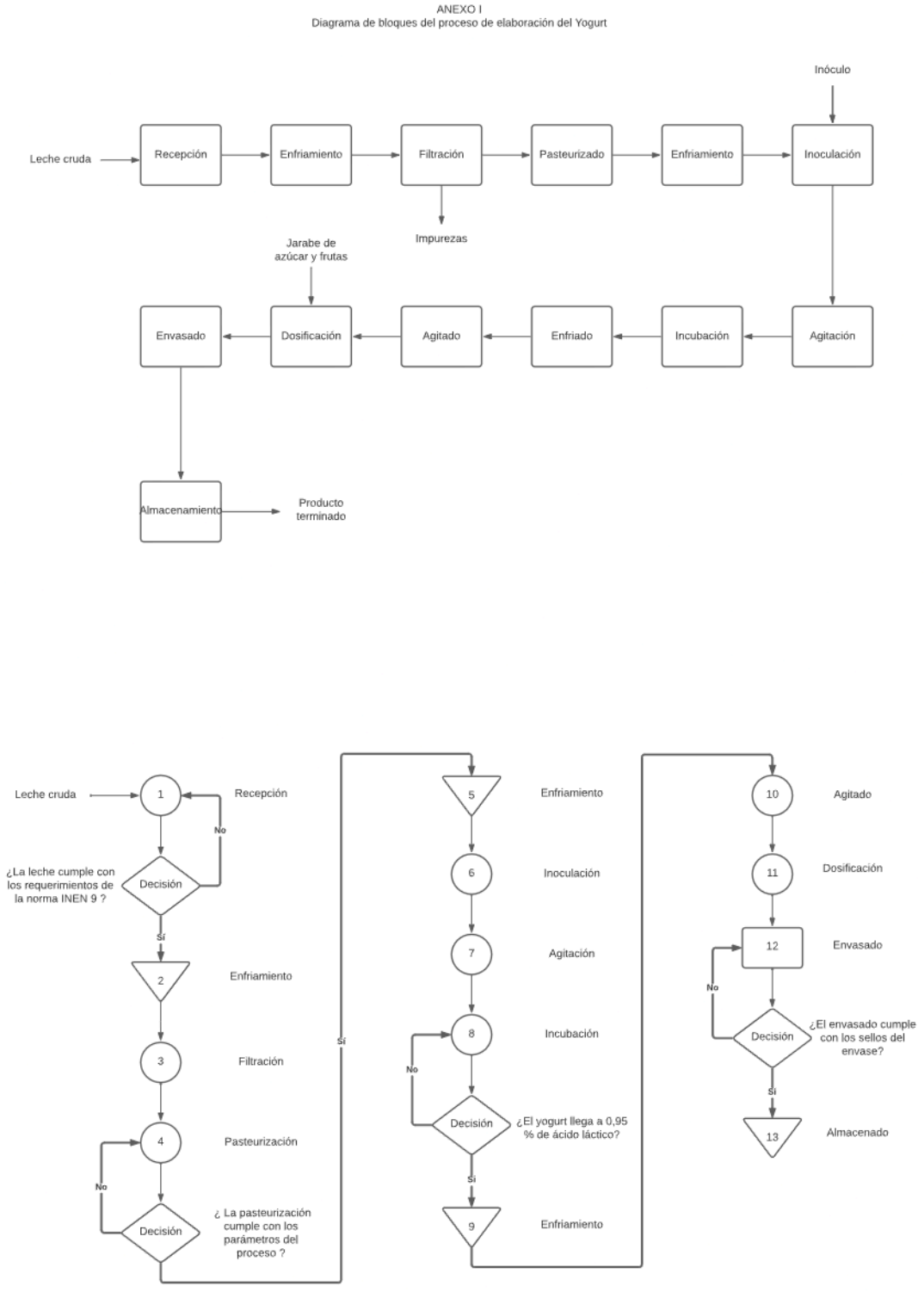


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de elaboración del yogurt

fue registrada de manera sistemática para garantizar su precisión y facilitar el análisis posterior, permitiendo evaluar el desempeño y la eficiencia de cada etapa del proceso.

3.2. Tratamientos de datos faltantes y atípicos

La base de datos utilizada en este estudio constó de 30 observaciones y 13 variables correspondientes a los procesos u operaciones unitarias de la línea de producción. En primera instancia, se identificó la cantidad de datos faltantes, que representaron un 3.3 % del total. Este porcentaje, al ser inferior al 5 %, cumple con el criterio aceptado para proceder con la imputación de datos faltantes sin comprometer la integridad estadística del análisis [17].

Para llevar a cabo dicha imputación, se empleó la técnica KNN (K-Nearest Neighbors), [18] que permite estimar valores faltantes basándose en la similitud con registros cercanos en el espacio multivariado. En total, se imputaron 13 valores ausentes, asegurando la consistencia de la base de datos para los análisis posteriores.

Posteriormente, se realizó un tratamiento exhaustivo de los datos con el objetivo de identificar posibles valores atípicos mediante el cálculo de las Distancias de Mahalanobis. Este procedimiento comenzó estableciendo un puntaje de corte basado en la distribución X^2(chi-cuadrado) con un nivel de confianza del 99.9 %. Este umbral permitió delimitar el 0.1 % de las observaciones más extremas, que podrían considerarse como atípicas en función de su distancia respecto al centroide multivariado de la muestra [19].

Al aplicar este criterio, se evaluaron todas las observaciones del conjunto de datos. El punto de corte resultante, basado en la distribución X^2 (chi-cuadrado), fue 32.91. Según Lorenzo (2019) los resultados indicaron que ninguna observación superó el valor crítico de dicha distribución. Por lo tanto, no se identificaron valores atípicos y la muestra original, compuesta por 30 observaciones, se mantuvo intacta sin necesidad de excluir ningún dato [20].

Este análisis confirma la homogeneidad de los datos y garantiza que el conjunto de observaciones es adecuado para los análisis estadísticos posteriores sin la influencia de valores atípicos significativos.

3.3. Ajuste de distribución de probabilidad para los tiempos de cada operación unitaria en la elaboración del yogurt

Con el objetivo de simular el proceso real, se analizaron los tiempos de ejecución en la línea de producción y se identificó la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos, empleando R Studio [21]. El ajuste se evaluó mediante una prueba de bondad de ajuste utilizando el método Chi-cuadrado [22]. Los resultados se presentan en la Tabla 1, donde se detallan el proceso, la distribución de probabilidad más adecuada y el valor p, empleado para evaluar la hipótesis nula.

Tabla 1: Distribuciones de probabilidad y p-values por proceso

Proceso	**Distribución de probabilidad**	**p-value**
Recepción	Uniforme	0,11
Enfriamiento	Log normal	0,47
Filtración	Uniforme	0,25
Pasteurización	Uniforme	0,27
Enfriamiento	Logística	0,78
Inoculación	Log normal	0,24
Agitación	Uniforme	0,22
Incubación	Log normal	0,52
Enfriado	Log logística	0,43
Agitado	Uniforme	0,15
Dosificación	Normal	0,81
Envasado	Logística	0,49
Almacenado	Log logística	0,75

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 1 , la prueba de bondad de ajuste arrojó un valor de p-value superior a 0,05 para cada uno de los procesos analizados. Esto indica que no se puede rechazar la hipótesis nula, lo que sugiere que los datos observados se ajustan adecuadamente a las distribuciones de probabilidad propuestas por el programa R Studio. Este resultado garantiza, con un nivel de confianza del 95 %, que las distribuciones seleccionadas son representativas del comportamiento real de los procesos [22].

3.4. Construcción y Validación del proceso de simulación

Se construyó un modelo de simulación de la línea de producción utilizando la información de la Tabla 1, que muestra la distribución de probabilidad ajustada a cada proceso u operación unitaria involucrada en la elaboración del yogurt.

Para validar el modelo simulado, se realizaron 30 simulaciones, siguiendo el Teorema del Límite Central, y se llevó a cabo una prueba de hipótesis para dos muestras independientes mediante la t de Student, comparando los resultados con los del proceso real [23].

En la Tabla 2, se presentan los resultados de la simulación en términos del tiempo de producción y el número de productos obtenidos, junto con los valores correspondientes del proceso real

Tabla 2: Validación del proceso de simulación vs proceso real

No.	Tiempo de producción (min)		Producto Terminado (u)	
	Modelo real	Modelo simulado	Modelo real	Modelo simulado
1	1225	1157	608	603
2	1119	1216	592	594
3	1137	1173	592	595
4	1188	1181	606	598
5	1307	1160	597	604
6	1156	1187	591	609
7	1184	1173	594	599
8	1250	1246	598	608
9	1144	1244	593	603
10	1211	1197	593	593
11	1201	1175	592	607
12	1079	1222	602	597
13	1209	1111	595	609
14	1124	1126	597	609
15	1279	1173	600	591
16	1217	1121	606	605
17	1220	1175	596	590
18	1226	1252	603	592
19	1154	1200	610	602
20	1231	1164	609	598
21	1196	1190	605	593
22	1229	1240	606	610
23	1172	1160	596	594
24	1286	1178	610	601
25	1263	1242	610	606
26	1184	1226	595	593
27	1179	1160	591	605
28	1260	1135	599	601
29	1276	1143	592	598
30	1246	1135	598	592

Luego de realizar la prueba de hipótesis mediante la T de student, se determinó que, no existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula ($p > 0,05$). Por lo tanto, la media del tiempo de ciclo del proceso simulado es igual a la media del proceso real con una confianza del 95 %. Además, se determinó que no existe evidencia

estadísticamente significativa en el número de productos terminados entre el proceso real y el proceso simulado (p > 0, 05).

3.5. Creación de escenarios de mejoras con la técnica Lean Manufacturing

Utilizando el software FlexSim, se desarrollaron escenarios de mejora aplicando téc-nicas de Lean Manufacturing, tales como TPM (Mantenimiento Productivo Total), 5S (clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina), Poka Yoke y elimi-nación de muda (transporte y movimiento).
En cada escenario de mejora, se registraron los tiempos de producción y el número de productos elaborados, que corresponden a las variables dependientes o de res-puesta. Para cada escenario, se realizaron 30 simulaciones, siguiendo el Teorema del Límite Central. Los valores obtenidos de las simulaciones fueron sometidos a un análisis para verificar si cumplen con los supuestos requeridos para poder utilizar el análisis multivariado MANOVA.

3.6. Supuestos de MANOVA

Eliminación de datos atípicos

Se realizó un análisis de valores atípicos utilizando la Distancia de Mahalanobis, estableciendo un umbral basado en la distribución X^2 con un nivel de confianza del 99.9 %. Este criterio permitió identificar posibles observaciones extremas. Los resultados indicaron que ninguna observación superó el valor crítico (10,82), por lo que no se detectaron valores atípicos. La muestra original de 180 observaciones se mantuvo intacta. Este análisis confirma la homogeneidad de los datos y su idoneidad para los análisis estadísticos posteriores, sin la influencia de valores atípicos significativos.

Distribución normal multivariada de las variables dependientes

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis de normalidad múltiple según Menoyo (2021). Para evaluar la normalidad múltiple, se pueden emplear diversas pruebas estadísticas, como el Test de Mardia, Test de Henze-Zirkler, Test de Royston, Test de Doornik-Hansen y Test de Energy [24]. A continuación, se muestran los resultados del análisis aplicado a las variables dependientes: tiempo de producción y número de productos.

Tabla 3: Normalidad multivariada de las variables dependientes (Tiempo de producción y número de productos)

Variable dependiente	Test de Mardia	Test de Henze-Zirkler	Test de Royston	Test de Doornik-Hansen	Test de Energy
Tiempo de producción	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Número de productos	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Según los resultados de la Tabla 3, las variables dependientes, no se ajustan a una distribución normal multivariada, con un nivel de significancia del 0,05, por lo tanto, no se cumple el supuesto de Normalidad [24].

Homogeneidad de la matriz de varianza-covarianza:

La homogeneidad de la matriz de varianza y covarianza de los datos se evaluó mediante la prueba de Box (M-Box). El resultado arrojó un valor de p <0.001, lo que indica que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, los datos no presentan homogeneidad en la matriz de varianza y covarianza, lo que significa que no se cumple el supuesto de homogeneidad [24].

Independencia de las observaciones:

La independencia de las observaciones se evaluó mediante la prueba de Durbin-Watson, aunque esta prueba es más comúnmente usada en regresiones, o evaluar los residuos del modelo. El resultado arrojó un valor de p <0.001, lo que indica que exis-te evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, los datos no presentan una independencia de las observaciones, lo que signifi-ca que no se cumple el supuesto de independencia [24].

Según Rodríguez (2021) si los datos no siguen una distribución normal multivaria-da, no son homocedasticidad ni independientes, es posible aplicar ciertas transfor-maciones para intentar cumplir con estos supuestos. En este caso, se llevaron a cabo las siguientes transformaciones: logarítmica, raíz cuadrada, Box-Cox y la función inversa [25]. Después

de cada transformación, se evaluó la normalidad, homocedas-ticidad e independencia de los datos; sin embargo, ninguna de ellas logró cumplir con los supuestos.

Según Somerfield (2021) una alternativa para analizar los datos cuando no se cumplen los supuestos mencionados es utilizar métodos no paramétricos, como el PERMANOVA, el cual se basa en permutaciones y no requiere el cumplimiento estricto de los supuestos de normalidad y homogeneidad [9].

3.7. Utilización de la técnica multivariante

Se utilizó el método multivariable no paramétrico PERMANOVA, basado en permu-taciones, el cual no requiere la asunción de normalidad ni homogeneidad. El análisis paramétrico se realizó mediante la prueba de Bray-Curtis, utilizando 999 permuta-ciones [26].

Los resultados dieron un valor de p <0.001, indicando evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa en las variables dependientes, tiempo de producción y número de productos, entre los diferentes escenarios de simulación utilizando Lean Manufacturing.

Dado que se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los tra-tamientos evaluados (escenarios de simulación utilizando Lean Manufacturing), se aplicó el método de comparación de rangos múltiples multivariante conocido como prueba post hoc de comparaciones pareadas de PERMANOVA o PERMANOVA Pairwise. Los resultados obtenidos mediante este método se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4: Resultados de la prueba de post hoc de comparaciones pareadas de PERMANOVA

N°	Comparaciones	Suma de cuadrados	F.Model	R^2	p.value	p.adjusted	sig
1	Real vs TPM	9,39E+02	37.739.26	0.0610925	0.054	0.81	
2	Real vs Poka_Yoke	6,01E+03	201.994.2	0.2583065	0.001	0.01	*
3	Real vs Poka_Yoke_1	5,38E+03	272.754.2	0.3198509	0.001	0.01	*
4	Real vs 5 S	7,38E+03	454.346.4	0.4329594	0.001	0.01	*
5	Real vs Eliminación	5,49E+03	300.666.6	0.3626804	0.001	0.01	*
6	TPM vs Poka_Yoke	2,27E+03	81.392.84	0.1230627	0.004	0.06	
7	TPM vs Poka_Yoke_1	1,85E+03	133.733.0	0.1517156	0.001	0.01	*
8	TPM vs 5 S	1,91E+03	215.809.0	0.2711800	0.001	0.01	*
9	TPM vs Eliminación	1,90E+03	183.597.8	0.2046549	0.001	0.01	*
10	Poka_Yoke vs Poka_Yoke_1	7,33E+01	0.323.500	0.0557447	0.967	1.000	
11	Poka_Yoke vs 5 S	1,87E+02	0.972191	0.0944536	0.366	0.651	
12	Poka_Yoke vs Eliminación	1,62E+02	0.822539	0.0914660	0.387	0.651	
13	Poka_Yoke_1 vs 5 S	1,87E+02	2.443.485	0.1114173	0.051	0.622	
14	Poka_Yoke_1 vs Eliminación	3,66E+01	0.383068	0.0260232	0.814	1.000	
15	5 S vs Eliminación	1,48E+02	2.495.007	0.1178000	0.118	0.9	

Según los resultados de la prueba post hoc presentados en la Tabla 4, se identifica-ron siete comparaciones con un valor de p.adjust < 0.05, lo que indica que dichas comparaciones son estadísticamente significativas. Entre estas siete comparaciones, el escenario que presentó los mejores resultados en cuanto a las variables tiempo de producción y número de productos elaborados fue el escenario de 5S, con un $R^2 = 0.44$. Este valor indica que el 44 % de la variabilidad en la variable dependiente es explicada por el modelo o por las variables independientes incluidas en el análisis, mientras que el 56 % restante se debe a otros factores no considerados en el modelo o al error aleatorio.

4. Conclusiones

Se logró identificar y documentar detalladamente las operaciones unitarias del proce-so de producción de yogurt de frutas, estableciendo una base de datos estructurada con los tiempos de procesamiento de cada etapa. Esta organización sistemática de la información garantiza precisión y facilita su análisis, permitiendo evaluar la eficien-cia y desempeño del proceso productivo.

El análisis de la base de datos confirmó su integridad y homogeneidad. Se imputó un 3.3 % de datos faltantes con el método KNN, preservando la validez estadística. Además, el análisis de valores atípicos mediante la Distancia de

Mahalanobis y x^2no identificó observaciones extremas, manteniendo intacta la muestra de 30 observa-ciones, lo que garantiza su robustez y representatividad.

El análisis de los tiempos de ejecución permitió identificar la distribución de pro-babilidad más adecuada para cada proceso en la línea de producción. La prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado confirmó que los datos observados se ajustan co-rrectamente a las distribuciones propuestas, con un nivel de confianza del 95 %. Estos resultados aseguran la validez y representatividad de las distribuciones seleccionadas para la simulación del proceso real.

Mediante FlexSim, se simularon escenarios de mejora aplicando técnicas de Lean Manufacturing para optimizar el proceso productivo. Se evaluaron los efectos de TPM, 5S, Poka Yoke y eliminación de muda en los tiempos de producción y la canti-dad de productos elaborados. Para garantizar la validez de los resultados, se realiza-ron 30 simulaciones por escenario, siguiendo el Teorema del Límite Central, lo que permite una representación confiable del comportamiento del sistema.

El análisis de los datos obtenidos en las simulaciones reveló que no se cumplían los supuestos requeridos para aplicar MANOVA. Como alternativa, se optó por el método PERMANOVA, una técnica no paramétrica basada en permutaciones, que permite analizar los datos sin la necesidad de cumplir estrictamente los supuestos de normalidad y homogeneidad, garantizando así la validez del análisis.

El análisis mediante PERMANOVA, basado en permutaciones y utilizando la distancia Bray-Curtis, permitió evaluar diferencias entre los escenarios de simulación sin requerir supuestos de normalidad ni homogeneidad. Los resultados ($p < 0.001$) indicaron una diferencia estadísticamen-te significativa en las variables dependientes (tiempo de producción y número de productos) al aplicar técnicas de Lean Manufacturing.

La prueba post hoc identificó siete comparaciones estadísticamente significativas (p.adjust < 0.05), destacando el escenario 5S como el más eficiente en la reducción del tiempo de producción y el aumento del número de productos elaborados. Con un $R^2 = 0.44$, el modelo explica el 44 % de la variabilidad en la variable dependiente, mientras que el 56 % restante se atribuye a factores no considerados o al error aleato-rio. Estos resultados resaltan la efectividad de la metodología 5S dentro de las estra-tegias de Lean Manufacturing.

Referencias

[1] R. Ramirez, "Herramientas y técnicas de mejora de la calidad en la industria de alimentos latinoamericana y su aporte a la competitividad organizacional," Artículo de grado, Fundación Universidad de América, p. 8, 2022.

[2] E. Acosta, F. Chiodi, M. Fernandez, and A. F. J. Tcach, "Etapas de validación y verificación en la construcción de modelos para la simulación de procesos industriales," pp. 1–8, 2016.

[3] H. Patiño, "Evaluación de la productividad organizacional," Gestión de indicadores e índices, 2024.

[4] I. M. L. V. and J. M. A. Pacheco, "Impacto de los indicadores de productividad en la gestión," *Universidad del Zulia*, vol. 39, no. 101, pp. 567–581, 2022.

[5] R. M. F. M. V. J. P. N. O. and G. S. E. C. M. R., "Modelación y simulación de procesos en la intensificación de instalaciones en la industria química," *Revista de Ciencia Tecnología e Innovación Innova*, vol. 2, no. 2, pp. 22–36, 2020.

[6] J. Bautista, "Evolución de los softwares de simulación para el diseño y construcción en la industria," *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, vol. 5, no. 8, pp. 1332–1343, 2020.

[7] G. M. A. and E. A. H. Morales, *Análisis multivariante de datos.* México: Comercial Grupo ANAYA, SA, 2021.

[8] J. B. Vertti, *Análisis multivariado.* México: Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2019.

[9] K. R. C. R. N. G. P. J. Somerfield, "Análisis de similitudes (anosim) para diseños de dos vías utilizando una estadística anosim generalizada, con notas comparativas sobre el análisis de varianza multivariado permutacional (permanova)," *Austral Ecology*, vol. 46, no. 6, pp. 887–1007, 2021.

[10] J. M. N. P. N. O. J. Vargas, "Aplicación de la técnica multivariada manova a dos variables de control provenientes de tres modelos de simulación estocásticos de un proceso productivo," *Entre Ciencia y Tecnología*, vol. 14, no. 28, pp. 66–75, 2020.

[11] J. A. R. M. G. D. Valverde, *Indicadores logísticos en un modelo simulado de la industria farmacéutica.* Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2024.

[12] Z. J. J. H. M. H. S. and F. Villanueva, "Diseño de un sistema de surtimiento de materiales bajo principios esbeltos y de manufactura 4.0 usando simulación de eventos discretos," *Pistas Educativas*, vol. 42, no. 138, pp. 1–17, 2022.

[13] C. V. B. I. and P. A., "Simulación de mejoras en el sistema productivo de una curtiembre basada en el mapeo de su cadena de valor," *Scientia Et Technica*, vol. 25, no. 3, pp. 394–415, 2020.

[14] R. O. S. G. J. G. C. J. J. C. P. S. J. F. A. and A. Natividad, "Manufactura esbelta con simulación dinámica estocástica para el incremento de la productividad, línea de nuggets empresa avícola," *Revista de Investigación Científica*, vol. 5, no. 2, pp. 139–153, 2019.

[15] L. Freire, "Tratamiento de falta de información en técnicas de minería de datos," Granada, 2023.

[16] L. G. D. Monroy, *Estadística multivariada: Inferencia y métodos.* Bogotá: Proceditor Ltda, 2017.

[17] G. A. R. Duque, "Revisión y perspectivas para la construcción de bases de datos robustas y con datos faltantes: caso aplicado a la información financiera," *Tecnura*, vol. 27, no. 75, pp. 14–37, 2023.

[18] L. Y. D. Turco, "Mejora de la predicción en tareas de aprendizaje automático supervisado: imputación de valores perdidos," Andalucía, España, 2021.

[19] J. Lorenzo, "Distancias de mahalanobis," Argentina, 2019.

[20] ——, "Distancia de mahalanobis," 2019.

[21] M. A. D. Martínez, R. Z. Cruz, and R. V. R. Salinas, "Simulación con flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba," *Científica*, vol. 22, no. 2, pp. 97–104, 2018.

[22] A. C. B. Cepeda, "Bondad de ajuste para datos redondeados," México, 2021.

[23] K. D. O. S. and J. C. C. Vélez, *Bioestadística aplicada a investigaciones científicas en la salud.* Quito: Ediciones Mawil, 2022.

[24] M. R. David, G. C. Antonio, and G. L. Eva, *Fundamento de la ciencia de datos.* España: Universidad de Alcalá, 2021.

[25] A. R. M. Rodríguez, "Métodos alternativos ante la violación de supuestos en diseños de experimentos factoriales," *Anales Científicos, Universidad Nacional Agraria La Molina*, vol. 82, no. 2, pp. 318–335, 2021.

[26] P. L. L. B. J. C. C. and B. C. Grollemund, "Las pruebas permanova y el modelado log-normal de poisson revelan cómo se distinguen dos quesos tradicionales mediante tareas de clasificación y verbalización," *Food Quality and Preference*, vol. 104, 2023.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Revisión del diseño curricular aplicado a la mecatrónica en relación con el campo laboral

Review of the curriculum design applied to mechatronics in relation to the labor field

Héctor Barros Castro

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Carrera de Pedagogía Técnica de la Mecatrónica, Quito, Ecuador

Recibido: 12/12/2024, Aceptado: 14/01/2025
Autor de correspondencia: Héctor Barros: habarros@uce.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1190

PALABRAS CLAVE

Diseño curricular,
Mecatrónica,
Campo laboral,
Competencias profesionales

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión del diseño curricular en mecatrónica, alineado con las necesidades del sector educativo y el ámbito industrial. Se examinan componentes clave como la integración de conocimientos pedagógicos y el desarrollo de competencias técnicas en áreas fundamentales como la robótica educativa, mecánica, programación, diseño, electricidad y electrónica, lo que facilita la enseñanza de estas disciplinas en instituciones educativas. La investigación resalta la importancia de formar profesionales capaces de educar a futuras generaciones en áreas técnicas, así como de desempeñarse eficazmente en sectores industriales, fortaleciendo el vínculo entre la universidad y las demandas sociales y tecnológicas contemporáneas. El estudio enfatiza la necesidad de actualizar continuamente los contenidos curriculares, integrando aspectos pedagógicos esenciales como la planificación didáctica, la evaluación formativa y el uso de metodologías activas y colaborativas, junto con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), la manufactura avanzada y la simulación virtual. Se subraya que la flexibilidad del currículo, tanto en lo pedagógico como en lo técnico, es crucial para que los estudiantes se adapten al campo educativo de la mecatrónica y al dinámico entorno industrial. Este enfoque asegura una interacción efectiva entre la universidad, la sociedad y la industria, promoviendo una educación integral que no solo responda a las necesidades del sector productivo, sino también a la creciente demanda de educadores especializados en tecnología.

KEYWORDS

Curriculum design,
Mechatronics,
Labor field,
Professional skills

ABSTRACT

This article presents a review of the curricular design in mechatronics, aligned with the needs of the educational sector and the industrial field. Key components such as the integration of pedagogical knowledge and the development of technical competencies in fundamental areas such as educational robotics, mechanics, programming, design, electricity and electronics are examined, which facilitates the teaching of these disciplines in educational institutions. The research highlights the importance of training professionals capable of educating future generations in technical areas, as well as performing effectively in industrial sectors, strengthening the link between the university and contemporary social and technological demands. The study emphasizes the need to continually update curricular content, integrating essential pedagogical aspects such as didactic planning, formative evaluation and the use of active and collaborative methodologies, together with emerging technologies such as artificial intelligence (AI), advanced manufacturing and virtual simulation. It is emphasized that the flexibility of the curriculum, both pedagogically and technically, is crucial for students to adapt to the educational field of mechatronics and the dynamic industrial environment. This approach ensures effective interaction between the university, society and industry, promoting comprehensive education that not only responds to the needs of the productive sector, but also to the growing demand for educators specialized in technology.

1. Introducción

El campo laboral ecuatoriano presenta problemas estructurales que lo han caracterizado desde hace varias décadas y que vulneran los logros destinados a mejorar la calidad de vida de la población. En el contexto de un alto deterioro de los indicadores de empleo e ingresos, este trabajo ofrece un panorama del mercado laboral en el país antes de la pandemia, el cual ya enfrentaba desafíos importantes para retomar y mejorar la calidad de vida de las personas [1]. Así, el impacto que puede generar el diseño curricular, junto con el desarrollo de las habilidades blandas de los estudiantes universitarios, son temas muy relevantes para mejorar la empleabilidad de estos.

El diseño curricular es un proceso sustancial en la educación superior, puesto que establece guías para la formación académica y profesional de los estudiantes. En lo que respecta a las instituciones educativas superiores que ofertan la carrera de mecatrónica, el diseño debe ser muy flexible y adaptarse de manera ágil a los cambios tecnológicos, educativos y a las necesidades del campo laboral. En muchos casos, los programas curriculares no logran mantenerse acordes con los cambios tecnológicos e industriales, generando un desfase entre la formación académica y las demandas del campo laboral.

La revisión y los cambios sustantivos en los diseños curriculares se tornan primordiales para que los estudiantes no solo adquieran conocimientos técnicos, sino también desarrollen capacidades pedagógicas y habilidades prácticas acordes al contexto. Además, la integración de metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos, es fundamental para que los estudiantes enfrenten los desafíos del campo laboral y educativo. De esta manera, la sinergia entre el currículo y el campo laboral contribuye a la formación de profesionales con capacidades y competencias adecuadas para este entorno en constante evolución.

Las investigaciones destacan que existe una brecha entre las competencias que los egresados poseen y las que requieren las empresas. Esta brecha puede existir por diversos factores, como la falta de actualización de los planes de estudio, la insuficiente vinculación entre las universidades y las empresas, y la escasa práctica del estudiante durante su formación. Por tal motivo, la presente investigación busca analizar la relación entre el diseño curricular y la inserción laboral de los egresados. Se exploran las competencias demandadas por el campo laboral, las habilidades que desarrollan los estudiantes durante su formación y las estrategias que pueden implementarse para mejorar la empleabilidad de los egresados. Asimismo, se analizará el papel de las instituciones educativas en la formación de profesionales capaces de responder a los desafíos de un mundo laboral cada vez más competitivo y globalizado.

1.1. Revisión bibliográfica

La investigación [2] de Morales en el 2024, examina la brecha entre las competencias digitales requeridas en el mercado laboral y las habilidades actuales de la fuerza laboral en la región Cibao Sur, República Dominicana. Morales enfatiza el impacto de la digitalización y la Cuarta Revolución Industrial en las demandas del sector laboral, señalando la relevancia de competencias digitales avanzadas para aumentar la productividad y competitividad de las empresas. Su estudio concluye que existe una significativa brecha de competencias digitales en áreas técnicas y operativas, lo cual afecta negativamente la productividad, competitividad y sostenibilidad de las organizaciones en la región.

Por otro lado, Choi (2021) analiza el impacto de la Industria 4.0 en el mercado laboral, destacando una tendencia hacia la sustitución de empleos de baja calificación por puestos que requieren habilidades más avanzadas, acelerada por la crisis de COVID-19. En el contexto de España, el estudio subraya que el éxito de la Revolución 4.0 depende de una cooperación robusta entre el sistema educativo y el sector empresarial, así como de reformas educativas que preparen a trabajadores altamente cualificados. Choi sugiere que estas alianzas son esenciales para el crecimiento económico y para minimizar los costos sociales asociados a la transformación laboral [3].

Rosas et al. adoptan en [4] del 2022, un enfoque mixto para investigar la importancia de las habilidades blandas y su integración en la educación técnica. A través de encuestas y entrevistas con graduados y empleadores, concluyen que las habilidades blandas son valoradas casi al mismo nivel que las técnicas, sugiriendo que su inclusión en los programas académicos es esencial, aunque presenta desafíos para las instituciones educativas debido a la necesidad de métodos pedagógicos innovadores y comprometidos. Los resultados indican una correlación moderada entre las habilidades blandas y la inserción laboral, lo que sugiere la importancia de estas competencias en el ámbito profesional.

Rodríguez et al. en [5] proponen una plataforma de colaboración entre Instituciones de Educación Superior (IES) y el sector productivo en México para mejorar la alineación entre los egresados universitarios y el mercado laboral. Su estudio revela que más del 55

Para entender el mercado laboral ecuatoriano, Meneses et al. en [1] del 2021, presentan un análisis exhaustivo de indicadores laborales clave como la fuerza laboral y las tasas de participación. Enfocándose en el empleo y desempleo, destacan la importancia de políticas laborales inclusivas y de calidad para enfrentar los desafíos demográficos y económicos de Ecuador. Yamuca et al. en [6] también analizan el mercado laboral en Ecuador, explorando la participación de distintos sectores en la generación de empleo y sus implicaciones sociales, señalando cómo el éxito de un sector económico puede influir en el desempeño de otros, reflejando la interconexión del mercado laboral con la economía general.

Lahaba et al. en [7] del año 2022, investigan las competencias profesionales en el ámbito de la información, analizando tanto habilidades tradicionales como emergentes en gestión de datos y digitalización. A partir de un análisis de ofertas de empleo y estudios de caso en Cuba, Colombia y España, concluyen que los programas universitarios deben actualizarse para preparar a los profesionales con las competencias digitales que demanda el mercado laboral actual, particularmente en gestión de datos y tecnologías de la información.

El estudio de Muñiz et al. (2021) aborda la desconexión entre las elecciones de carrera de los estudiantes y las necesidades del mercado laboral. Subrayan la importancia de orientar las decisiones académicas hacia carreras con mayor demanda y proyección en el mercado, promoviendo una perspectiva más integral y realista sobre la realidad laboral [8].

Por su parte, Cazón et al. en [9] del (2023) enfatizan la importancia de actualizar las teorías educativas para responder a los retos contemporáneos en la preparación de los estudiantes. Pezer en [10] también destaca la creciente relevancia de las competencias blandas en la educación técnica, concluyendo que habilidades como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la adaptabilidad son cada vez más valoradas en el ámbito industrial, además de las competencias técnicas esenciales.

Finalmente, el estudio de Baque et al. en 2024 [11] explora el impacto del diseño curricular en la formación integral de estudiantes en la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, destacando la importancia de una estructura curricular que fomente habilidades pedagógicas y de liderazgo. De igual manera, Santiago et al. argumentan en [12] del año 2019, la necesidad de un currículo que incorpore competencias multiculturales en la Universidad Técnica de Manabí, a fin de preparar a futuros docentes para responder a la diversidad cultural en las aulas ecuatorianas.

En la Tabla 1 se presenta el resumen recabado de todas las referencias consultadas.

Investigaciones	Capacidades digitales e industria 4.0	Convenios entre el sector empresarial e instituciones educativas	Polítcas laborales	Habilidades blandas	Impacto del diseño curricular
[2], [3], [7]	x				
[3], [4], [5]		x			
[1], [6], [6]				x	
[4],			x		
[8], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [8]					x

2. Materiales y Métodos

El enfoque de la presente investigación se centra en un análisis cualitativo de los componentes clave: el diseño curricular, la pedagogía de la mecatrónica y las competencias profesionales en relación con las necesidades del campo laboral educativo e industrial. La metodología contempla la recolección de datos a través de la revisión de documentos, análisis de planes de estudio. Este enfoque permitirá evaluar la correspondencia entre el diseño curricular actual y las demandas específicas del mercado laboral. En la Figura 1, se presenta un flujograma que ilustra el esquema de la metodología a utilizar.

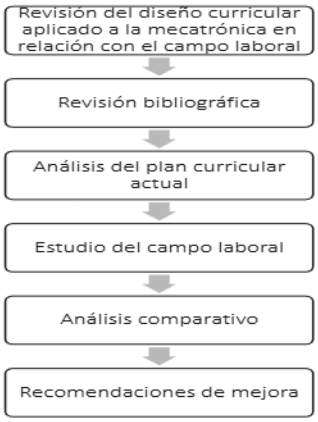


Figura 1: Metodología del trabajo

El proceso metodológico comienza con el planteamiento del problema, que se centra en la necesidad de revisar y evaluar el diseño curricular en la enseñanza de la mecatrónica, alineándolo con las demandas del campo laboral. A partir de esto, se formulan los objetivos generales y específicos que guiarán la investigación, destacando la pertinencia de la misma en función de las necesidades del contexto educativo e industrial.

Posteriormente, se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la bibliografía, que incluye artículos científicos relacionados con los componentes clave: diseño curricular, pedagogía técnica de la mecatrónica, campo laboral y competencias profesionales. Este análisis permite establecer un marco teórico que respalda el desarrollo de la investigación, contextualizando los principales enfoques y estudios previos en torno a la enseñanza de la mecatrónica y las tendencias actuales en educación técnica.

2.1. Análisis del plan curricular actual

El análisis del plan curricular actual revela la influencia significativa de la distribución de proyectos tecnológicos dirigidos a la industria y a la academia en el desarrollo de competencias en los estudiantes. Esta dinámica es crucial para su preparación en el ámbito laboral, y se puede desglosar en las siguientes categorías:

1. Habilidades Técnicas

La orientación de los proyectos hacia la industria tiende a centrarse en competencias técnicas avanzadas. Los estudiantes que participan en estos proyectos adquieren experiencia práctica en el manejo de maquinaria específica, como CNC y sistemas de soldadura, así como en el desarrollo de sistemas automatizados y eficientes. Esta experiencia les permite desarrollar habilidades técnicas que son directamente aplicables en entornos industriales. Por otro lado, los proyectos académicos también contribuyen al desarrollo de competencias técnicas, aunque su enfoque se centra más en la comprensión de conceptos fundamentales y en el manejo de tecnologías en entornos controlados. Esta base teórica sólida es esencial, ya que prepara a los estudiantes para aplicar sus conocimientos tanto en la industria como en el ámbito docente.

2. Habilidades Blandas

La gestión de proyectos industriales exige a los estudiantes cultivar habilidades de comunicación, liderazgo y trabajo en equipo. La colaboración entre estudiantes, profesores y empresas es fundamental, lo que permite a los estudiantes fortalecer su capacidad de comunicación efectiva, organización y adaptabilidad. Estas habilidades son esenciales para enfrentar retos en el campo laboral. En el ámbito académico, los proyectos también fomentan el desarrollo de competencias blandas, como la resolución de problemas, la ética profesional y el trabajo colaborativo. Estas habilidades son igualmente valiosas, ya que preparan a los estudiantes para desempeñarse eficazmente en contextos tanto académicos como empresariales.

3. Competencias Profesionales

La combinación de proyectos industriales y académicos permite a los estudiantes desarrollar competencias complejas. La integración de múltiples habilidades, como el diseño, implementación y evaluación de proyectos tecnológicos completos, es una parte fundamental de esta experiencia. Los estudiantes que participan en proyectos que tienen un impacto dual (académico-industrial) adquieren una mentalidad crítica que les permite transferir habilidades y conocimientos entre la teoría y la práctica. Esta capacidad de adaptar el conocimiento teórico a situaciones prácticas es vital en el ámbito laboral, donde la resolución de problemas específicos y la innovación son altamente valoradas.

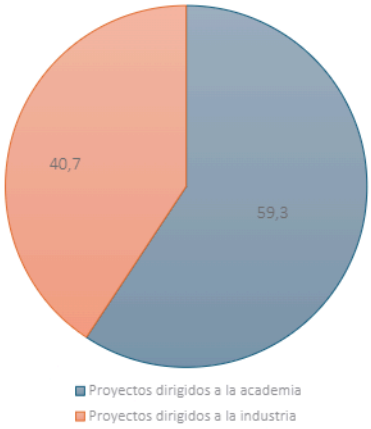


Figura 2: Planes de proyectos de proyecto curriculares en ejecución en la Universidad Central del Ecuador – Carrera de Pedagogía en Mecatrónica.

3. Desarrollo

Las principales características de los componentes revisados con relación a la Carrera de Pedagogía Técnica de la Mecatrónica son: En cuanto al componente del diseño curricular se tiene:

- Al integrar la mecánica, electricidad, electrónica, diseño, programación y la estética se proyecta no solo a una formación interdisciplinar, sino transdisciplinar.
- Debe ser flexible y adaptarse a los avances tecnológicos.

- Formas profesionales en el área técnica y pedagógica.
- Adaptabilidad a los cambios que exige el campo laboral y a las nuevas tendencias educativas.

Entre los parámetros fundamentales que se deben considerar para la respectiva medición son la periodicidad con la que se revisa o actualiza el currículo y cómo éste se ajusta a los avances tecnológicos; el análisis y aplicación de las metodologías activas como es el aprendizaje basado en proyectos; y la capacidad del currículo ajustado a las necesidades y a las competencias que demanda el sector productivo y educativo. En el componente de pedagogía, técnica de la mecatrónica se considera:

- La combinación de la pedagogía y la técnica, permitiendo el desarrollo de las habilidades del siglo XXI, tanto capacidades blandas (cognitivas, interpersonales e intrapersonales) como técnicas.
- La pedagogía de la mecatrónica se enfoca en cómo enseñar, mientras que la técnica de la mecatrónica se encarga de que contenidos se deben incorporar en relación a la situación actual.

Los parámetros a medir son el análisis de la actualización docente en cuanto a las nuevas metodologías y avances tecnológicos; el desarrollo de habilidades de siglos XXI acordes al entorno; y la construcción de proyectos cercanos a la realidad tanto industriales como educativos.

- La creciente demanda existente en el campo de docentes y profesionales en mecatrónica y robótica educativa.
- Capacidad de reducir la brecha entre la formación técnica y las exigencias laborales.
- Capacidad de inserción de los egresados en el campo laboral educativo y productivo, con la respectiva alineación de las competencias adquiridas y las demandas del campo laboral.

Los parámetros a medir son la tasa de empleo de los egresados de la carrera en el sector educativo y productivo; identificación las habilidades que los empleadores y el sector educativo requieren de los profesionales de mecatrónica; y el grado de colaboración entre las universidades y empresas para que el currículo se aliñe a las necesidades del sector productivo.

Por último, el componente de competencias profesionales se tiene:

- Desarrollo de competencias blandas, técnicas y complejas para adaptarse al campo laboral.

Los parámetros a medir son el dominio de las habilidades técnicas de las áreas que integran la mecatrónica y la robótica educativa; desarrollo de las habilidades de las competencias blandas cognitivas (pensamiento crítico, resolución de problemas, creatividad, innovación y el aprendizaje continuo), interpersonales (colaboración, comunicación, trabajo en equipo, empatía, inteligencia emocional y adaptabilidad), e interpersonales (autogestión, autorregulación emocional, autoconciencia, ética y responsabilidad social); y por último el análisis de cómo influyen las competencias adquiridas en la empleabilidad de los egresados. En la Tabla 2 se plantean, de manera resumida, las características de cada componente que deben ser enfocado para que el diseño curricular sea aplicado de manera pertinente a la mecatrónica.

No.	Componente	Características
1	Diseño curricular	▪ Formación interdisciplinar y transdisciplinar ▪ Actualización del currículo. ▪ Formación pedagógica y técnica. ▪ Relación entre el currículo, las nuevas tendencias educativas y el campo laboral.
2	Pedagogía técnica de la mecatrónica	▪ Desarrollo de las habilidades del siglo XXI, tanto capacidades blandas (cognitivas, interpersonales e intrapersonales) como técnicas. ▪ Cómo enseñar y qué enseñar. ▪ Capacitación docente ▪ Proyectos reales
3	Campo laboral	▪ Competencias que demanda el campo laboral de docentes profesionales en mecatrónica y robótica educativa. ▪ Formación técnica y las exigencias laborales. ▪ Vinculación universidad – comunidad – industria. ▪ Inserción laboral en el campo laboral educativo y productivo.
4	Competencias profesionales	▪ Competencias del siglo XXI: complejas, blandas y técnicas.

Por otro lado, en la Tabla 3 se detalla el análisis de los artículos investigados en fracciones y porcentajes

No.	Componentes	Artículos investigados	Fracción	Porcentaje (%) de las características según su importancia y peso
1	Diseño curricular	8	0,5	50
2	Pedagogía técnica de la mecatrónica	5	0,2	20
3	Campo laboral	3	0,2	20
4	Competencias profesionales	3	0,1	10
	Total	**19**	**1**	**100**

En la Tabla **??**, se presenta una matriz criterios en comparación basada en el método de Saaty. Este método permite asignar un valor ponderado que refleja la importancia relativa entre los criterios, con los valores definidos situados en la diagonal principal. Por ejemplo, si se asigna una ponderación a C1C4, su inverso C4C1 será igual a 1/C1C4, y así sucesivamente hasta completar toda la matriz de comparación.

4. Conclusiones

El diseño curricular en la educación universitaria es mucho más que una simple guía de estudios; es una herramienta fundamental para asegurar que los estudiantes estén preparados para enfrentar los desafíos del mundo laboral. En un entorno donde las exigencias del sector productivo cambian rápidamente, resulta imprescindible que las instituciones educativas ofrezcan programas de estudio actualizados, pertinentes y orientados a desarrollar las competencias que el sector productivo demanda.

Un diseño curricular bien planteado no solo debe proporcionar los conocimientos teóricos, sino también fomentar el desarrollo de habilidades prácticas y blandas, como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. Asimismo, es vital que incluya experiencias de aprendizaje que conecten a los estudiantes con la realidad profesional, como pasantías, proyectos de investigación y colaboraciones con la industria.

El vínculo entre el diseño curricular y la inserción laboral es claro: un plan de estudios que integre las tendencias y necesidades del campo laboral aumenta considerablemente las oportunidades de empleo para los egresados. Las universidades, como formadoras de talento, deben estar en constante comunicación con los sectores económicos para ajustar y evolucionar sus programas, garantizando así que los futuros profesionales cuenten con las herramientas necesarias para destacar y prosperar en un entorno cada vez más competitivo.

Este enfoque destaca la relevancia de un currículum adaptado a las demandas del campo laboral y cómo impacta en el éxito profesional de los estudiantes. Se proyecta que el 60 % de los empleos a nivel mundial requerirán habilidades digitales para 2025, lo que hace imprescindible la preparación de una fuerza laboral capacitada. Las empresas que logren cerrar la brecha de habilidades digitales estarán mejor posicionadas para enfrentar los desafíos de la transformación digital.

Entre las recomendaciones se plantea generar sinergia entre las empresas enfocadas en la industria 4.0 y los estudiantes, de manera que se disminuya la brecha de conocimiento entre ambos actores. Las empresas deben invertir en programas de capacitación digital, mientras que las instituciones educativas deben adaptar sus currículos y los gobiernos deben crear políticas de desarrollo de competencias digitales en función de las industrias. Es fundamental que las universidades implementen programas que promuevan tanto habilidades técnicas como blandas, preparando así a los graduados para el campo laboral. En este contexto, se sugiere realizar evaluaciones y mediciones de habilidades blandas en diferentes contextos, tanto educativos como laborales, en cada institución educativa.

En Ecuador, uno de los retos relacionados con el sistema educativo se enfoca sobre todo en su calidad, dada la reducción de la población menor de 15 años. Es fundamental garantizar que la población que va a ingresar en el campo laboral cuente con las habilidades y destrezas que no solo mejoren la productividad laboral, sino que también propicien un desarrollo más inclusivo. En este tema, Ecuador mantiene una deuda pendiente, dados los resultados de las pruebas "Ser Estudiante", por lo que se deben implementar programas educativos que incentiven a los estudiantes de colegios y escuelas a comprender de manera didáctica la importancia de la industria 4.0 y sus aplicaciones, de manera que los estudiantes entiendan que así pueden mejorar su calidad de vida.

Referencias

[1] K. Meneses, G. C. Montero, and K. A. Soria, "Lo más destacado y sobresaliente que caracteriza al mercado laboral ecuatoriano en siete hechos estilizados," *Revista Economía y Política*, pp. 1–33, 2021.

[2] R. E. R. Morales, "Competencias digitales en el mercado laboral dominicano: Brechas y desafíos para el sistema educativo en la región cibao sur," *RECIE. Revista Caribeña de Investigación Educativa*, vol. 8, pp. 105–126, 2024.

[3] A. Choi, "Spain in the face of the 4.0 industrial revolution: Labor market and training," *Araucaria*, pp. 479–505, 2021.

[4] L. F. Rosas, M. P. Q. Fuentes, J. H. Ramírez, M. T. T. López, and M. G. Pérez, "Relación entre las habilidades blandas y la inserción laboral de egresados de ingeniería industrial del tecnológico de tierra blanca," *European Scientific Journal, ESJ*, vol. 18, p. 297, 2022.

[5] N. A. R. Rodríguez, F. S. G. Peralta, L. I. G. Peralta, and E. E. J. González, "La tecnología como impulso en la vinculación de los profesionistas con el mercado laboral," sin fecha.

[6] J. L. B. Yamuca, C. M. F. Indio, N. Y. S. Ganchozo, and E. E. T. Miranda, "Análisis de los principales indicadores del mercado laboral y las ramas de ocupación en ecuador," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 5, pp. 903–924, 2022.

[7] Y. R. N. Lahaba, M. L. Santos, and Z. Rivera, "Saberes de los profesionales de la información para las demandas del mercado laboral," *Revista CEA*, vol. 8, p. e1998, 2022.

[8] M. G. Muñiz, L. R. D. T. Yániz, and J. M. H. Avila, "Nuevas generaciones y mercado laboral: Desafíos para la pertinencia educativa actual," *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, vol. 23, 2021.

[9] C. V. A. Cazón, M. V. Siles, C. A. Estrada, E. F. Terrazas, M. V. Zutara, and H. F. P. Pozo, "Diseño curricular complejo con enfoque de competencias," *Revista Guatemalteca de Educación Superior*, vol. 6, pp. 41–71, 2023.

[10] D. Pezer, "The importance of soft skills in technical education," urlhttps://www.researchgate.net/publication/305360275.

[11] D. L. Z. Baque, N. S. M. Lozano, A. B. I. Terán, and H. A. G. Alcívar, "Diseño curricular y la formación integral de los estudiantes de la carrera de educación," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, pp. 7190–7227, 2024.

[12] O. Santiago, B. Sablón, C. Enrique, S. Loor, O. Elías, B. Chávez, J. María, and Z. Sornoza, "Gestión del diseño curricular universitario en ecuador," 2019, urlhttps://www.redalyc.org/articulo.oa?

[13] M. E. Navas-Ríos and J. O. Ospina-Mejía, "Diseño curricular por competencias en educación superior: La experiencia de dos universidades en colombia," *Saber, Ciencia y Libertad*, vol. 15, pp. 195–217, 2020.

[14] C. T. Arguedas, "Aportes de vigotsky y la pedagogía crítica para la transformación del diseño curricular en el siglo xxi," *Innovaciones Educativas*, vol. 22, pp. 186–195, 2020.

[15] J. Domingo and O. Suárez, "Dirección para correspondencia: Giordanobruno021600@yahoo.es," 2020.

[16] C. Toruno-Arguedas, "Principios del diseño curricular desde la complejidad: El caso de la universidad técnica nacional," *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, vol. 12, pp. 295–322, 2021.

[17] S. L. Q. Choque, "El diseño curricular complejo basado en competencias," *Revista Ciencia Multidisciplinaria CUNORI*, vol. 7, pp. 19–29, 2023.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

El impacto de la robótica educativa en el desarrollo de competencias y habilidades blandas en los estudiantes del Ecuador

The impact of educational robotics on the development of competencies and soft skills in Ecuadorian students

Marco A. Chiluisa

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Quito, Ecuador

Recibido: 12/12/2024, Aceptado: 14/01/2025
Autor de correspondencia: NombreAC: nombreAC@xxx.xxx
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1187

PALABRAS CLAVE

Robótica educativa,
Competencia,
Educación,
Habilidades blandas,

RESUMEN

La presente investigación revisa el impacto de la robótica educativa en el desarrollo de competencias de los estudiantes del Ecuador. En un contexto donde la educación busca adaptarse a las exigencias del siglo XXI, la robótica se presenta como una herramienta innovadora para mejorar el aprendizaje. El objetivo de esta revisión es analizar cómo la implementación de la robótica en las aulas contribuye al desarrollo de habilidades técnicas y blandas. Se utilizó una metodología documental, revisando estudios previos y experiencias educativas en diferentes instituciones. Las técnicas de análisis incluyeron con la revisión bibliográfica y estudio de caso. Los principales resultados indican que los estudiantes que participan en actividades de robótica educativa mejoraron significativamente en las áreas del tradicionales con la resolución de problemas, el trabajo en equipo y la creatividad. Además, se observó un aumento en la motivación y el interés por las materias del tronco común. En conclusión la robótica educativa no sólo potencia el aprendizaje de las competencias técnicas, sino que también fomenta habilidades interpersonales, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos del futuro laboral en el mundo cada vez más tecnológico.

KEYWORDS

Educational robotics,
Competition,
Education,
Soft skills,

ABSTRACT

The present research reviews the impact of educational robotics on the development of competencies of students in Ecuador. In a context where education seeks to adapt to the demands of the 21st century, robotics is presented as an innovative tool to improve learning. The objective of this review is to analyze how the implementation of robotics in the classroom contributes to the development of technical and soft skills. A documentary methodology was used, reviewing previous studies and educational experiences in different institutions. The analysis techniques included literature review and case study. The main results indicate that students participating in educational robotics activities improved significantly in areas such as problem solving, teamwork and creativity. In addition, an increase in motivation and interest in core subjects was observed. In conclusion, educational robotics not only enhances the learning of technical skills, but also fosters interpersonal skills, preparing students to face the challenges of future employment in an increasingly technological world.

1. Introducción

El principal objetivo de la presente investigación con el tema "el impacto de la robótica educativa en el desarrollo de competencias y habilidades blandas de los estudiantes del Ecuador". Es analizar cómo la implementación de la robótica educativa influye en el desarrollo de competencias técnicas y blandas en los estudiantes ecuatorianos, evaluando tanto los beneficios observados en el aprendizaje y la motivación de los alumnos como los desafíos que enfrenta su integración en el sistema educativo. En un mundo cada vez más digital y tecnológico, la educación debe adaptarse para preparar a los jóvenes para un futuro laboral que exigen habilidades técnicas y competencias blandas. La robótica educativa se presenta como una herramienta innovadora que puede transformar el aprendizaje, fomentando la creatividad, el trabajo en equipo y el pensamiento crítico [1]. El acercamiento a este tema se realizará a través de una revisión bibliográfica existente, que incluye estudios recientes sobre la efectividad de la robótica en el aula y su influencia en el interés de los estudiantes por la disciplina STEM [2]. Ademas, se exploran las barreras que limitan la implementación efectiva de la robótica educativa, como la falta de recursos y la capacitación insuficiente de los docentes [3]. La tesis central de esta investigación sostiene que, aunque la robótica educativa ofrece oportunidades significativas para el desarrollo integral de los estudiantes, su éxito dependerá de la superación de los obstáculos actuales y de una integración efectiva en el currículo escolar. La organización seguirá un esquema que comenzará con una revisión de los beneficios de la robótica educativa, seguida de un análisis de los desafíos que enfrenta su implementación en Ecuador. Finalmente, se concluye con recomendaciones para mejorar la integración de la robótica en las aulas, de modo que se maximice sus beneficios y se contribuya al desarrollo de competencias esenciales en los estudiantes ecuatorianos. Los resultados de estudios realizados en diversas instituciones educativas del país indican que los estudiantes involucrados en actividades de robótica muestran un aumento significativo en su interés por la disciplina STEM (Ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), lo que contribuye a la formación de un capital humano más competitivo [2]. Además, la robótica educativa ha demostrado mejorar la autoestima y la motivación de los estudiantes, creando un ambiente de aprendizaje más dinámico y participativo [4]. Sin embargo, la investigación también ha señalado importantes desafíos, como la escasez de recursos y la necesidad de capacitación docente, que limita la efectividad de la robótica en las aulas [3]. Estas limitaciones sugieren que, para maximizar los beneficios de la robótica educativa, es fundamental implementar estrategias que aborden la formación continua de los docentes y la integración curricular de la robótica

2. Metodología de la investigación

La investigación bibliográfica sobre el impacto de la robótica educativa en el desarrollo de competencias y habilidades blandas en los estudiantes del Ecuador se llevará a cabo siguiendo un enfoque sistemático y estructurado. Esta metodología permitirá compilar, analizar y sintetizar información relevante de diversas fuentes académicas y científicas.

El objetivo principal de esta investigación es recopilar y analizar los estudios existentes sobre la robótica educativa y su influencia en el desarrollo de competencias y habilidades blandas en estudiantes ecuatorianos, para proporcionar un marco teórico sólido. Se utilizaron 26 diversas fuentes de información, que incluyeron: Artículos Académicos con estudios revisados por pares en bases de datos académicas como Google Scholar, Scopus, JSTOR y ERIC, centrados en la robótica educativa y su impacto en el aprendizaje.Tesis y Disertaciones de trabajos de investigación de universidades ecuatorianas y extranjeras que abordan temas relacionados con la robótica educativa y las habilidades blandas. Libros y Capítulos de Libros especializados en educación, robótica y desarrollo de competencias, que ofrezcan una visión integral del tema.

3. Desarrollo

Los principales resultados se expresan en la tabla1 que hace referencia al análisis de las investigaciones publicadas, sus fracciones y porcentajes. Estos resultados se complementan con un gráfico estadístico que se detalla a continuación.

Se puede observar en la tabla 1 para el análisis de las fuentes bibliográficas se priorizaron cuatro parámetros, los mismos que fueron referenciados teóricamente en 26 fuentes bibliográficas que presentan el 100 %, obteniendo los siguientes resultados: el 34,62 % se centró en el impacto de la robótica educativa, el 30,77 % abordó la implementación de la robótica educativa, es 23,08 % se dedicó a la robótica educativa, y el 11, 54 % se enfocó a las habilidades blandas. Respecto a los aspectos más sobresalientes de la revisión bibliográfica se puede mencionar:

En un contexto donde las habilidades técnicas y blandas son cada vez más valoradas, la robótica ofrece una plataforma única para el desarrollo integral de los estudiantes, En cuanto al desarrollo de competencias técnicas la robótica

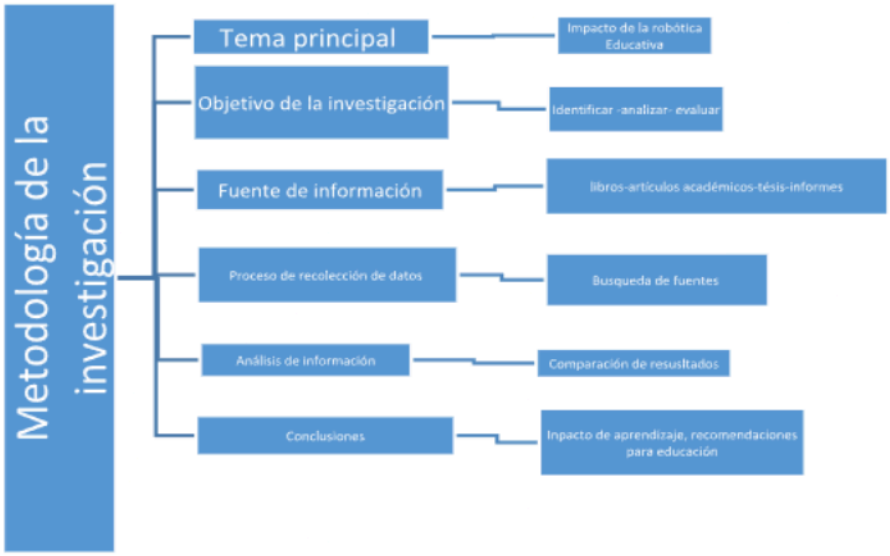


Figura 1: Metodología de la investigación

Tabla 1: Distribución de investigaciones publicadas por categoría

Investigaciones publicadas	**Fracción**	**Porcentaje**	**%**
Robótica Educativa	6	0,23	23,08
Implementación	8	0,30	30,77
Impacto	9	0,34	34,62
Habilidades blandas	3	0,11	11,54
Total	26	1,00	100,00

educativa permite a los estudiantes adquirir habilidades técnicas esenciales en un entorno práctico y colaborativo. Según [1], la interacción con herramientas robóticas fomenta aprendizajes de conceptos de programación, electrónica y mecánica, preparando a los estudiantes para un futuro laboral en un mundo cada vez más digitalizado. La experiencia práctica en la construcción y programación de robots no sólo facilita la comprensión de teorías complejas, sino que también estimula el interés Buscar nuevas metodologías en busca del aprendizaje significativo. En un estudio realizado por [2] en varias instituciones educativas del Ecuador demostró que los estudiantes que participaron en talleres de robótica mostraron un aumento significativo en su capacidad para resolver problemas técnicos y aplicar conocimientos matemáticos en situaciones reales. Esta experiencia práctica es fundamental para desarrollar competencias que son altamente demandadas en el mercado laboral actual.

La robótica educativa también promueve el desarrollo de competencias blandas, que son igualmente cruciales en el entorno laboral contemporáneo. La colaboración, la comunicación y el pensamiento crítico son algunas de las habilidades que se fortalecen a través de proyectos o prototipos robóticos. Según [5], los estudiantes que trabajan en equipo para diseñar y construir robots aprenden a compartir ideas, negociar soluciones y enfrentar desafíos de manera conjunta. La robótica educativa fomenta un ambiente de aprendizaje activo donde los estudiantes deben asumir roles diferentes y colaborar para alcanzar un objetivo común. Según [2] señala que esta dinámica no sólo mejora las habilidades interpersonales, sino que también aumenta la autoestima y la motivación de los estudiantes, creando un entorno más inclusivo y participativo. A pesar de los beneficios evidentes, la implementación de la robótica educativa enfrenta varios desafíos. En la investigación de [6] destacan que la falta de recursos económicos y la capacitación insuficiente de los docentes son obstáculos significativos que limitan la efectividad de estos programas. Sin el apoyo adecuado, es difícil que los de educadores puedan integrar la robótica en su enseñanza de manera efectiva. Una de las dificultades es la resistencia al cambio en algunas instituciones educativas que pueden dificultar la adopción de las nuevas metodologías. Es esencial que los las políticas educativas promueva la formación continua de los docentes y la inversión en recursos tecnológicos para maximizar dar el impacto de la robótica educativa en el desarrollo de las competencias. Con la finalidad de buscar estrategias que mejoren la enseñanza y aprendizaje de las asignaturas tradicionales la robótica educativa se refiere al uso de robots y tecnologías relacionadas en el contexto educativo para

facilitar el aprendizaje en diferentes disciplinas. Según [1], la robótica educativa no solo implica la construcción de programas de rorobots sino que también integra conceptos de ciencia, tecnologia, ingeniería y matemáticas (STEM), ofreciendo a los de estudiantes un sistema virtual y físico para aplicar sus conocimientos en situaciones prácticas. Este enfoque permite que los estudiantes desarrollan habilidades críticas mientras trabajan en proyectos que requieren creatividad, resolución de problemas y colaboración. La robótica educativa ha ganado atención en el contexto ecuatoriano en los últimos años, especialmente su capacidad para desarrollar competencias técnicas y habilidades blandas en los estudiantes. Diversas investigaciones han explorado su impacto en el aprendizaje y el desarrollo integral de los alumnos. Los autores [5] realizaron un estudio que analizó como la implementación de la robótica educativa mejoran las habilidades técnicas de los estudiantes. Los autores encontraron que los alumnos que participaron en talleres de robótica mostraron un aumento significativo en su comprensión de conceptos matemáticos y programación. Este estudio destaca la importancia de la robótica como herramienta pedagógica para fomentar el interés y la disciplina STEM. Por otro lado, [5] llevó a cabo una investigación centrada en el impacto de la robótica educativa en la motivación y el rendimiento académico de los estudiantes. Los resultados indicaron que aquellos que participaron en actividades de robótica educativa no sólo mejoraron sus habilidades técnicas, sino que también experimentaron un aumento en su motivación y autoestima. Este hallazgo sugiere que la robótica no sólo contribuye al desarrollo de competencias técnicas, sino que también tiene un efecto positivo en el bienestar emocional de los estudiantes. Así mismo, [7] explorar en el desarrollo de competencias blandas a través de la robótica educativa. Su investigación reveló que los estudiantes que trabajaron en proyectos robóticos en equipo desarrollaron habilidades de comunicación, colaboración y resolución de problemas. Este estudio resalta la importancia de la robótica educativa en la formación integral de los estudiantes, preparándolos para enfrentar los desafíos del siglo XXI. Finalmente, [3] indicaron varios desafíos en la implementación de la robótica educativa en Ecuador, como la falta de recursos y la capacitación de docentes. A pesar de estos obstáculos los autores concluyeron que la robótica educativa tiene un potencial significativo para mejorar la calidad de educativo y el desarrollo de competencias en los estudiantes. Las competencias de educativa se refieren a la capacidad de los estudiantes para aplicar sus conocimientos en situaciones reales. Según el ministerio de educación de Ecuador [8], estas competencias incluyen habilidades cognitivas, técnicas y socioemocionales que son esenciales para el aprendizaje continuo. La educación moderna busca formar estudiantes que no sólo sean capaces de memorizar información, sino que también puedan resolver problemas, pensar críticamente y trabajar en equipo. Las habilidades blandas, por otro lado, son aquellas competencias interpersonales que permiten a los individuos comunicarse y colaborar efectivamente. Según [4], estas habilidades incluyen la empatía, la comunicación, la adaptabilidad y la resolución de conflictos. En un entorno laboral cada vez más colaborativo, las habilidades blandas son tan importantes como las habilidades técnicas. Un estudio de García y Martínez (2021) encontró que los estudiantes que desarrollan habilidades blandas tenían más probabilidades de tener éxito en sus carreras profesionales. La integración de competencias educativas y habilidades blandas en el currículo escolar es esencial para formar estudiantes completos. Según [5], los programas educativos que enfatizan el desarrollo de estas competencias permiten a los estudiantes de enfrentar mejor los desafíos del mundo real, promoviendo una educación más relevante y efectiva. Además, las habilidades blandas contribuyen a un ambiente de aprendizaje positivo, donde los estudiantes se sienten valorados y motivado. En definitiva, el desarrollo de competencias educativas y habilidades blandas es crucial para la formación integral de los estudiantes. Estas habilidades no solo preparan a los alumnos para el éxito académico, sino que también les proporciona las herramientas necesarias para prosperar en sus vidas personales y profesionales. Por lo tanto, es fundamental que las instituciones educativas implementen estrategias que fomenten tanto el conocimiento técnico como las habilidades interpersonales. En relación a los estudiantes de estudio superiores es fundamental fomentar actividades de habilidades blandas para fortalecer la preparación técnica pero también al profesional como ser humano, creativo y motivado para trabajar de forma proactiva en diversos grupos sociales.

En la figura 2 y considerando el criterio de proporcionalidad se puede apreciar que el impacto de la robótica educativa es un tema predominante en las fuentes analizadas, seguido por la implementación. La atención dada a la robótica educativa sugiere un interés en cómo estos aspectos pueden mejorar la calidad educativa, así como también la correlación de las habilidades blandas en el desarrollo tecnológico de los estudiantes.

4. Discusión y resultados

Los resultados analizados de la revisión de fuentes bibliográficas permiten determinar el impacto de la robótica educativa en los de estudiantes del Ecuador, La innovación de la educación, la vinculación en el sector industrial y empresarial. En este contexto surge la necesidad de alinear la implementación de la robótica educativa como una herramienta innovadora, creativa y de impacto para la enseñanza y aprendizaje de los educandos. Las investigaciones representadas ponen de manifiesto la importancia de una estrecha colaboración entre las instituciones educativas y el



Figura 2: Investigaciones previas

desarrollo tecnológico. Esta sinergia traduce en las actualizaciones constantes de los planes de estudio, la incorporación de nuevas metodologías en la que el estudiante pueda experimentar y crear aprendizajes significativos para el beneficio personal y desarrollo del país. Así también se pone de manifiesto en esta investigación la necesidad de fomentar la capacitación a los docentes con nuevas metodologías incorporando a la robótica educativa como herramienta principal. Esto conlleva a que las políticas educativas tengan mayor relevancia participación en la implementación de materiales didácticos con tecnologías actualizadas. Respecto a las investigaciones sobre las habilidades blandas inmersas en la parte tecnológica, en este sentido los enfoques de enseñanza y aprendizaje más eficaces son aquellos que incorporan metodologías innovadoras, cómo el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en retos, el aprendizaje basado en problemas y la simulación, necesarios para promover y desarrollar experiencias en el aprendizaje. Un factor para considerar en las investigaciones relacionadas al impacto de la robótica educativa en la educación es la importancia que debe tener el diseño del currículo y su aplicación con metodologías innovadoras. Este enfoque respecto a la robótica educativa es fomentar una praxis educativa comprometida con la interculturalidad, la equidad de género y la transformación social.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados analizados, se concluye que el impacto de la robótica educativa como herramienta didáctica para la enseñanza aprendizaje es fundamental para el desarrollo tecnológico y la innovación en la educación técnica. De este análisis se establece un enfoque de investigación organizado por los aspectos prioritarios La Robótica Educativa es una herramienta pedagógica que integra la enseñanza de conceptos de ciencia tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) a través de la construcción de programas, robots con este contexto el fomento de aprendizaje activo el desarrollo de habilidades técnicas, la estimulación de la creatividad, y fomento del trabajo en equipo hace que la robótica educativa como tal sea una innovación en el aspecto pedagógico tanto para docentes como para estudiantes en busca de un aprendizaje significativo. Los estudiantes que participan en actividades de robótica muestran un aumento en su motivación y autoestima, lo que contribuye en un ambiente de aprendizaje más dinámico y participativo. Además, la robótica fomenta habilidades técnicas y blandas, como la resolución de problemas la creatividad y el trabajo en equipo. A pesar de los beneficios evidentes, la implementación de la robótica educativa enfrenta varios desafíos en Ecuador. La escasez de recursos económicos y la falta de capacitación docente son obstáculos significativos que limita la efectividad de estos programas. Sin el apoyo adecuado, es difícil que los educadores integren la robótica en su enseñanza de manera práctica. Además, la resistencia al cambio en algunas instituciones educativas puede dificultar la adopción de nuevas metodologías. Para maximizar el impacto de la robótica educativa es fundamental invertir en recursos tecnológicos y en la formación continua de los docentes. La capacitación adecuada permitirá a los educadores utilizar la robótica como una herramienta pedagógica efectiva, alineado su implementación con el currículo escolar. Asimismo, es esencial que las políticas educativas promuevan la inversión en infraestructura tecnológica y recursos necesarios para facilitar la enseñanza de la robótica. De la investigación surge la necesidad de integración de habilidades

blandas en el currículo escolar es esencial para preparar a los estudiantes para un futuro laboral que exige tanto competencias técnicas como interpersonales por lo tanto es fundamental que las instituciones educativas implementen estrategias que fomenten el desarrollo de estas habilidades junto al conocimiento técnico. Las habilidades blandas son competencias interpersonales esenciales que permiten a los individuos interactuar y colaborar de manera efectiva en diversos entornos, incluyendo el académico y el laboral. Estas habilidades incluyen, entre otras, la comunicación, la empatía, la adaptabilidad y la resolución de conflictos. En el ámbito educativo, el desarrollo de habilidades blandas es crucial para formar estudiantes integrales que no sólo sean competentes en conocimientos técnicos, sino que también pueda enfrentar los desafíos del mundo real. La robótica educativa, al fomentar el trabajo en equipo y la resolución de problemas, se convierte en una herramienta efectiva para potenciar estas habilidades. Estudios han demostrado que los estudiantes que han desarrollado habilidades blandas tienen mayores probabilidades de éxitos en sus carreras profesionales. Esto se debe que estas competencias son altamente valoradas en el entorno laboral actual, donde la colaboración y la comunicación son fundamentales.

Referencias

[1] M. Bers, “Coding as a playground: Programming and computational thinking in the early childhood classroom,” Teachers College Press, 2023.

[2] R. González, “Impacto de la robótica en el interés por las STEM en Ecuador,” Journal of Educational Research, vol. 12, n°1, pp. 23–35, 2023.

[3] T. Salazar, and E. Torres, “Desafíos en la implementación de la robótica educativa en Ecuador,” Innovaciones Educativas, vol. 5, n°. 2, pp. 15–29, 2023.

[4] J. Ramírez, Ĭnnovación educativa: el rol de la robótica en el aula,Revista Latinoamericana de Educación, pp. 18(2), 75-90, 2023.

[5] J. Cevallos and M. López, Robótica educativa y competencias en la educación secundaria,Revista de Educación y Tecnología, pp. 15(3), 45-60, 2021.

[6] A. Pérez and M. López, ”La robótica educativa como herramienta para el desarrollo de competencias en estudiantes.,Revista de Educación y Tecnología, pp. 15,46-60, 2022.

[7] A. Pérez and S. Martínez, ”Desarrollo de competencias blandas a través de la robótica educativa,.[Ed]ucación y Aprendizaje, pp. 10(2), 101-115., 2022.

[8] Ministerio de Educación de Ecuador, ”Lineamientos para el desarrollo de competencias educativas en el sistema educativo ecuatoriano,”2020. [Online]. Available: https://www.educacion.gob.ec.

[9] D. Goleman, .[Em]otional intelligence: Why it can matter more than IQ,”Bantam Books, 1995.

[10] L. Ramírez, ”Motivación y autoestima en estudiantes de robótica educativa,Revista de Psicología Educativa, pp. 8(4), 78-90, 2022.

[11] L. Ramírez, ”Motivación y autoestima en estudiantes de robótica educativa,Revista de Psicología Educativa, pp. 8(4), 78-90, 2022.

[12] L. García and Martínez, ”La importancia de las habilidades blandas en la educación superior,Revista de Psicología Educativa, pp. 9(2), 45-60., 2021.