ISSN : 2600-5573

Volume 7 Nº1 | Enero 2025

IDEAS JOURNAL

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1

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



IDEAS
Journal

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

IBARRA - ECUADOR
2025

Editorial committee

Daisy Imbaquingo, Ph.D.
EDITOR IN CHIEF
e-mail: deimbaquingo@utn.edu.ec

Fernando Ramírez, Ph.D.
GENERAL EDITOR
e-mail: frramirez@utn.edu.ec

Marco Ciaccia, Ph.D.
SECTION EDITOR
e-mail: mciaccia@utn.edu.ec

Cathy Guevara, Ph.D.
SECTION EDITO.R
e-mail: cguevara@utn.edu.ec

Lissette Revelo, M.Sc.
SECTION EDITOR
e-mail: lgreveloc@utn.edu.ec

David Ojeda, Ph.D.
SECTION EDITOR
e-mail: daojeda@utn.edu.ec

Lucia Vasquez, Ph.D.
SECTION EDITOR
e-mail: ldvasquez@utn.edu.ec

Brizeida Gámez, Ph.D.
ACADEMIC EDITO.R
e-mail: bngamez@utn.edu.ec

Miguel Vivert, Ph.D.
ACADEMIC EDITOR
e-mail: mevivert@utn.edu.ec

Vladimir Bonilla Venegas, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: fbonilla@ute.edu.ec

Thalía San Antonio, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: t.sanantonio@uta.edu.ec

Mario Ron, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: mbron@espe.edu.ec

Laura Guerra, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: lrguerra@pucesi.edu.ec

Wilson Guachamín, Ph.D
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: wilson.guachamin@epn.edu.ec

Ana Cabrera, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: acabreratobar@unisa.it

Lilibeth Zambrano, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: zambranol@itcarlow.ie

Belkys Amador, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: bamador@unet.edu.ve

Vannessa Duarte, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: vannessa.duarte@unc.cl

-

Laura Sáenz, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: decanatoingenieria@ujap.edu.ve

Luis Garza, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: luis_garza1@ucol.mx

Roger Mafla, Ing.
DIAGRAMMER DESIGNER
e-mail: rfmafla@utn.edu.ec

Silvia Arciniega, Dra.
SECRETARY AND STYLE CORRECTOR
e-mail: srarciniega@utn.edu.ec

Leonardo Ibujés, Ing.
TECHNICAL EDITOR
e-mail: lvibujesc@utn.edu.ec

Gabriela Obando
ASSISTANT
e-mail: rgobandon@utn.edu.ec

University authorities

Dr. Miguel Naranjo Toro, Ph.D.
RECTOR
e-mail: rectorado@utn.edu.ec

Dra. Alexandra Mina Páez, Ph.D.
ACADEMIC VICE-RECTOR
e-mail: viceacademico@utn.edu.ec

Dra. Nhora Benítez Bastidas, Ph.D.
RESEARCH VICE-RECTOR
e-mail: viceinvestigacion@utn.edu.ec

Dr. Hernán Cadena Pulles, Ph.D.
ADMINISTRATIVE VICE-RECTOR
e-mail: viceadministrativo@utn.edu.ec

Catalina Ramírez, M.Sc.
DEAN FICA
e-mail: mcramirez@utn.edu.ec

Daisy Imbaquingo, Ph.D.
SUB-DEAN FICA
e-mail: deimbaquingo@utn.edu.ec

EDITORIAL UTN
IBARRA - ECUADOR

UNIVERSITY PRINTING 2025
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador

Editorial

En esta edición de la revista IDEAS, llamada: Abordando desafíos actuales de la ingeniería aplicada, presentamos un conjunto de investigaciones que tratan temas de relevancia científica e industrial desde perspectivas multidisciplinarias. Los trabajos incluidos en este número no solo destacan la diversidad temática, sino también el rigor metodológico y la creatividad en la solución de problemas actuales.

Las investigadoras Carrera y Zúñiga, desde la Universidad UTE, ofrecen una revisión exhaustiva sobre el papel de las enzimas del citocromo P450 en la bioactivación del agente quimioterapéutico ciclofosfamida, con miras a mejorar la eficacia de las terapias génicas contra el cáncer. Este trabajo nos muestra cómo la ciencia básica puede sentar las bases para avances terapéuticos de gran impacto.

En el ámbito de la psicología y la inteligencia artificial, Velasco y Herrera presentan un estudio que combina el análisis del síndrome de burnout en docentes con modelos basados en redes neuronales y técnicas multivariantes. Su propuesta, realizada desde la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), no solo valida instrumentos de medición, sino que también abre nuevas vías para la detección temprana de este problema laboral.

Por otro lado, desde una perspectiva empresarial, Condori y sus colaboradores en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima, Perú, en conjunto con la Universidad Técnica del Norte (UTN) en Ecuador, examinan la relación entre el proceso estratégico y la competitividad en el sector de consultoría. A través de un enfoque cuantitativo y herramientas estadísticas avanzadas, demuestran cómo la planificación estratégica puede ser una clave para el éxito organizacional.

El sector de las pequeñas y medianas empresas también está representado en este número, así, Yepez y sus colaboradores en la UTN, exploran la asociatividad en las MIPYMES de Imbabura, resaltando los desafíos y oportunidades para fortalecer su posicionamiento en mercados nacionales e internacionales.

En otro estudio de la UTN, Negrete y colaboradores proponen una metodología estratégica para las organizaciones de comercio justo en Ecuador, ofreciendo un marco práctico que potencia la gestión de pequeñas asociaciones de productores mediante estrategias adaptadas a su contexto.

En el ámbito de la salud, Daquilema y Herrera desde la UPEC, presentan un análisis sobre la detección de desnutrición crónica en niños menores de cinco años. Mediante clasificadores basados en redes neuronales e inteligencia artificial, su investigación establece nuevos estándares en la identificación temprana de esta problemática, con importantes implicaciones para la salud pública.

Por su parte, Aguirre y Umaquinga presentan una innovación tecnológica aplicada a los servicios públicos, desarrollando conjuntamente entre la UPEC y la UTN, una aplicación web que, alineada con las normativas ISO/IEC 25010, promete optimizar los procesos de recaudación y la calidad del servicio para comunidades específicas.

Ignacio Benavides y sus colegas de la UTN y la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador, examinan el impacto de diferentes viscosidades de aceite en el desgaste de motores en diversas altitudes geográficas. Este trabajo contribuye significativamente a los campos de la tribología y el mantenimiento de motores en contextos específicos, como son las ciudades de altura.

En el ámbito de la sostenibilidad, Argüello y su equipo de la Universidad Estatal de Guayaquil, investigan la integración de tecnologías limpias en procesos industriales. Sus resultados muestran no solo beneficios ambientales, sino también mejoras económicas y reputacionales para las empresas, destacando la relevancia de las prácticas sostenibles.

Finalmente, Juan P. Vásquez y colaboradores UTN y del Instituto Tecnológico San Antonio aborda el desarrollo de una plataforma modular para la enseñanza de microcontroladores y sistemas embebidos. Su diseño innovador, que combina hardware libre y metodologías didácticas, ha demostrado mejorar el aprendizaje práctico y reducir costos para estudiantes y universidades.

En conjunto, estos trabajos reflejan la riqueza y diversidad de ideas que buscan transformar tanto la teoría como la práctica en áreas clave de la ciencia y la ingeniería. Este número de IDEAS es un testimonio del compromiso de nuestros autores con el avance del conocimiento y la innovación.

PhD. Daisy Imbaquingo
Editor Jefe

PhD. Fernando Ramírez
Editor General

Editorial

In this edition of the IDEAS journal, titled "Addressing Current Challenges in Applied Engineering," we present a collection of studies that tackle topics of scientific and industrial relevance from multidisciplinary perspectives. The works featured in this issue not only highlight thematic diversity but also demonstrate methodological rigor and creativity in solving current problems.

Researchers Carrera and Zúñiga from UTE University offer a comprehensive review of the role of cytochrome P450 enzymes in the bioactivation of the chemotherapeutic agent cyclophosphamide, with a focus on improving the efficacy of gene therapies for cancer. Their work illustrates how fundamental science can lay the groundwork for high-impact therapeutic advances.

In the field of psychology and artificial intelligence, Velasco and Herrera present a study that combines the analysis of burnout syndrome among educators with models based on neural networks and multivariate techniques. Conducted at the Polytechnic State University of Carchi (UPEC), their approach not only validates measurement instruments but also opens new pathways for the early detection of this occupational issue.

From a business perspective, Condori and colleagues at the National University of San Marcos in Lima, Peru, in collaboration with the Technical University of the North (UTN) in Ecuador, examine the relationship between strategic processes and competitiveness in the consulting sector. Using a quantitative approach and advanced statistical tools, they demonstrate how strategic planning can be a key to organizational success.

The small and medium-sized enterprises (SMEs) sector is also represented in this issue. Yepez and her collaborators at UTN explore associativity among SMEs in Imbabura, highlighting the challenges and opportunities for strengthening their position in national and international markets.

In another UTN study, Negrete and colleagues propose a strategic methodology for fair trade organizations in Ecuador, offering a practical framework that enhances the management of small producer associations through contextually adapted strategies.

In the healthcare field, Daquilema and Herrera from UPEC present an analysis of chronic malnutrition detection in children under five. By leveraging classifiers based on neural networks and artificial intelligence, their research sets new standards for early identification of this issue, with significant implications for public health.

Aguirre and Umaquinga introduce a technological innovation applied to public services. Developed collaboratively between UPEC and UTN, their web application, aligned with ISO/IEC 25010 standards, aims to optimize payment processes and service quality for specific communities.

Ignacio Benavides and colleagues from UTN and the National Polytechnic School in Quito, Ecuador, examine the impact of different oil viscosities on engine wear at various altitudes. This work makes significant contributions to the fields of tribology and engine maintenance in unique geographical contexts, such as high-altitude cities.

In the sustainability domain, Argüello and his team from the State University of Guayaquil investigate the integration of clean technologies into industrial processes. Their findings reveal not only environmental benefits but also economic and reputational improvements for companies, emphasizing the importance of sustainable practices.

Finally, Juan P. Vásquez and collaborators from UTN and the Instituto Tecnológico San Antonio address the development of a modular platform for teaching microcontrollers and embedded systems. Their innovative design, which combines open-source hardware and didactic methodologies, has proven to enhance practical learning and reduce costs for students and universities.

Together, these works reflect the wealth and diversity of ideas that seek to transform both theory and practice in key areas of science and engineering. This issue of IDEAS stands as a testament to our authors' commitment to advancing knowledge and innovation.

PhD. Daisy Imbaquingo
Editor in Chief

PhD. Fernando Ramírez
General Editor

Índice

Bioactivación del quimioterapéutico ciclofosfamida mediada por citocromos P450 con fines de uso en terapia génica de cáncer	9
Factores de riesgo asociados al síndrome de burnout en docentes de la provincia del Carchi	26
The strategic process and competitiveness of a consulting company in 2022, case: JC Ingeniería y Consultoría S.A.C.	46
Estudio de la asociatividad en las MIPYMES de la provincia de Imbabura-Ecuador, caso de estudio industrias manufactureras	56
Metodología para elaborar un plan estratégico de Organizaciones de Comercio Justo del Ecuador. Caso de estudio FEPP CAMARI.	67
Detección de desnutrición crónica en niños menores a cinco años aplicando técnicas multivariantes.	76
Innovación en servicios públicos: Aplicación web para la recaudación ciudadana con enfoque ISO/IEC 25010	101
Análisis tribológico de un motor MEP en las ciudades de Quito y Santo Domingo con diferentes grados de viscosidad de aceite	124
Implementación de tecnologías limpias como estrategia para mejorar la sostenibilidad ambiental en plantas industriales	138
Diseño e implementación de una plataforma modular portable para la enseñanza de microcontroladores.	154

VOL. 7 Nº1 - 2025

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Bioactivación del quimioterapéutico ciclofosfamida mediada por citocromos P450 con fines de uso en terapia génica de cáncer

Bioactivation of the chemotherapeutic cyclophosphamide mediated by cytochrome P450 for use in cancer gene therapy

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1115

Saskya E. Carrera-Pacheco, Johana Zúñiga-Miranda
Centro de Investigación Biomédica (CENBIO), Facultad de Ciencias de la Salud Eugenio Espejo, Universidad UTE, C.P. 170527, Quito, Ecuador
saskyacarrera@gmail.com

Fecha de envío, mayo 22/2024 - Fecha de aceptación, agosto 6/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: Esta revisión examina el papel de las enzimas del citocromo P450 en la bioactivación del agente quimioterapéutico ciclofosfamida (CPA) para uso en la terapia génica del cáncer. El estudio explora enzimas específicas del citocromo P450, como CYP2B6, CYP2C9 y CYP3A4, encargadas de metabolizar la CPA en su forma activa, destacando su potencial en la terapia del gen suicida o GDEPT. La revisión también analiza las modificaciones genéticas realizadas para mejorar la eficiencia catalítica de estas enzimas y aborda los desafíos y las direcciones futuras de la integración de GDEPT con otras terapias contra el cáncer para mejorar la especificidad y eficacia del tratamiento.

Palabras Clave: GDEPT, Ciclofosfamida, Terapia Génica, Citocromos P450, Quimioterapia, Bioactivación, Modificación Genética.

Abstract: This review examines the role of cytochrome P450 enzymes in the bioactivation of the chemotherapeutic agent cyclophosphamide (CPA) for use in cancer gene therapy. The study explores specific cytochrome P450 enzymes, such as CYP2B6, CYP2C9, and CYP3A4, responsible for metabolizing CPA into its active form, highlighting its potential in suicide gene therapy or GDEPT. The review also discusses genetic modifications made to improve the catalytic efficiency of these enzymes and addresses the challenges and future directions of integrating GDEPT with other cancer therapies to improve treatment specificity and efficacy.

Keywords: GDEPT, Cyclophosphamide, Gene Therapy, Cytochromes P450, Chemotherapy, Bioactivation, Genetic Modification.

Autor de correspondencia:
Saskya Carrera Pacheco, saskyacarrera@gmail.com

CC BY NC ND

Introducción

El cáncer es uno de los problemas de salud más relevantes a nivel mundial y afecta a millones de personas de todas las edades y géneros. El cáncer se da como el resultado de interacciones entre factores genéticos propios y agentes externos, lo que causa alteraciones anormales en las células pudiendo llegar a la formación de tumores con el paso del tiempo [1]. A medida que la población global incrementa su expectativa de vida, también incrementa la incidencia de cáncer, lo que conlleva a un mayor reporte de muertes por esta causa al año. En el 2020, cerca de 10 millones de muertes fueron causadas por el cáncer a escala global, y se espera que llegue a los 16 millones para el 2040 [2]. Este problema también acarrea una gran afectación económica, por ejemplo, el gasto global en oncología incluyendo cuidados fue estimado en 206 billones de dólares americanos para el 2022; esto equivalió a un incremento de 147 billones de dólares en tan sólo diez años [2].

En consecuencia, es importante, a parte de la detección temprana, el desarrollo de terapias eficientes y dirigidas a combatir dicha enfermedad incluso en estadíos tardíos y con costos accesibles, para ofrecer una oportunidad de recuperación a esta gran parte de la población. Sin embargo, cabe recalcar que independientemente del estadío del cáncer, los tratamientos son sumamente invasivos y afectan significativamente la calidad de vida de las personas afectadas. Todas estas variables deben considerarse en el desarrollo de una nueva alternativa de tratamiento.

Las formas más comunes de tratamiento en el caso de cáncer son 1) cirugía, 2) radioterapia, 3) terapia sistémica, siendo la cirugía la más invasiva mientras que las otras acarrean efectos secundarios no deseados. Usualmente varios de estos tratamientos son combinados para incrementar la eficiencia anticáncer o prevenir la reaparición del tumor, lo que puede potenciar los daños colaterales [3]. En el caso de la cirugía esta es una opción en estadíos tempranos del cáncer, cuando este aún no se ha diseminado. Por otro lado, la radioterapia, aunque ha avanzado mucho en los últimos años, causa problemas superficiales o inflamación en la zona donde se aplicó la radiación. En el caso de la terapia sistémica, esta abarca la terapia hormonal, la quimioterapia, la inmunoterapia y la terapia dirigida [4]. Todas estas tienen en común la administración de un medicamento con efecto terapéutico, y sus efectos secundarios varían considerablemente dependiendo del medicamento y el paciente [3]. Algo que considerar, es que uno de los agentes quimioterapéuticos más empleados en cáncer de mama, endometrio, varios linfomas y leucemia, es la ciclofosfamida (CPA), lo cual la convierte en un blanco importante para terapia génica del cáncer [5], [6], [7].

Los avances en la terapia génica del cáncer han revolucionado el panorama del tratamiento del cáncer [8], [9]. Un enfoque prometedor de la terapia génica contra el cáncer consiste en introducir genes que codifican enzimas metabolizadoras de profármacos contra el cáncer, como las enzimas del citocromo P450 (CYP), que ayudan a la eliminación de las células cancerosas [10], [11]. Este enfoque se denomina terapia del gen suicida o GDEPT por sus siglas en inglés (Gene-Directed Enzyme Prodrug Therapy) [12]. Cabe recalcar que, los citocromos P450 humanos, principalmente CYP2B6, CYP2C9 y CYP3A4, son responsables de la activación metabólica del profármaco CPA a su forma quimioterapéutica. Existen un número importante de sistemas GDEPT probados *in vivo* e *in vitro*, además varios de estos han llegado a etapas de ensayos preclínicos y clínicos lo cual resalta el avance de esta tecnología en los últimos años y su potencial a futuro.

En esta revisión abordaremos como el uso de enzimas del citocromo P450 específicas han sido empleadas para la activación del quimioterapéutico ciclofosfamida y las mejoras genéticas realizadas para potenciar el uso de esas enzimas en terapia génica del cáncer.

Finalmente, las limitaciones y perspectivas futuras serán también analizadas.

Mecanismos de Acción de la Ciclofosfamida

La ciclofosfamida como un agente alquilante de ADN y su uso en el tratamiento contra el cáncer

La ciclofosfamida (CPA) y su isómero estructural, la ifosfamida (IFA), son profármacos quimioterapéuticos, usados también como agentes inmunosupresores, que pertenece a la familia de las oxazafosforinas [13]. Son conocidos por su capacidad como agentes alquilantes del ADN. Actúan principalmente a través de su metabolito citotóxico, la mostaza de fosforamida, que se forma cuando la CPA o IFA son metabolizadas en el hígado por enzimas CYP [14]. Este metabolito interacciona con el ADN al formar enlaces covalentes con los grupos alquilo en las guaninas de las cadenas de ADN, lo que conduce a la formación de puentes entre las cadenas de ADN y, en última instancia, a la ruptura de la doble hélice del ADN. Esta acción interfiere con la replicación y la transcripción del ADN, lo que interrumpe el funcionamiento normal de las células cancerosas [15]. Dado su amplio uso y eficacia en el tratamiento de diversos cánceres, incluidos el de mama, endometrio y ciertos linfomas y leucemias, la ciclofosfamida es una piedra angular en la quimioterapia [13]. Sin embargo, dichos profármacos poseen un bajo índice terapéutico, es decir, las dosis terapéuticas pueden ocasionar toxicidad lo que puede provocar efectos secundarios significativos, como leucopenia, náusea y alopecia, y toxicidades en órganos específicos como los riñones y la vejiga, debido a su impacto en las células de división rápida no solo en el tumor, sino también en células del cuerpo [14], [16]. Además, el uso continuado de ciclofosfamida puede llevar al desarrollo de resistencia a la terapia, lo que complica aún más su uso a largo plazo en la terapia anticáncer [17]. Por lo tanto, es crucial mejorar y optimizar la activación de estos profármacos mediante enzimas CYP. Este enfoque podría permitir una reducción en las dosis administradas y, consecuentemente, disminuir los efectos secundarios adversos.

Relación entre la bioactivación y la eficacia terapéutica

La relación entre la bioactivación de la CPA y su eficacia terapéutica es crucial para el tratamiento del cáncer. Es indispensable que la CPA o IFA sean convertidas a su compuesto terapéutico mostaza de fosforamida [14]. Por tanto, la eficacia terapéutica de la ciclofosfamida depende significativamente de la eficiencia con la que estas enzimas catalizan su conversión. Factores genéticos que afectan la expresión o la actividad de estas enzimas pueden alterar los niveles de bioactivación, influenciando así la eficacia y seguridad del tratamiento. Por ejemplo, variaciones en los genes que codifican para las enzimas P450 pueden resultar en diferencias en la tasa de bioactivación entre pacientes, afectando tanto la efectividad del tratamiento como el perfil de toxicidad (ver mas adelante la sección: Los citocromos P450 y su papel en el metabolismo de fármacos) [19]. Además, esta relación destaca la importancia de ajustar las dosis de ciclofosfamida y monitorear cuidadosamente los efectos terapéuticos y adversos para optimizar los resultados en los pacientes tratados.

Función de los citocromos P450 en la bioactivación de la ciclofosfamida

Los citocromos P450 y su papel en el metabolismo de fármacos

Las enzimas CYP son cruciales para estudiar las interacciones entre fármacos debido a su promiscuidad de sustratos. Estas desempeñan un papel importante en la primera fase del metabolismo de los fármacos, donde participan en el 96% de las reacciones [23]. Los citocromos P450 de mamíferos son principalmente expresados en el hígado y en niveles bajos en otros tejidos o tumores [20]. Catalizan la incorporación de un átomo de oxígeno molecular en un sustrato, mientras que el otro es reducido a una molécula de agua (ver Fig. 1). Estas pueden catalizar una gran variedad de reacciones de oxidación, incluyendo hidroxilaciones, epoxidaciones, oxidaciones de heteroátomos, dealquilaciones de heteroátomos, transferencia de grupos oxidativos, corte de ésteres y deshidrogenaciones [14].

Además, los canales de acceso al ligando en estas enzimas pueden influir en la selectividad del sustrato. Ciertos residuos dentro de estos canales determinan la afinidad de las enzimas por tipos específicos de moléculas, lo que les permite catalizar diversas reacciones [21], [22].

También intervienen en la bioactivación de los profármacos, los cuales necesitan ser transformados a su forma activa para ejercer su efecto terapéutico [23]. La biotransformación de los fármacos en humanos está mediada principalmente por las familias CYP 1 a 3, que son responsables de más del 80% de las reacciones metabólicas [22].

Las enzimas CYP tienen un grupo prostético compuesto de protoporfirina IX de hierro que se une, en la mayoría de casos, en su sitio activo. El ciclo catalítico de las enzimas CYP requiere de múltiples componentes para la transferencia de electrones. Estos donadores de electrones pueden ser NADPH citocromo P450 reductasa (CPR) o el citocromo b5 [24]. Por ejemplo, los electrones son transferidos desde el NADPH al P450 mediante los cofactores mononucleótido de flavina (FMN) y dinucleótido de flavina adenina (FAD) del CPR (ver Fig. 1) [25].

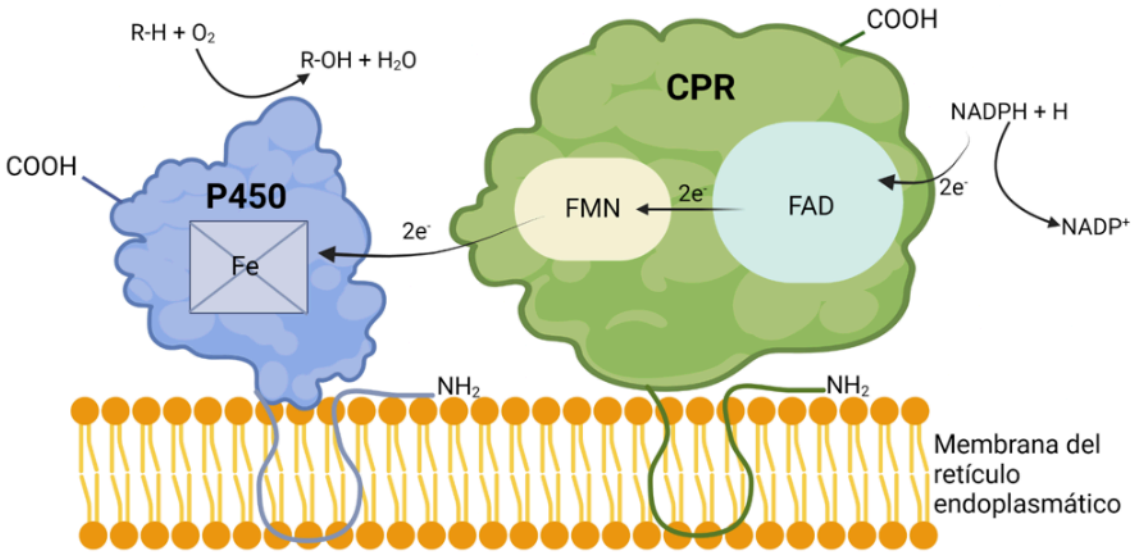


Fig. 1. Ilustración de la donación de electrones provenientes del NADPH por parte de la reductasa del citocromo P450 (CPR) al citocromo P450. Diseñado con Biorender.com.

Algo que resaltar es que las enzimas CYP cumplen un papel importante en el metabolismo de carcinógenos (1A1, 1A2, 1B1, 2A6, 2A13, 2E1 y 3A4) y en la activación de antineoplásicos [26]. En consecuencia, estas enzimas son usualmente usadas en terapias de gen suicida (GDEPT) contra el cáncer. Algunos de los antineoplásicos metabolizados por enzimas CYP se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Profármacos activados por citocromos P450. Adaptado de [25,27].

Profármaco	Fármaco anticáncer	Farmacología
4-ipomeanol	Epóxido de furán	Alquilación del ADN
Ciclofosfamida	Mostaza de fosforamida	Alquilación del ADN
Dacarbacina	HHMTIC	Alquilación del ADN
Doxorubicina	Doxorubicinol	Agente intercalante
Ftorafur (Tegafur)	5-FU	Inhibidor de la timidilato sintasa/ incorporado en el ADN y ARN
Ifosfamida	Mostaza de isofosfamida	Alquilación del ADN
Irinotecan	SN-38	Inhibidor de la topoisomerasa I
Tamoxifeno	Endoxifeno	Antiestrogénico
Tiotepa	No definido	Alquilación del ADN
Trofosfamida	Mostaza de trofosfamida	Alquilación del ADN

La bioactivación mediada por enzimas puede tener diversos resultados, como la transformación de un profármaco en su forma activa, cambios en los niveles de actividad y potencial toxicidad [28]. Además, la presencia de polimorfismos genéticos pueden dar lugar a diferencias en la actividad enzimática y en la afinidad por el mismo sustrato, por lo cual es necesario considerarlos para asegurar la efectividad de las terapias [29]. Las interacciones de los polimorfismos de la enzima CYP y varios fármacos han sido documentadas en la página del Consorcio de variación farmacogénica (https://www.pharmvar.org/genes).

Mecanismos de activación de la ciclofosfamida por los citocromos P450 y sus constantes cinéticas

La activación de la CPA o IFA a su compuesto terapéutico requiere de un paso de 4-hidroxilación mediado por enzimas CYP [18]. Se conocen varios tipos de P450 humanos (hepáticos) involucrados en la reacción de 4-hidroxilación de estos agentes, como el CYP2B6 (45% de la bioactivación total de la CPA), CYP3A4 (25%), CYP2C9 (12%) y otros (18%) [30], [31]. Otras enzimas CYP no humanas también han sido identificadas como activadoras de la CPA (Tabla 2). En esta reacción, tanto CPA como IFA pueden ser hidroxilados y producir mostaza de fosforamida (agente terapéutico) y acroleína como subproducto. Sin embargo, CPA e IFA presentan una ruta alterna, no ideal, de producción de dicloroetil-CPA/IFA (no terapéutico) y cloroacetaldehído (ver Fig. 2); siendo este último neurotóxico y nefrotóxico [32].

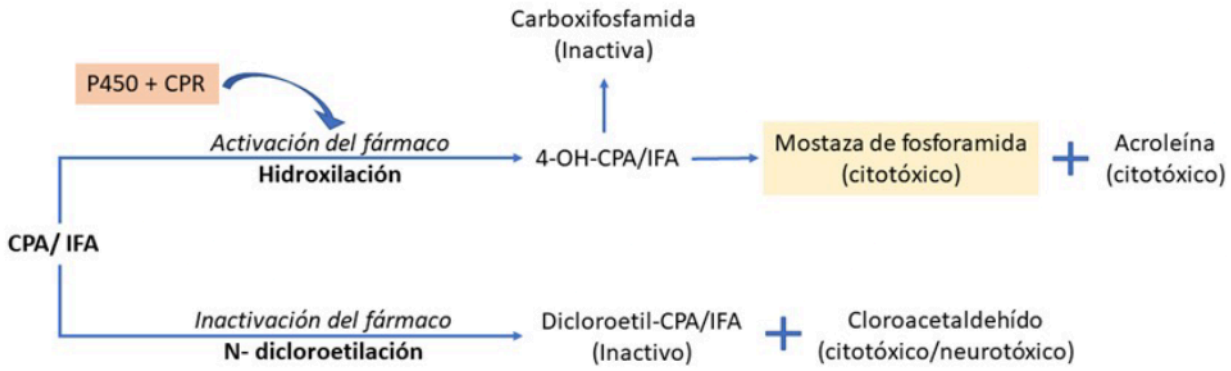


Fig. 2. Ruta de activación de la ciclofosfamida (CPA) y la ifosfamida (IFA) mediante citocromos P450 y su reductasa (CPR). El cuadro en amarillo muestra la producción de la mostaza de fosforamida, agente citotóxico de efecto quimioterapéutico.

Tabla 2. Lista de enzimas CYP involucradas en la activación de la CPA por la ruta de 4-hidroxilación y sus valores cinéticos.

Enzima CYP (Silvestre)	Organismo	Km (mM)	Vmax (mol/ min/mol)	Vmax/Km (mol/min/ mol P450/ mM)	Ref.
2B1	Rata	1.45	35.9	24.9	[33]
2B4	Conejo	5.28	13.5	2.6	[33]
2B5	Conejo	4.17	2.8	0.7	[33]
2B11	Canino	0.16	28.2	174.7	[33], [34]
2B6	Humano	4.9	62.5	12.8	[35]
		1.89	100.4	53.1	[31]
2C8	Humano	2.4	5	2.1	[36]
2C9 (Ile359)	Humano	0.5	1.5	3	
2C9*	Humano	2.9	27.8	9.6	[37]
2C19*	Humano	5.85	32.7	5.6	
2C19	Humano	0.3	0.25	0.8	[36]
2C18 (Thr385)	Humano	2.8	33	11.8	
3A4	Humano	1.46	25.5	17.5	[31]
3A5	Humano	-	-	-	[38]
1A1	Humano	-	-	-	[30]
1A2	Humano	-	-	-	[30], [39]
2A6	Humano	-	-	-	[30]
2E1	Humano	-	-	-	[30]
2J2	Humano	3.7-6.6	2.9–10.3	0.5-2.3	[40]

**2C9.1 y 2C19.1 variantes alélicas*

Pese a que los citocromos humanos CYP2B6, CYP3A4 y CYP2C9 catalizan está reacción en mayor proporción, el citocromo P450 de rata CYP2B1 y el de perro CYP2B11 presentan actividad de 4-hidroxilación de la CPA superior a las otras formas (ver Tabla 2, Km) [33], [41]. Los valores de Km (afinidad de los P450 por CPA) son menores a 1.5 mM para CYP2B1 y CYP2B11 y entre 1.89 a 4.9 mM para CYP2B6 (ver Tabla 2) [31], [41]. Con los valores actuales de Km (>0.16-5 mM) altas dosis del profármaco son requeridas para una activación eficiente del agente anticancerígeno, y por consiguiente limitan la utilidad del GDEPT basado en enzimas CYP. Es indispensable, entonces, trabajar en mejoras sobre la enzima P450 para favorecer la activación de la CPA. Es importante mejorar las características de la enzima como su eficiencia catalítica (Vmax/Km) hacia la 4-hidroxilación de la CPA y reducir su Km (<0.16 mM) para así prevenir la N-dicloroetilación (ver Fig. 2) [33].

Por años las alternativas para mejorar las características de la enzima se basaron en el uso del diseño racional partiendo de estructuras obtenidas por rayos-x y sustituciones de residuos presentes en el sitio activo de la enzima [42] o el empleo de P450 de organismos alternativos. Un ejemplo ha sido el uso del CYP2B11 canino, el cual mejoró el Km hasta 30 veces en comparación con el del CYP2B6 (humano) y 9 veces en comparación del CYP2B1 (rata) [13] (ver Tabla 2). Sin embargo, en la actualidad, estas enzimas pueden beneficiarse ampliamente de nuevas estrategias para mejorar sus valores cinéticos.

Potencial de uso de citocromos P450 y CPA en terapia génica de cáncer

En general, los agentes quimioterapéuticos como la CPA han incrementado significativamente la expectativa de vida en pacientes que padecen de diferentes tipos de cáncer. Sin embargo, dado que su forma de acción es generar un efecto citotóxico en las células de división rápida para combatir el tumor, también causan una variedad de efectos secundarios debido a su efecto tóxico sobre otras células del cuerpo (no tumorales) de división rápida [14], [16]. En algunos pacientes estos efectos secundarios son insostenibles por lo que requieren una reducción en la dosis, cambio a un régimen menos efectivo de quimioterapia o incluso terminación del tratamiento, lo que en últimas instancias reduce su expectativa de vida e incrementan la morbilidad [43].

Los mayores problemas del uso de agentes quimioterapéuticos son: i) daño a las células y órganos normales, ii) su estrecho índice terapéutico, iii) su pobre selectividad por células neoplásicas (de multiplicación anormal) y iv) desarrollo de multirresistencias después de un periodo prolongado de tratamiento debido a sobreregulación de las bombas de eflujo, incremento en la expresión de glutation S-transferasa e incremento en el reparamiento del ADN [44].

Una estrategia potencial para sobrellevar estas limitaciones es el uso de profármacos en conjunto con terapia génica. El uso del profármaco CPA es beneficioso ya que tiene eficiencia comprobada, es ampliamente utilizado en tratamientos tradicionales de quimioterapia y elimina la necesidad de buscar y probar un nuevo compuesto [33]. En la quimioterapia tradicional, la CPA es convertida a su forma activa y citotóxica en el hígado por enzimas CYP y mediante el torrente sanguíneo esta molécula activa es transportada al tumor, sin embargo, puede también interactuar con células no tumorales provocando efectos no deseados (ver Fig. 3) [14].

Afortunadamente, estos problemas pueden ser solucionados mediante el uso de terapia génica (específicamente GDEPT) basada en enzimas P450, en donde la secuencia codificante para la enzima CYP es introducida mediante un vector o vehículo a la zona del tumor y ahí realiza la activación del profármaco (CPA) para que cumpla su función quimioterapéutica

[33]. Además, esta estrategia permite la eliminación de las células tumorales a dosis más bajas de las que se usarían si el agente es aplicado de forma tradicional [33]. Esto debido al efecto "bystander", el cual permite que células vecinas a las células transfectadas también se vean afectadas por la citotoxina (ver Fig. 3) [13].

En términos generales el uso de GDEPT es atractivo ya que complementa a la quimioterapia clínica actual, además sólo una pequeña parte de células tienen que ser modificadas genéticamente para poder lograr la destrucción del tumor. Esto ya que se toma ventaja del efecto "bystander" en el cual el agente citotóxico es transferido a las células vecinas. Este efecto es crítico para el éxito de GDEPT, por lo cual hay que considerarlo durante el desarrollo de la terapia [45]. Un reciente artículo de Carrera-Pacheco et al. (2024), resalta el uso de las enzimas CYP en terapia génica del cáncer [46].

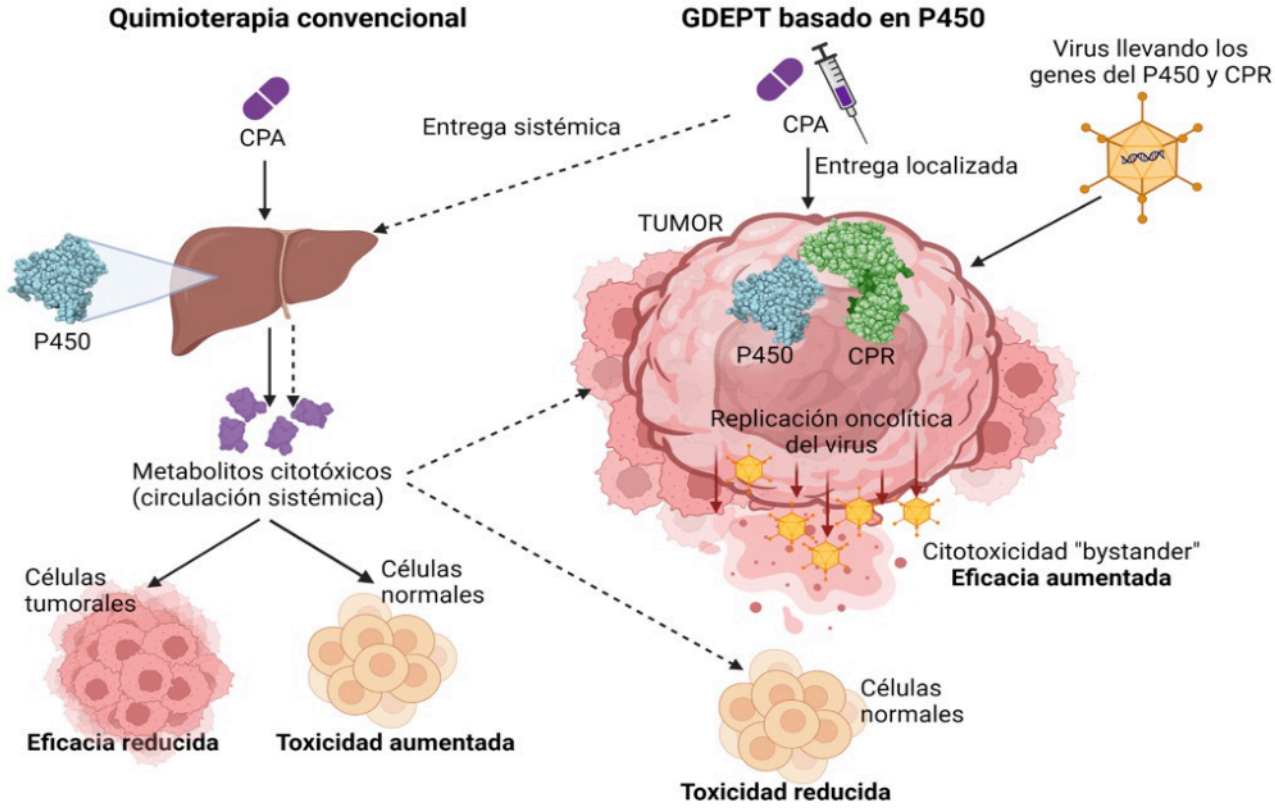


Fig. 3. Comparación entre la quimioterapia convencional y la terapia génica basada en citocromos P450. Diseñado con Biorender.com.

Evidencia *in vitro*, preclínica y clínica

Estudios *in vitro* sobre la bioactivación de la ciclofosfamida mediada por los citocromos P450 y mejoras genéticas realizadas

Tradicionalmente, el diseño racional ha sido empleado para mejorar genéticamente enzimas como los citocromos P450. Sin embargo, en los últimos años, la atención se ha volcado hacia el uso de la evolución dirigida y la reconstrucción ancestral de secuencias (ASR). Estas estrategias han demostrado ser exitosas en la obtención de enzimas altamente eficientes, con mejor expresión, mayor termoestabilidad, robustez y mejores características cinéticas [47]–[49]. Se espera que estas estrategias sean cada vez más utilizadas en el diseño de enzimas CYP para terapia génica. A continuación se describen estudios sobre la bioactivación de la ciclofosfamida mediada por enzimas CYP, silvestres (ver Tabla 2) y mutantes.

CYP2B1:

Comparaciones entre la enzima CYP2B1 de rata con la CYP2B4 o 2B5 de conejo demostraron una eficiencia catalítica de 10 a 35 veces superior para catalizar la hidroxilación de la CPA en el caso de la CYP2B1. Posteriormente, mediante la sustitución de un residuo en CYP2B1 (I114V), se mejoró aún más la eficacia de la hidroxilación de la CPA (Km 0.4 mM) [33].

En otro estudio se creó un mutante doble con su extremo amino-terminal modificado (2B1dH L209A/S334P). Este mutante demostró una mayor eficiencia catalítica en la activación de la CPA. Estas mejoras se tradujeron en una reducción de 6 veces en el valor Km (0.2 mM) para la 4-hidroxilación del CPA en comparación con el CYP2B1 original [50].

CYP2B11:

El CYP2B11 canino demostró una actividad de 4-hidroxilación del CPA de 9 veces mayor (Km 0.16 mM) que el CYP2B1 [33]. En otro estudio, se utilizó el CYP2B11 en ratones con gliosarcomas, en los que se inyectó CPA directamente en el tumor y se ralentizó su liberación en el torrente sanguíneo mediante un biopolímero. El resultado fue un aumento total de 3,9 veces en la actividad intratumoral y antitumoral [51]. Posteriormente, el CYP2B11 fue rediseñado para mejorar el metabolismo de la CPA mediante la introducción de seis mutaciones en el extremo amino-terminal (P450 2B11dH), mejorando la eficiencia catalítica para la CPA (Km 0.06 mM) [34].

CYP2B6:

CYP2B6 ha demostrado una actividad de 4-hidroxilación del CPA de entre 1.89-4.9 mM [31], [35], [35]. Varios estudios y mejoras fueron realizados con CYP2B6, por ejemplo, una proteína de fusión CYP2B6-NADPH citocromo P450 reductasa (RED) demostró ser eficaz para potenciar la citotoxicidad del CPA en líneas celulares tumorales de pulmón con bajos niveles de RED endógena tras la infección y durante el tratamiento [52]. Otra enzima obtenida a partir de en un mutante triple de CYP2B6 y RED (CYP2B6TM-RED, Km 1.05 mM) fue introducida en líneas celulares pulmonares humanas (A549) y murinas (TC1) resistentes y las transformó en líneas celulares susceptibles a la CPA [53].

En otro estudio, se sustituyeron residuos del CYP2B6 por aminoácidos específicos que se encuentran en las secuencias de reconocimiento de sustrato del CYP2B11. Como resultado, un mutante doble (I114V/ V477W) mostró una reducción de 4.5 veces en el Km (1.1 mM) y convirtió una línea celular humana de cáncer de cabeza y cuello resistente en una línea celular sensible al CPA [35]. En una investigación sobre el glioblastoma multiforme (GBM), un tumor cerebral muy agresivo, se exploró el uso de la terapia génica CYP2B6 en combinación con células madre/progenitoras neurales. Los resultados revelaron una reducción significativa del crecimiento tumoral tras la administración de CPA [54]. En 2016, Lautier y sus colegas crearon quince quimeras entre CYP2B6 y CYP2B11 para mejorar la afinidad por el CPA. Entre ellas, las quimeras K y O mostraron los valores Km más bajos (Km de 0.07 y 0.02 mM, respectivamente), proporcionando una mejor comprensión de los elementos estructurales que controlan la especificidad del CPA en estas enzimas [55].

CYP2C8, 2C9, 2C18 y 2C19:

Tanto CYP2C9 como CYP2C19 mostraron bioactivación de la CPA *in vitro*, sin embargo las variantes polimórficas CYP2C9.2 y CYP2C9.3 presentaron una actividad de 4-hidroxilación tres veces menor que CYP2C9.1. Además, CYP2C9 no parece contribuir sustancialmente a la 4-hidroxilación total de CPA y CYP2C19 contribuye en menor medida [37]. En otro estudio 2C19 mostró el Km más bajo (0.3 mM), seguido de 2C9, 2C18 y 2C8 (Tabla 2) para el metabolismo de la CPA [36]. No se tiene reportes de mejoras sobre estas enzimas CYP para uso en terapia del cáncer.

CYP3A4:

CYP3A4 mostró un Km 3.4 veces menor que el CYP2B6 para la 4-hidroxilación de la CPA. Sin embargo, presenta una mayor actividad de N-dicloroetilación hacia la CPA y no es un catalizador enzimático importante de la 4-hidroxilación de la CPA como lo es CYP2B6 [31]. No se tiene reportes de mejoras sobre estas enzimas CYP para uso en terapia del cáncer.

CYP2J2:

Se demostró que CYP2J2 es igual de importante que el CYP2B6 en el metabolismo de la CPA. Su Km (3.7-6.6 mM) es relativamente similar al del CYP2B6 (Km 1.89-4.9 mM) [40]. No se tiene reportes de mejoras sobre estas enzimas CYP para uso en terapia del cáncer.

En general muchos estudios se han enfocado en la investigación del efecto de los polimorfismos presentes en las enzimas CYP sobre la activación de la CPA, los cuales son importantes al momento de desarrollar la GDEPT [56], [57]. Sin embargo, en base a nuestra búsqueda bibliográfica, no se han realizado modificaciones genéticas sobre las isoformas CYP1A1, 1A2, 2C8, 2C9, 2C18, 2C19, 3A4. 3A5, 2E1 y 2J2.

Resultados de ensayos clínicos que respaldan el uso de citocromos P450 en la terapia con ciclofosfamida

Los estudios preclínicos y clínicos han explorado el potencial de la terapia del gen suicida (GDEPT), que involucra enzimas del citocromo P450. Un estudio preclínico realizado por McErlane et al. (2005) demostró la eficacia de la enzima CYP2B6 combinada con radiación y los profármacos banoxantrona (AQ4N) y CPA, para inducir daño en el ADN de células RIF-1 y reducir el tamaño del tumor en un modelo murino. El estudio destacó la funcionalidad de la enzima tanto en condiciones ricas en oxígeno como en condiciones hipóxicas [58]. En ensayos clínicos, un estudio de fase I-II de Löhr et al. (2003) incluyeron a 14 pacientes con adenocarcinoma de páncreas inoperable los cuales recibieron células CYP2B1 microencapsuladas de forma intraarterial seguidas de ifosfamida. El tratamiento no mostró toxicidad significativa, con enfermedad estable en la mayoría de los pacientes y respuesta parcial en dos de ellos [59]. A pesar de estos desafíos, el potencial para integrar GDEPT con otras terapias contra el cáncer sigue siendo prometedor y justifica más investigación y desarrollo.

Desafíos y futuras direcciones

La terapia del gen suicida (GDEPT) enfrenta desafíos importantes, como superar las barreras físicas e inmunitarias para la entrega eficaz de genes a una cantidad suficiente de células tumorales. Esto es crucial para una activación exitosa del profármaco, ya que la administración o su expresión ineficaz puede provocar una actividad antitumoral reducida o una mayor resistencia al tratamiento [22]. Otro desafío en GDEPT es debido a la administración directa de vectores al sitio del tumor, si bien reduce la exposición sistémica, conlleva riesgos como sangrado, posible siembra metastásica y distribución desigual dentro del tumor, lo que limita la eficacia general de la terapia [60]. Dicha administración también está restringida a tumores accesibles, con desafíos para llegar a tumores profundamente arraigados o inoperables [60].

Además, la eficacia de GDEPT disminuye por la presencia de células tumorales que no se dividen y que son menos susceptibles a los sistemas de enzimas y profármacos diseñados principalmente para células que se dividen rápidamente. Esto podría contribuir a la resistencia y la recurrencia del cáncer [61]. La especificidad del sistema enzima-profármaco es otro obstáculo; Idealmente, la enzima expresada debería activar el profármaco solo en el sitio del tumor para evitar daños a los tejidos sanos.

El desarrollo de resistencia, la posible inmunogenicidad de los vectores o enzimas y las controversias éticas sobre la ingeniería genética en humanos son desafíos adicionales que requieren investigación continua para optimizar las estrategias de GDEPT, mejorar la especificidad y la seguridad, y abordar los requisitos reglamentarios para la aplicación clínica [17], [62].

Las direcciones futuras en la investigación de GDEPT se centran en desarrollar tratamientos específicos y eficientes utilizando enzimas diseñadas y sistemas de administración avanzados [63]. Se debe también integrar el GDEPT con otras terapias y aprovechar la inteligencia artificial para diseñar terapias contra el cáncer personalizadas y efectivas.

Conclusiones

La investigación sobre el uso de enzimas del citocromo P450 en la bioactivación de la ciclofosfamida representa un avance significativo en el tratamiento del cáncer. Estos hallazgos clave demuestran que las enzimas CYP pueden activar eficientemente la CPA en su forma terapéutica, ofreciendo una manera más dirigida y menos tóxica de combatir las células cancerosas. Esta estrategia, al minimizar los efectos secundarios y aumentar la precisión del tratamiento, tiene el potencial de transformar las prácticas clínicas actuales, ofreciendo opciones de tratamiento más seguras y eficaces para los pacientes.

Desde una perspectiva clínica, la capacidad de las enzimas CYP para activar específicamente los profármacos en el entorno tumoral sugiere un notable potencial para mejorar los resultados de los pacientes, disminuyendo la toxicidad sistémica asociada con la quimioterapia convencional. Este enfoque podría ser especialmente valioso en pacientes con cánceres avanzados o en aquellos que no responden bien a las terapias estándar, facilitando tratamientos más personalizados y efectivos.

Para aprovechar completamente estas ventajas, es necesario enfocar las futuras investigaciones en optimizar los vectores de entrega de genes para los citocromos P450, asegurando una expresión eficiente y específica en las células tumorales. Además, es crucial continuar los estudios sobre la ingeniería genética de las enzimas CYP para obtener variantes más eficientes que puedan ser empleadas en GDEPT. Es importante también, el estudio de la interacción entre diferentes isoformas de P450 y varios tipos de cáncer para identificar los enfoques más eficaces. Finalmente, es esencial la realización de ensayos clínicos más amplios y detallados que evalúen la eficacia y seguridad de estos tratamientos en diversas poblaciones de pacientes, lo que ayudará a estandarizar estos métodos en la práctica clínica y a desarrollar nuevas modalidades terapéuticas basadas en la bioactivación enzimática.

Referencias

[1]. Cancer.Net, "Breast Cancer," Cancer.Net, 2022. [Online]. Available: https://www.cancer.net/cancer-types/breast-cancer. [Accessed: 08-Jun-2022]

[2]. Statista, "Cancer worldwide - Statistics & Facts," Statista, 2021. [Online]. Available: https://www.statista.com/topics/8292/cancer-worldwide/. [Accessed: 02-Jun-2022]

[3]. American society of clinical oncology, "American society of clinical oncology," ASCO, 2022. [Online]. Available: https://beta.asco.org/search?q=cancer. [Accessed: 09-Jun-2022]

[4]. Brestcancer.org, "About breast cancer," Brestcancer.org, 2022. [Online]. Available: https://www.breastcancer.org/about-breast-cancer. [Accessed: 08-Jun-2022]

[5]. A. Arrospide, M. Soto-Gordoa, T. Acaiturri, G. López-Vivanco, L. C. Abecia, and J. Mar, "[Cost of breast cancer treatment by clinical stage in the Basque Country, Spain].," Rev. Esp. Salud Publica, vol. 89, no. 1, pp. 93–97, Feb. 2015, doi: 10.4321/S1135-57272015000100010.

[6]. B. Balkhi et al., "Drug utilization and expenditure of anticancer drugs for breast cancer.," Saudi Pharm. J., vol. 28, no. 6, pp. 669–674, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.jsps.2020.04.007.

[7]. Y. Jounaidi and D. J. Waxman, "Use of replication-conditional adenovirus as a helper system to enhance delivery of P450 prodrug-activation genes for cancer therapy.," Cancer Res., vol. 64, no. 1, pp. 292–303, Jan. 2004, doi: 10.1158/0008-5472.can-03-1798.

[8]. S. K. Libutti, "Recording 25 years of progress in Cancer Gene Therapy.," Cancer Gene Ther., vol. 26, no. 11–12, pp. 345–346, Nov. 2019, doi: 10.1038/s41417-019-0121-y.

[9]. B. Cesur-Ergün and D. Demir-Dora, "Gene therapy in cancer.," J. Gene Med., vol. 25, no. 11, p. e3550, Nov. 2023, doi: 10.1002/jgm.3550.

[10]. D. J. Waxman, L. Chen, J. E. Hecht, and Y. Jounaidi, "Cytochrome P450-based cancer gene therapy: recent advances and future prospects.," Drug Metab. Rev., vol. 31, no. 2, pp. 503–522, May 1999, doi: 10.1081/dmr-100101933.

[11]. A. P. Mishra, S. Chandra, R. Tiwari, A. Srivastava, and G. Tiwari, "Therapeutic potential of prodrugs towards targeted drug delivery.," Open Med. Chem. J., vol. 12, pp. 111–123, Oct. 2018, doi: 10.2174/1874104501812010111.

[12]. L. Chen and D. J. Waxman, "Cytochrome P450 gene-directed enzyme prodrug therapy (GDEPT) for cancer.," Curr. Pharm. Des., vol. 8, no. 15, pp. 1405–1416, 2002, doi: 10.2174/1381612023394566.

[13]. Y. Jounaidi, C.-S. Chen, G. J. Veal, and D. J. Waxman, "Enhanced antitumor activity of P450 prodrug-based gene therapy using the low Km cyclophosphamide 4-hydroxylase P450 2B11.," Mol. Cancer Ther., vol. 5, no. 3, pp. 541–555, Mar. 2006, doi: 10.1158/1535-7163.MCT-05-0321.

[14]. P. Roy and D. J. Waxman, "Activation of oxazaphosphorines by cytochrome P450: application to gene-directed enzyme prodrug therapy for cancer.," Toxicol In Vitro, vol. 20, no. 2, pp. 176–186, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.tiv.2005.06.046.

[15]. G. Voelcker, "The mechanism of action of cyclophosphamide and its consequences for the development of a new generation of oxazaphosphorine cytostatics," Sci. Pharm., vol. 88, no. 4, p. 42, Sep. 2020, doi: 10.3390/scipharm88040042.

[16]. L. H. Fraiser, S. Kanekal, and J. P. Kehrer, "Cyclophosphamide toxicity. Characterising and avoiding the problem.," Drugs, vol. 42, no. 5, pp. 781–795, Nov. 1991, doi: 10.2165/00003495-199142050-00005.

[17]. M. C. E. McFadyen, W. T. Melvin, and G. I. Murray, "Cytochrome P 450 enzymes: Novel options for cancer therapeutics," Mol. Cancer Ther., vol. 3, no. 3, pp. 363–371, Mar. 2004, doi: 10.1158/1535-7163.363.3.3.

[18]. H. O. McCarthy et al., "Bioreductive GDEPT using cytochrome P450 3A4 in combination with AQ4N.," Cancer Gene Ther., vol. 10, no. 1, pp. 40–48, Jan. 2003, doi: 10.1038/sj.cgt.7700522.

[19]. B. Mittal, S. Tulsyan, S. Kumar, R. D. Mittal, and G. Agarwal, "Cytochrome P450 in cancer susceptibility and treatment.," Adv. Clin. Chem., vol. 71, pp. 77–139, Jul. 2015, doi: 10.1016/bs.acc.2015.06.003.

[20]. D. R. Nelson et al., "The P450 superfamily: update on new sequences, gene mapping, accession numbers, early trivial names of enzymes, and nomenclature.," DNA Cell Biol., vol. 12, no. 1, pp. 1–51, Feb. 1993, doi: 10.1089/dna.1993.12.1.

[21]. P. Urban, T. Lautier, D. Pompon, and G. Truan, "Ligand access channels in cytochrome P450 enzymes: A review.," Int. J. Mol. Sci., vol. 19, no. 6, May 2018, doi: 10.3390/ijms19061617.

[22]. M. Zhao et al., "Cytochrome P450 enzymes and drug metabolism in humans.," Int. J. Mol. Sci., vol. 22, no. 23, Nov. 2021, doi: 10.3390/ijms222312808.

[23]. S. P. Rendic and F. P. Guengerich, "Human Family 1-4 cytochrome P450 enzymes involved in the metabolic activation of xenobiotic and physiological chemicals: an update.," Arch. Toxicol., vol. 95, no. 2, pp. 395–472, Feb. 2021, doi: 10.1007/s00204-020-02971-4.

[24]. L. Waskell and J.-J. P. Kim, "Electron transfer partners of cytochrome P450," in Cytochrome P450, P. R. Ortiz de Montellano, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 33–68.

[25]. M. Rooseboom, J. N. M. Commandeur, and N. P. E. Vermeulen, "Enzyme-catalyzed activation of anticancer prodrugs.," Pharmacol. Rev., vol. 56, no. 1, pp. 53–102, Mar. 2004, doi: 10.1124/pr.56.1.3.

[26]. F. P. Guengerich, "Cytochrome P450 Enzymes," in Comprehensive Toxicology, Second Edition., vol. 4, C. A. McQueen, Ed. Oxford: Elsevier, 2010, pp. 41–76.

[27]. L. Quiñones S et al., "Papel de las enzimas citocromo p450 en el metabolismo de fármacos antineoplásicos: Situación actual y perspectivas terapéuticas," Rev. méd. Chile, vol. 136, no. 10, Oct. 2008, doi: 10.4067/S0034-98872008001000015.

[28]. F. P. Guengerich, "A history of the roles of cytochrome P450 enzymes in the toxicity of drugs.," Toxicol. Res., vol. 37, no. 1, pp. 1–23, Jan. 2021, doi: 10.1007/s43188-020-00056-z.

[29]. A. Gaedigk et al., "The pharmacogene variation (pharmvar) consortium: incorporation of the human cytochrome P450 (CYP) allele nomenclature database.," Clin. Pharmacol. Ther., vol. 103, no. 3, pp. 399–401, Mar. 2018, doi: 10.1002/cpt.910.

[30]. T. K. Chang, G. F. Weber, C. L. Crespi, and D. J. Waxman, "Differential activation of cyclophosphamide and ifosphamide by cytochromes P-450 2B and 3A in human liver microsomes.," Cancer Res., vol. 53, no. 23, pp. 5629–5637, Dec. 1993.

[31]. Z. Huang, P. Roy, and D. J. Waxman, "Role of human liver microsomal CYP3A4 and CYP2B6 in catalyzing N-dechloroethylation of cyclophosphamide and ifosfamide.," Biochem. Pharmacol., vol. 59, no. 8, pp. 961–972, Apr. 2000, doi: 10.1016/s0006-2952(99)00410-4.

[32]. M. Furlanut and L. Franceschi, "Pharmacology of ifosfamide.," Oncology, vol. 65 Suppl 2, pp. 2–6, 2003, doi: 10.1159/000073350.

[33]. C.-S. Chen, J. T. Lin, K. A. Goss, Y. He, J. R. Halpert, and D. J. Waxman, "Activation of the anticancer prodrugs cyclophosphamide and ifosfamide: identification of cytochrome P450 2B enzymes and site-specific mutants with improved enzyme kinetics.," Mol. Pharmacol., vol. 65, no. 5, pp. 1278–1285, May 2004, doi: 10.1124/mol.65.5.1278.

[34]. L. Sun, C. S. Chen, D. J. Waxman, H. Liu, J. R. Halpert, and S. Kumar, "Re-engineering cytochrome P450 2B11dH for enhanced metabolism of several substrates including the anti-cancer prodrugs cyclophosphamide and ifosfamide.," Arch. Biochem. Biophys., vol. 458, no. 2, pp. 167–174, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.abb.2006.12.021.

[35]. T.-A. Nguyen et al., "Improvement of cyclophosphamide activation by CYP2B6 mutants: from in silico to ex vivo.," Mol. Pharmacol., vol. 73, no. 4, pp. 1122–1133, Apr. 2008, doi: 10.1124/mol.107.042861.

[36]. T. K. H. Chang, L. Yu, J. A. Goldstein, and D. J. Waxman, "Identification of the polymorphically expressed CYP2C19 and the wild-type CYP2C9-ILE359allele as low-Km catalysts of cyclophosphamide and ifosfamide activation," Pharmacogenetics, vol. 7, no. 3, pp. 211–221, Jun. 1997 [Online]. Available: https://journals.lww.com/jpharmacogenetics/abstract/1997/06000/identification_of_the_polymorphically_expressed.6.aspx. [Accessed: 24-Apr-2024]

[37]. L. Griskevicius et al., "Bioactivation of cyclophosphamide: the role of polymorphic CYP2C enzymes.," Eur. J. Clin. Pharmacol., vol. 59, no. 2, pp. 103–109, Jun. 2003, doi: 10.1007/s00228-003-0590-6.

[38]. Z. Desta and D. A. Flockhart, "Pharmacogenetics of drug metabolism," in Clinical and translational science, Elsevier, 2017, pp. 327–345.

[39]. F. Bohnenstengel, U. Hofmann, M. Eichelbaum, and H. K. Kroemer, "Characterization of the cytochrome P450 involved in side-chain oxidation of cyclophosphamide in humans.," Eur. J. Clin. Pharmacol., vol. 51, no. 3–4, pp. 297–301, 1996, doi: 10.1007/s002280050201.

[40]. I. El-Serafi et al., "Cytochrome P450 2J2, a new key enzyme in cyclophosphamide bioactivation and a potential biomarker for hematological malignancies.," Pharmacogenomics J., vol. 15, no. 5, pp. 405–413, Oct. 2015, doi: 10.1038/tpj.2014.82.

[41]. G. F. Weber and D. J. Waxman, "Activation of the anti-cancer drug ifosphamide by rat liver microsomal P450 enzymes.," Biochem. Pharmacol., vol. 45, no. 8, pp. 1685–1694, Apr. 1993, doi: 10.1016/0006-2952(93)90310-s.

[42]. O. Gotoh, "Substrate recognition sites in cytochrome P450 family 2 (CYP2) proteins inferred from comparative analyses of amino acid and coding nucleotide sequences.," J. Biol. Chem., vol. 267, no. 1, pp. 83–90, Jan. 1992, doi: 10.1016/S0021-9258(18)48462-1.

[43]. H. Starobova and I. Vetter, "Pathophysiology of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy.," Front. Mol. Neurosci., vol. 10, p. 174, May 2017, doi: 10.3389/fnmol.2017.00174.

[44]. A. A. Stavrovskaya, "Cellular mechanisms of multidrug resistance of tumor cells.," Biochemistry Mosc, vol. 65, no. 1, pp. 95–106, Jan. 2000.

[45]. D. J. Waxman and P. S. Schwartz, "Harnessing apoptosis for improved anticancer gene therapy.," Cancer Res., vol. 63, no. 24, pp. 8563–8572, Dec. 2003.

[46]. S. E. Carrera-Pacheco, A. Mueller, J. A. Puente-Pineda, J. Zúñiga-Miranda, and L. Guaman, "Designing cytochrome P450 enzymes for use in cancer gene therapy ," Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, May 2024 [Online]. Available: http://doi: 10.3389/fbioe.2024.1405466. [Accessed: 20-May-2024]

[47]. K. L. Harris et al., "Ancestral Sequence Reconstruction of a Cytochrome P450 Family Involved in Chemical Defense Reveals the Functional Evolution of a Promiscuous, Xenobiotic-Metabolizing Enzyme in Vertebrates.," Mol. Biol. Evol., vol. 39, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.1093/molbev/msac116.

[48]. R. E. S. Thomson, S. E. Carrera-Pacheco, and E. M. J. Gillam, "Engineering functional thermostable proteins using ancestral sequence reconstruction.," J. Biol. Chem., vol. 298, no. 10, p. 102435, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jbc.2022.102435.

[49]. Y. Gumulya et al., "Engineering highly functional thermostable proteins using ancestral sequence reconstruction," Nat. Catal., vol. 1, no. 11, pp. 878–888, Oct. 2018, doi: 10.1038/s41929-018-0159-5.

[50]. S. Kumar, C. S. Chen, D. J. Waxman, and J. R. Halpert, "Directed evolution of mammalian cytochrome P450 2B1: mutations outside of the active site enhance the metabolism of several substrates, including the anticancer prodrugs cyclophosphamide and ifosfamide.," J. Biol. Chem., vol. 280, no. 20, pp. 19569–19575, May 2005, doi: 10.1074/jbc.M500158200.

[51]. C. S. Chen, Y. Jounaidi, T. Su, and D. J. Waxman, "Enhancement of intratumoral cyclophosphamide pharmacokinetics and antitumor activity in a P450 2B11-based cancer gene therapy model.," Cancer Gene Ther., vol. 14, no. 12, pp. 935–944, Dec. 2007, doi: 10.1038/sj.cgt.7701092.

[52]. M. Tychopoulos, L. Corcos, P. Genne, P. Beaune, and I. de Waziers, "A virus-directed enzyme prodrug therapy (VDEPT) strategy for lung cancer using a CYP2B6/NADPH-cytochrome P450 reductase fusion protein.," Cancer Gene Ther., vol. 12, no. 5, pp. 497–508, May 2005, doi: 10.1038/sj.cgt.7700817.

[53]. W. Touati et al., "A suicide gene therapy combining the improvement of cyclophosphamide tumor cytotoxicity and the development of an anti-tumor immune response.," Curr. Gene Ther., vol. 14, no. 3, pp. 236–246, 2014, doi: 10.2174/1566523214666140424152734.

[54]. J. Mercapide, G. Rappa, F. Anzanello, J. King, O. Fodstad, and A. Lorico, "Primary gene-engineered neural stem/progenitor cells demonstrate tumor-selective migration and antitumor effects in glioma.," Int. J. Cancer, vol. 126, no. 5, pp. 1206–1215, Mar. 2010, doi: 10.1002/ijc.24809.

[55]. T. Lautier, P. Urban, J. Loeper, L. Jezequel, D. Pompon, and G. Truan, "Ordered chimerogenesis applied to CYP2B P450 enzymes.," Biochim. Biophys. Acta, vol. 1860, no. 7, pp. 1395–1403, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.bbagen.2016.03.028.

[56]. C. Ekhart, V. D. Doodeman, S. Rodenhuis, P. H. M. Smits, J. H. Beijnen, and A. D. R. Huitema, "Influence of polymorphisms of drug metabolizing enzymes (CYP2B6, CYP2C9, CYP2C19, CYP3A4, CYP3A5, GSTA1, GSTP1, ALDH1A1 and ALDH3A1) on the pharmacokinetics of cyclophosphamide and 4-hydroxycyclophosphamide.," Pharmacogenet. Genomics, vol. 18, no. 6, pp. 515–523, Jun. 2008, doi: 10.1097/FPC.0b013e3282fc9766.

[57]. W. Shu et al., "Cytochrome P450 Genetic Variations Can Predict mRNA Expression, Cyclophosphamide 4-Hydroxylation, and Treatment Outcomes in Chinese Patients With Non-Hodgkin's Lymphoma.," J. Clin. Pharmacol., vol. 57, no. 7, pp. 886–898, Jul. 2017, doi: 10.1002/jcph.878.

[58]. V. McErlane et al., "A cytochrome P450 2B6 meditated gene therapy strategy to enhance the effects of radiation or cyclophosphamide when combined with the bioreductive drug AQ4N.," J. Gene Med., vol. 7, no. 7, pp. 851–859, Jul. 2005, doi: 10.1002/jgm.728.

[59]. M. Löhr et al., "Microencapsulated, CYP2B1-transfected cells activating ifosfamide at the site of the tumor: the magic bullets of the 21st century.," Cancer Chemother. Pharmacol., vol. 49 Suppl 1, pp. S21-4, May 2002, doi: 10.1007/s00280-002-0448-0.

[60]. J. P. Braybrooke et al., "Phase I study of MetXia-P450 gene therapy and oral cyclophosphamide for patients with advanced breast cancer or melanoma.," Clin. Cancer Res., vol. 11, no. 4, pp. 1512–1520, Feb. 2005, doi: 10.1158/1078-0432.CCR-04-0155.

[61]. P. R. Ortiz de Montellano, "Cytochrome P450-activated prodrugs.," Future Med. Chem., vol. 5, no. 2, pp. 213–228, Feb. 2013, doi: 10.4155/fmc.12.197.

[62]. M. C. Stipp and A. Acco, "Involvement of cytochrome P450 enzymes in inflammation and cancer: a review.," Cancer Chemother. Pharmacol., vol. 87, no. 3, pp. 295–309, Mar. 2021, doi: 10.1007/s00280-020-04181-2.

[63]. O. M. Malekshah, X. Chen, A. Nomani, S. Sarkar, and A. Hatefi, "Enzyme/prodrug systems for cancer gene therapy.," Curr. Pharmacol. Rep., vol. 2, no. 6, pp. 299–308, Dec. 2016, doi: 10.1007/s40495-016-0073-y.

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Factores de riesgo asociados al síndrome de *burnout* en docentes de la provincia del Carchi

Risk Factors Associated with Burnout Syndrome in Teachers from the Province of Carchi

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1015

Juan C. Velasco-Benavides, Erick Herrera
Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Posgrado
Av. Universitaria y Antisana, Tulcán - Carchi
carlos.velasco@upec.edu.ec; erick.herrera@upec.edu.ec

Fecha de envío, ferbrero 23/2024 - Fecha de aceptación, abril 15/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: El síndrome de burnout es ampliamente conocido como un motivo de problema laboral que aqueja al personal docente a nivel mundial. Este problema relacionado con factores de riesgo que generan estrés surge debido al entorno laboral y diversas situaciones ligadas al trato con personas que demandan un alto nivel de dedicación e involucramiento. El presente estudio se centró en identificar factores de riesgo asociados al síndrome de burnout en docentes de la provincia del Carchi. El objetivo principal fue validar la adaptación del Inventario de Burnout de Maslach (MBI) en la dimensión de cansancio emocional al contexto educativo específico, y proponer un modelo de análisis de resultados basado en inteligencia artificial. Al validar el instrumento se identificó que este no se adaptaba completamente al contexto local por lo que el instrumento fue modificado, teniendo que removerse 5 preguntas que fueron identificadas como no relevantes mediante el Análisis Factorial Confirmatorio, y se incorporó información demográfica de los participantes considerada de interés para las instituciones participantes. De esta manera, para la extracción de resultados a partir del test, se diseñó un nuevo modelo de procesamiento de resultados basado en técnicas multivariantes, contemplando 37 variables de entrada. Para esto se consideraron múltiples alternativas, incluidos clasificadores binarios, redes neuronales poco profundas y un modelo de 5 capas ocultas desarrollado con TensorFlow y Keras con la configuración de 48, 69, 52, 101 y 97 neuronas, que ofreció las predicciones más precisas de entre los modelos evaluados sobre el agotamiento emocional, una dimensión clave del síndrome de burnout. Este modelo alcanzó una precisión del 86% y un MSE de 0.1193604, determinando que los factores de riesgo fueron la disminución y pérdida de recursos emocionales, demostrando su fiabilidad para la detección automática del síndrome sin necesidad de diagnóstico profesional. La investigación valida la adaptación del instrumento al contexto objetivo y resalta la importancia de establecer nuevos modelos de análisis cuando se emplean instrumentos modificados a partir del MBI, asegurando su relevancia y aplicabilidad en contextos específicos.

Palabras Clave: Síndrome de burnout, Factores de Riesgo, Red Neuronal Artificial, Análisis Factorial Confirmatorio, Distancias de Mahalanobis, Accuracy.

Abstract: Burnout syndrome is widely recognized as a significant work-related issue affecting educators worldwide. This problem, associated with risk factors that generate stress, arises from the work environment and various situations involving interactions with individuals requiring a high level of dedication and involvement. This study focused on identifying risk factors associated with burnout syndrome in teachers from the Carchi province. The primary objective was to validate the adaptation of the Maslach Burnout Inventory (MBI) emotional exhaustion dimension to the specific educational context and propose an AI-based results analysis model. The validation process revealed that the instrument did not fully adapt to the local context, leading to its modification by removing five questions identified as irrelevant through Confirmatory Factor Analysis. Demographic information of interest to participating institutions was also incorporated. To extract test results, a new multivariate analysis model was designed, considering 37 input variables. Various alternatives were explored, including binary classifiers, shallow neural networks, and a five-hidden-layer model developed using TensorFlow and Keras, configured with 48, 69, 52, 101, and 97 neurons, which yielded the most accurate predictions for emotional exhaustion—a key dimension of burnout syndrome. This model achieved 86% accuracy and an MSE of 0.1193604, determining that risk factors were the depletion and loss of emotional resources, demonstrating its reliability for automatic burnout detection without requiring professional diagnosis. The study validates the instrument's adaptation to the target context and highlights the importance of establishing new analytical models when using modified MBI instruments, ensuring their relevance and applicability in specific contexts.

Keywords: Burnout Syndrome, Risk Factors, Artificial Neural Network, Confirmatory Factor Analysis, Mahalanobis Distances, Accuracy.

Autor de correspondencia:
Juan Velasco, carlos.velasco@upec.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

El síndrome de burnout asociado a factores de riesgo que provocan estrés en docentes se da por el ambiente laboral y las diferentes situaciones asociadas al contacto con personas que provocan una alta entrega e implicación. La Red Mundial de Salud Ocupacional de la OMS, considera al síndrome de burnout como un desgaste laboral progresivo que tiene su inicio con altos niveles y prolongados de estrés laboral, que se confirman por la irritabilidad, cansancio y tensión. Este síndrome ya es un problema de salud pública debido a los efectos negativos sobre el empleado y el empleador [1].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) desde el año 2022 lo considera a nivel mundial como una enfermedad de trabajo y se le conoce como el burnout o síndrome de desgaste ocupacional y que se ha incluido en la nueva Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11). Por el año 2019 este síndrome era considerado en el listado de Problemas Asociados con el Empleo o el Desempleo, en la actualidad se le reconoce oficialmente como una enfermedad de trabajo. Según la OMS se define como la consecuencia del estrés crónico que se desarrolla donde se trabaja y que no se ha tratado con éxito, especificando que se desarrolla por el contexto laboral y no puede usarse en otras actividades de la vida del ser humano [2].

En la provincia del Carchi donde se desarrolla esta investigación no existe información significativa sobre el síndrome de burnout en docentes, pero si hay información sobre medición del estrés laboral en los docentes, que es uno de los factores de riesgo que sí influyen en que se llegue a desencadenar el síndrome [3]. Por lo cual, se necesita más información que ayude a complementar las investigaciones que ya existen y con ello plantear medidas para enfrentar de forma asertiva los diferentes factores de riesgo que inducen el síndrome de burnout en docentes.

Por la redacción expuesta, el presente trabajo ayudará a los estudios ya existentes que se realizan a nivel nacional, y en particular en la Provincia del Carchi, sobre cuáles son los factores asociados al síndrome de burnout en docentes, como un aporte a las estrategias de cómo enfrentar a este síndrome, mejorar la calidad de vida docente y el manejo correcto de situaciones que influyan en los factores que inciden en el síndrome. Para la predicción del síndrome de burnout según los factores de riesgo asociados en docentes de la provincia del Carchi, se empleó un conjunto de técnicas multivariantes compatibles con la naturaleza de los datos que conforman el instrumento que se usó en este estudio. Como técnicas multivariantes se usaron: clasificadores binarios de una sola capa, redes neuronales poco profundas, y cinco modelos de Deep Learning. De todas las técnicas que se utilizó, la técnica que mejores resultados presentó sobre la predicción del síndrome de burnout en la dimensión de cansancio emocional, fue el Deep Learning con un modelo de cinco capas ocultas a través de TensorFlow y Keras. El clasificador de Deep Learning logró una precisión de 86% y un MSE de 0.1193604, demostrando ser un método confiable para la detección automática del síndrome de burnout en la dimensión de cansancio emocional sin la necesidad de la intervención de un profesional que diagnostique los riesgos asociados al síndrome. El método Deep Learning se adaptó a la población de estudio que fueron los docentes de unidades educativas de la provincia del Carchi, puesto que, el instrumento se modificó al contexto local y se incorporó información demográfica de los participantes considerada de interés para las instituciones participantes.

Trabajos relacionados

El estudio de [4] se realizó en una universidad privada de Madrid, mediante metodología cualitativa de tipo fenomenológica que permitió conocer los factores más importantes del síndrome de burnout en docentes universitarios, desde su propio punto de vista. El estudio se realizó a 25 docentes de la universidad mediante una entrevista semiestructurada enfocada en los factores que producen malestar en el campo laboral. Los docentes tenían edades entre los 35 a 63 años con una media de 52,2 años y desviación estándar de 7,6. Entre los datos sociodemográficos que se consideraron son el estado civil, tipo de contrato y años de experiencia, además del tipo de contrato en la institución. Los resultados muestran que existió una sobrecarga laboral, actividades a desarrollar fuera del lugar de trabajo y la necesidad de tiempo personal; también la percepción de que los alumnos no tienen motivación son algunos de los factores que producen burnout.

Una investigación realizada por [5] en instituciones de educación superior en la ciudad de Guayaquil bajo un análisis cuantitativo a una muestra de 159 docentes y con la técnica de encuesta se encontró como resultados que el síndrome de burnout se diferencia de varias maneras si se considera los años de experiencia en la docencia y según las condiciones del trabajo. Se encontró que el estrés laboral está presente en los docentes con un 88,2% y el síndrome de burnout en un 67,5%, se consideraron niveles altos y reveló la presencia de un problema que se consideró alarmante ya que tiene impacto en la salud, el bienestar y el desempeño, y en efecto su relación con el daño social.

En el artículo de [6] se estudió el burnout en docentes españoles y los factores asociados al síndrome, encontrándose con 52 factores divididos en 7 grupos, la muestra fue de 35 artículos con una muestra de docentes. El instrumento fue el MBI "Maslach Burnout Inventory" de Maslach y Jakson (1989). Los resultados mostraron que las variables más repetitivas son las sociodemográficas con un 94,4%, entre las cuales están el sexo con un 91,34%, la edad con 77,14% y la experiencia docente con 34,29% siendo los factores de mayor interés. Existe una gran variación respecto a los factores revisados en el estudio relacionados con el burnout docente en España, por ello en este estudio se concluyó que es necesario investigar con mayor profundidad para lograr comparaciones más exactas.

Según [7] las variables a analizar fueron organizacionales, personales y demográficas como predictores del síndrome de burnout, se realizó un muestreo estratificado en el municipio de Benidorm, los estratos fueron zonas del municipio y por etapas educativas, en la muestra se consideró 171 docentes de preescolar, primaria y bachillerato. El 72,5% fueron mujeres y el 27,5% hombres. Los resultados mostraron que de acuerdo con el rango de valores entre 1 y 5, los valores obtenidos en agotamiento emocional fueron de 2.21, de 1.67 en despersonalización y 2.07 en la falta de realización personal. Mediante la regresión múltiple las variables organizacionales se diferenciaron de las dimensiones del burnout, respecto a la afectividad negativa implica como factor de vulnerabilidad. Con el agotamiento emocional se tuvieron que el estrés laboral y la baja satisfacción laboral son grandes predictores.

Por su parte, en el estudio de [8] utilizó el método de redes neuronales artificiales con una sola capa oculta (RNA) para investigar la asociación entre varias dimensiones demográficas y de liderazgo de entrenadores con la satisfacción laboral de los docentes en las escuelas coreanas y con un número de neuronas en la capa oculta que varió de 1 a 50. El método que se usó fue un cuestionario estructurado autoadministrado a los maestros de 12 escuelas primarias ubicadas en Ulsan, Corea, obteniendo una muestra de 194 datos que dividieron en 124 datos para el proceso de entrenamiento y desarrollo del modelo y los 70 restantes

para la prueba y validación de la precisión predictiva. El número de capas y neuronas ocultas se seleccionó mediante experimentación. Mediante el RNA se encontró el modelo con mejor capacidad de relación y con mayor precisión predictiva que el análisis de regresión múltiple. Mediante la realización de un software independiente y de fácil manipulación que se usó en términos predictivos y de estimación en búsqueda de la importancia relativa de las variables independientes en la satisfacción laboral. Los resultados mostraron gran complejidad entre las representaciones no lineales que comprenden la relación entre las dimensiones demográficas y de entrenamiento con la satisfacción laboral. Para encontrar la arquitectura óptima del modelo RNA se realizó varios experimentos, un total de 190 arquitecturas RNA. Finalmente, el modelo pudo predecir aproximadamente el 79 % dentro del 20 % de la satisfacción laboral real.

En el estudio de [9] se tuvo como objetivo predecir el burnout profesional y las variables de competencia a 51 profesores de ciencias que trabajan en la escuela secundaria en Zonguldak mediante el uso de una red neuronal artificial RNA. Mediante la red neuronal se buscó explicar los problemas de burnout al considerar el factor humano. La técnica fue la encuesta sobre burnout, autoeficacia y competencias a profesores de ciencias. Con la base de datos se estableció la red neuronal artificial. Los resultados mostraron que la autoeficacia y la competencia de los profesores de ciencias pueden pronosticar burnout profesional en varios grados. Según las dimensiones del burnout que son agotamiento emocional, despersonalización y realización personal se predijo mediante la RNA los siguientes resultados: el rendimiento de la RNA fue del 40 % para la primera dimensión que es el "agotamiento emocional", con un 50 % para "éxito personal", con aproximados del 20 % para "despersonalización" y del 80% para "competencia".

Materiales y métodos

La investigación se realizó en unidades educativas de la provincia del Carchi. La muestra provino de una base de datos de un estudio de pregrado de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi de la carrera de enfermería sobre los factores de riesgo relacionados con el síndrome burnout en el periodo 2021-2022 en la cual se analizó a 200 docentes mediante una encuesta.

El enfoque del estudio fue principalmente cuantitativo por las técnicas de recolección de datos que se aplicó, las mediciones y el posterior análisis estadístico de los datos recopilados para medir su frecuencia y determinar la existencia del síndrome de burnout en los docentes. Además, el enfoque cualitativo sirvió en esta investigación para el análisis profundo de los resultados obtenidos de cada modelo según las técnicas multivariantes que se use con los datos para su entrenamiento, permitirá la determinación de ventajas y limitaciones, finalmente seleccionar la mejor alternativa para medir de manera automática la prevalencia de burnout.

El instrumento aplicado se construyó por medio de un cuestionario de dos partes. La primera parte consta de 15 preguntas sobre los datos sociodemográficos, factores individuales, factores sociales, variables sociales extra laborales y variables organizacionales. En la segunda parte se analizó la variable *Síndrome de burnout* para la cual se aplicó el Cuestionario Maslach Burnout Inventory (MBI) donde se consideró a las dimensiones: Agotamiento o cansancio emocional, Despersonalización, Realización personal. El cuestionario de Maslach Burnout Inventory (MBI) está constituido por 22 ítems en forma de afirmaciones, sobre los sentimientos y actitudes del profesional en su trabajo y hacia los alumnos adaptado

especialmente a los docentes y su función es medir el desgaste profesional. Este test permite medir la frecuencia y la intensidad con la que se sufre el síndrome de burnout.

Tratamiento de datos

Distancias de Mahalanobis. Cuando se aplica un instrumento de medición siempre hay la posibilidad de la existencia de datos atípicos y perdidos, por lo cual es recomendable, antes de un análisis estadístico realizar un proceso de aplicación de análisis de datos. Para el tratamiento de datos la técnica más usada es las distancias de Mahalanobis, mediante la desviación estándar de la observación respecto a la media en una distribución. Debido al comportamiento de un dato atípico comparado con las demás observaciones, es una herramienta que permite identificar este tipo de datos. Al comparar la distancia Euclidiana con la de Mahalanobis es la más corta entre dos puntos, pero no considera la correlación entre variables altamente correlacionadas que la distancia de Mahalanobis si toma en cuenta [10], [11]. Esta distancia es una métrica de escala invariante que logra la medida de la distancia entre un punto $x \in \mathbb{R}^p$ que resulta de una distribución de probabilidad $f_X(.)$, p-variada y la media μ=E(X) de la distribución. Considerando que, la distribución $f_X(.)$ presenta momentos finitos de segundo orden se realiza la matriz de covarianza como $\sum = E(X-\mu)$. Las distancias de Mahalanobis se representan como [11]:

$$\mathrm{D}(\mathrm{X},\mu) = \sqrt{(\mathrm{X}-\mu)^{\mathrm{T}}\Sigma^{-1}(\mathrm{X}-\mu)}. \qquad \textbf{(1)}$$

Análisis factorial confirmatorio (AFC). Luego de un tratamiento de datos es necesario realizar la validación para seleccionar el conjunto de variables que permitan dar la validez y fiabilidad de cada ítem del cuestionario que se aplicó y del cual se obtuvo la base de datos que se trabaja en el presente estudio. El AFC se considera un método que permite analizar un tipo de variables que son ordinales, relaciona el nivel de las respuestas de un vector p×1 de variables observadas que son aleatorias, permiten dar explicación de una o más variables que no se observan y se llaman factores η [12]. Este método evalúa y estima en cada ítem su saturación y que explica diferentes aspectos de la variable latente no observada. El siguiente modelo explica al vector Y_i de respuestas observadas que se predicen por la variable latente no observada ξ:

$$\mathrm{Y} = \Lambda\,\xi + \epsilon, \qquad \textbf{(2)}$$

donde el vector de dimensión p×1 es Y, las variables latentes no observadas se representan con ξ y Λ es una matriz de dimensión p×k en donde k es igual al número de variables latentes no observadas. Además, el modelo considera el error ϵ, porque Y se establece por un grupo de variables que exponen de manera imperfecta a ξ. Para dar solución a este modelo se usa la estimación de máxima verosimilitud (ML), que se logra mediante la reducción iterativa de la función de ajuste:

$$\mathrm{F_{ML}} = \ln|\Lambda\Omega\Lambda' + \mathrm{I} - \mathrm{diag}(\Lambda\Omega\Lambda')| + \mathrm{tr}\left(\mathrm{R}(\Lambda\Omega\Lambda' + \mathrm{I} - \mathrm{diag}(\Lambda\Omega\Lambda')^{-1})\right) - \ln(\mathrm{R}) - \mathrm{p} \qquad \textbf{(3)}$$

Es la matriz de varianza-covarianza que se relaciona en el modelo de AFC propuesto y R es la matriz de varianza-covarianza observada. Esto permite que los parámetros del modelo sean estimados mediante la reducción de la distancia entre la varianza-covarianza relacionada en el modelo y la observada [13].

Análisis de componentes principales (PCA). Es un enfoque estadístico que reduce la complejidad de los espacios muestrales multidimensionales preservando su información y permite ver los datos. Entre sus aplicaciones se tiene la reducción de dimensionalidad (variables), perdiendo la mínima cantidad de información (varianza).

El PCA permite la descripción de tablas que están distribuidas por filas y que constan de las unidades estadísticas llamadas "individuos", y en sus columnas se contiene la información de las variables tipo continuo que se aplicaron como medida hacia los individuos [14]. EL PCA permite calcular el número de capas ocultas que son necesarias para la implementación de una red neuronal. Para una muestra de n individuos cada uno con p variables (X1,X2,…,Xp), con lo cual la muestra tiene p dimensiones. El número de factores subyacentes que se encuentran con el PCA está definido cuando (z<p) y que bajo esta condición se mantiene la misma información original de las p variables. Los componentes principales se representan cada uno con z. Antes de calcular cada componente principal se considera las unidades de medida de las variables. El PCA empieza con la estandarización de las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1:

$$xi = \frac{x_i - \text{media}(x)}{\text{sd}(x)} \quad \textbf{(4)}$$

Los componentes principales representados por (Z_i) son producto de la combinación lineal entre las variables originales. De un grupo de variables dado por (X_1,X_2,….,X_p) la primera componente principal se da como la combinación lineal normalizada de la mayor varianza de las variables.

$$Z_1 = \emptyset_{11} * X_1 + \emptyset_{21} * X_2 + \ldots + \emptyset_{p1} * X_p \quad \textbf{(5)}$$

Redes neuronales. Las redes neuronales artificiales son técnicas que permiten el aprendizaje automático que simulan el mecanismo de aprendizaje en organismos biológicos. Este mecanismo biológico se simula en redes neuronales artificiales, que contienen unidades de cómputo denominadas neuronas. Una red neuronal artificial realiza los cálculos al considerar las entradas (x_1,x_2,…), al propagar los valores que se calculan desde las neuronas de entrada a las neuronas de salida (Y) y se usa los pesos (w) como parámetros intermedios. El aprendizaje se sujeta al cambio de los pesos que conectan las neuronas. De la base los datos proporcionan la información sobre la exactitud de los pesos en la red neuronal, al comparar sobre qué tan bien coincide la salida pronosticada para una entrada en particular la etiqueta de salida anotada en los datos de entrenamiento [15].

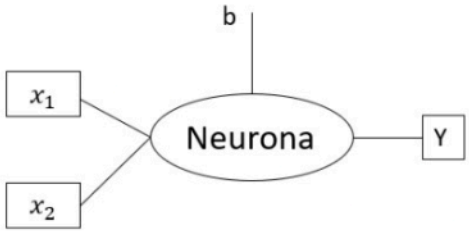


Fig. 1. Esquema principal de una neurona con dos entradas [16].

La salida de la neurona se calcula $Y=x_1*w_1+x_2*w_2+b$. Como función de activación se seleccionaron la función ReLU que sirve para el diseño de capas ocultas y para la capa de salida la función Softmax que se formula como:

$$f(Z)_j = \frac{e^{Z_j}}{\sum_{k=1}^{k} e^{Z_k}} \quad (6)$$

Deep Learning. El Deep learning usa técnicas estadísticas avanzadas como las redes neuronales artificiales, que se basan en capas de nodos interconectados mediante pesos w_{ij}[17]. Mediante el aprendizaje supervisado, minimizaban una función de pérdida como el error cuadrático medio para hacer predicciones sobre datos etiquetados. Esto se logra mediante descenso de gradiente estocástico, actualizando los pesos en la dirección opuesta al gradiente del error. Una fórmula clave es la regla delta para ajustar los pesos [18]:

$$\Delta w_{ij} = \eta (y_j - \hat{y}_j) x_i \quad (7)$$

Donde η es la tasa de aprendizaje. Otras técnicas estadísticas clave son la regularización para evitar overfitting, como el dropout, donde se ignoran aleatoriamente algunas neuronas durante el entrenamiento. Para generar predicciones se utiliza la propagación hacia adelante mediante la fórmula:

$$\hat{y} = f(X; w) \quad (8)$$

Donde $\hat{y}$ es la predicción, X los inputs y f la función de activación no lineal como ReLU aplicada en cada capa.

Curva ROC. La curva ROC (Receiver Operating Characteristic) se utiliza como una herramienta para evaluar la eficiencia de los modelos de clasificación binaria. A través de esta curva, se midió el rendimiento de los modelos y se determinó su capacidad para distinguir entre las clases positivas y negativas. La eficiencia del modelo mediante la curva ROC se evalúa utilizando el área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés).

El AUC representa la probabilidad de que el modelo clasifique correctamente una instancia positiva con una puntuación más alta que una instancia negativa. Cuanto mayor sea el AUC, más eficiente será el modelo en la tarea de clasificación binaria. Un AUC superior a 0.8 se considera un buen rendimiento, mientras que un AUC superior a 0.9 se considera excelente [19].

Accuracy. En el contexto del aprendizaje profundo (Deep learning), la precisión (accuracy) es una métrica estadística que mide la capacidad de un modelo para realizar predicciones correctas sobre un conjunto de datos. Representa la proporción de instancias que el modelo ha clasificado correctamente en comparación con el total de instancias. Se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (9)$$

La precisión se calcula dividiendo el número de predicciones correctas entre el número total de predicciones realizadas por el modelo. Es una métrica ampliamente utilizada debido a su simplicidad e interpretabilidad directa [20].

Error medio cuadrático. El error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés) es una métrica de evaluación ampliamente utilizada en el aprendizaje profundo (Deep learning) para medir el rendimiento de los modelos en tareas de regresión. Esta métrica cuantifica la diferencia promedio entre las predicciones realizadas por el modelo y los valores reales observados. El MSE se calcula mediante la fórmula:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \textbf{(10)}$$

Un valor más bajo del MSE indica un mejor ajuste del modelo a los datos, ya que las predicciones se encuentran más cercanas a los valores reales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el MSE puede ser sensible a valores atípicos (outliers) en los datos, ya que el cuadrado de las diferencias grandes aumentará significativamente el valor del MSE [21].

Overfitting. El sobreajuste (Overfitting) es un problema común en el aprendizaje profundo (Deep learning) que ocurre cuando un modelo se ajusta demasiado a los datos de entrenamiento, aprendiendo incluso los patrones irrelevantes presentes en esos datos. Esto conduce a un rendimiento deficiente cuando el modelo se utiliza con nuevos datos que no ha visto antes. Un modelo sobre ajustado tiene una alta precisión en los datos de entrenamiento, pero un rendimiento pobre en los datos de prueba o validación. Esto se debe a que el modelo ha "memorizado" las características específicas de los datos de entrenamiento en lugar de aprender los patrones generales subyacentes que permiten una buena generalización a nuevos datos. Para evitar el sobreajuste, existen varias técnicas que se pueden aplicar durante el entrenamiento, como la regularización (como la regularización L1 o L2), el dropout, el aumento de datos (data augmentation) y el uso de conjuntos de validación para detener el entrenamiento cuando el rendimiento en estos conjuntos comienza a disminuir [22].

Resultados

La base de datos consta de 200 observaciones que provienen del instrumento aplicado que consta de 37 preguntas categóricas distribuidas en dos secciones. La primera parte de 15 preguntas sobre los datos sociodemográficos, factores individuales, factores sociales, variables sociales extra laborales y variables organizacionales y la segunda parte de 22 preguntas sobre la variable *síndrome de burnout*, medida con el cuestionario Maslach Burnout Inventory (MBI). El instrumento aplicado es multivariado categórico y ordinal, por lo cual las técnicas estadísticas convencionales no son suficientes para estudiar el problema planteado, con lo cual fue necesario el uso de redes neuronales artificiales y el Deep Learning que son herramientas ampliamente utilizadas en los últimos años para resolver problemas complejos [23].

La base de datos se trabajó con el lenguaje de programación estadística R, además con Python con su distribución Anaconda para el manejo de los paquetes TensorFlow y Keras desde el programa RStudio, con el uso de la librería reticulate. El análisis de la base de datos se inició con la imputación mediante el uso de la técnica KNN (K-Nearest Neighbors) y la librería VIM, los resultados muestran que no existen datos faltantes.

A continuación, se hizo el tratamiento a los datos para detectar datos atípicos con el uso de las Distancias de Mahalanobis. Se inició con el puntaje de corte basado en la distribución χ^2 y con un 99.9% de las distancias con lo cual se excluyó al 0.1% de los cuantiles de las observaciones que se consideraron como atípicas [24]. El resultado demuestra que no se excluyó ninguna observación atípica y por lo tanto la muestra sigue compuesta por 200 observaciones.

Antes de trabajar el instrumento fue necesaria la validación previa a la obtención de inferencias y resultados mediante la base de datos. Se utilizó el Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) [25], esta técnica permite comprobar que tan válido y fiable es un instrumento. Como técnica paramétrica se realizó 5 supuestos a verificar como son: aditividad, normalidad, linealidad, homogeneidad y homocedasticidad. Para la aditividad se realizó la matriz de correlación multivariada con cada par posible de preguntas, el objetivo es demostrar que ningún par de preguntas presenta correlación perfecta. La matriz de correlación multivariada para las preguntas del test de burnout en el supuesto de aditividad se muestra en la figura 2 en el siguiente enlace: https://goo.su/vXhB.

La figura 2 muestra que ningún par de preguntas presentan correlación alta (0.95 a 1), con lo cual ninguna pregunta tiene correlación perfecta, por lo que se aceptó el supuesto de aditividad.

Para los restantes supuestos paramétricos, se empleó la falsa regresión, mediante un set de cuantiles aleatorios que se basan en la distribución X^2, los cuales fueron escalados, estudentizados y se ajustan por regresión para luego comparar con los cuantiles de la muestra. La normalidad multivariada se analizó con el histograma de los cuantiles obtenidos con la falsa regresión, el supuesto de linealidad se realizó con el Q-Q Plot y la homogeneidad y homocedasticidad, se analizaron con el Scatterplot [26]. El análisis y resultados de la falsa regresión se muestran en la figura 3 y se encuentran en: https://goo.su/vXhB.

En la figura 3a, los cuantiles ajustados tienen una distribución similar a la normal, con lo cual se aceptó la normalidad. En la figura 3b, se observó que los cuantiles teóricos respecto a los muestrales tienen una distribución cercana a la tendencia lineal, con lo cual se aceptó el supuesto de linealidad. Finalmente, en la figura 3c, se mostró que los cuantiles estandarizados respecto a los ajustados tienen una distribución homogénea en los cuatro cuadrantes, no se apreció patrones o agrupamientos inadecuados, lo que se observó es que los cuantiles se distribuyeron en forma de salpicado aleatorio, con lo cual se aceptó la homogeneidad y homocedasticidad.

Los 5 supuestos han sido verificados y por lo tanto se procedió a realizar el AFC que permite dar la validez y fiabilidad del instrumento aplicado, cada pregunta responde a un factor y aporta a la estructura factorial. Por lo cual los factores que se utilizaron para el análisis fueron:

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las variables ordinales en la base de datos original.

Factor	Preguntas
Cansancio emocional	p1, p2, p3, p6, p8, p13, p14, p16, p20
Despersonalización	p5, p10, p11, p15, p22
Realización personal	p4, p7, p9, p12, p17, p18, p19, p21

El análisis factorial confirmatorio se realizó en el programa estadístico RStudio, con el uso de las librerías lavaan y SemPlot. Por lo tanto, la configuración de la estructura factorial, las saturaciones y sus correlaciones inter e intrafactoriales quedan de la siguiente manera (Fig. 4.) y se encuentran en: https://goo.su/vXhB.

En la figura 4, el Path-diagram del AFC muestra las correlaciones inter e intrafactoriales y las saturaciones de cada ítem del test de burnout con la estructura factorial. El AFC menciona que la saturación no debe tener valores debajo de 0.3 y también ningún par de factores deben presentar correlación perfecta [10]. Como se observó en la figura 4, existen algunos ítems con valores menores a los recomendados por lo cual se retiraron las preguntas p10,p15,p18,p19 y p21. Luego se volvió a correr el código y no se evidenció indicios de invalidez en el modelo. Los resultados obtenidos mediante el AFC se presentan en la tabla 2 y los índices de bondad de ajuste globales en la tabla 3 y que se encuentran en: https://goo.su/jC6z.

Tal como se observó en la tabla 2, todos los ítems considerados en el modelo alcanzan niveles significativos, por lo que no es necesario modificar nuevamente el modelo del test de burnout. Al analizar los valores obtenidos se apreció que los ítems contribuyen en distinta medida dentro de su respectivo factor. En la tabla 3, los índices de bondad de ajuste muestran que el Índice de Ajuste Comparativo (CFI), el Índice de Tucker-Lewis (TLI) y el Índice de Ajuste No Normado (NNFI) alcanzaron valores de 0.9, mientras que el Error Cuadrático Medio de Aproximación (RMSEA) y el Residual Estandarizado Cuadrático Medio (SRMR) presentan valores inferiores a 0.05. Estos resultados indican que el instrumento cuenta con validez y confiabilidad adecuadas.

Con la base de datos correctamente tratada y validada es necesario dar el puntaje a cada factor de acuerdo con la teoría que define al test de burnout. Como se observó en la figura 4, existen algunos ítems con valores menores a los recomendados según el AFC ya que se menciona que la saturación no debe tener valores debajo de 0.3 y también ningún par de factores deben presentar correlación perfecta por lo cual se retiraron las preguntas $p10$, $p15$, $p18$, $p19$ y $p21$.

Por lo tanto, los puntajes que definen a cada factor y su categorización acorde con la escala se definieron en la tabla 4.

Tabla 2. Puntajes y escala para cada factor.

Factor	Puntaje	Criterio
Cansancio emocional	$CnE = p1 + p2 + p3 + p6 + p8 + p13 + p14 + p16 + p20$	Bajo: $0 \leq CnE \leq 18$ Medio: $19 \leq CnE \leq 26$ Alto: $CnE \geq 27$
Despersonalización	$Dsp = p5 + p11 + p22$	Bajo: $0 \leq Dsp \leq 3$ Medio: $4 \leq Dsp \leq 5$ Alto: $Dsp \geq 6$
Realización personal	$RlP = p4 + p7 + p9 + p12 + p17$	Bajo: $\leq RlP \leq 24$ Medio: $22 \leq RlP \leq 24$ Alto: $RlP \geq 25$

La tabla 4 presentó la clasificación de los distintos factores evaluados mediante el test de burnout. Específicamente, mostró los ítems del test que alcanzaron una saturación adecuada para cada factor. Además, indica los puntos de corte utilizados para categorizar los niveles de burnout como bajo, medio o alto en cada factor.

A continuación, en primer lugar, las 15 preguntas iniciales del cuestionario, de tipo categórico sobre datos sociodemográficos y otros factores, fueron transformadas en variables dummy mediante la codificación de niveles correspondiente con las librerías recipes y tidyverse. Con lo cual, la base de datos codificada quedó constituida por 98 variables. De ellas, 89 se consideraron como variables predictoras (features) para la capa de entrada neuronal. Las variables CE_bajo, CE_medio, CE_alto, DP_bajo, DP_medio, DP_alto, RP_bajo, RP_medio y RP_alto (Cansancio Emocional, Despersonalización y Realización Personal) se definieron como variables respuesta (labels). Posteriormente, se utilizaron las librerías GGally y skimr para la visualización y verificación de los datos antes del entrenamiento de modelos. Los resultados de los estadísticos descriptivos de las variables codificadas de este procesamiento y transformación de variables se muestran en la tabla 5 en el siguiente link: https://goo.su/jC6z.

La tabla 5 muestra que al realizar un adecuado tratamiento de los datos se obtuvo una base de datos sin valores faltantes ni atípicos, donde todas las variables presentaron una varianza distinta de cero. Como se observó, cada variable tiene una dispersión y distribución diferente. Por esto, se diseñó una capa de normalización a la entrada que se ajustó al comportamiento de los datos, permitiendo a la red neuronal trabajar con escalas similares y evitando así que la escala de los gradientes utilizados durante el entrenamiento se afecte. La capa de normalización de entrada se desarrolló utilizando las funciones layer_normalization y adapt de Keras [27]. Las variables de respuesta también fueron codificadas en formato dummy, por lo que se diseñó una capa de salida con tres neuronas, ya que para el síndrome de burnout se midieron respuestas en los niveles bajo, medio y alto. La codificación se realizó con la función to_categorical de Keras.

Como se tiene tres variables de respuesta en el presente estudio se trabajó solo uno de los casos como lo es la variable Cansancio Emocional.

Análisis del Factor Cansancio Emocional

El test de burnout fue creado con el fin de permitir evaluar el nivel de cansancio emocional, despersonalización y realización personal de los individuos que participaron en el experimento. Sin embargo, de estos tres factores, el presente estudio se enfocó en el factor cansancio emocional que es de especial interés para las instituciones educativas donde laboran los docentes de la población estudiada. De esta manera, en el presente estudio se continuó con la obtención de un modelo de inteligencia artificial que permitió evaluar el cansancio emocional de los participantes mediante el modelo validado y aplicable en la población de docentes de la provincia del Carchi. Cabe destacar que, el modelo original está compuesto de 22 preguntas, sin embargo, mediante la muestra evaluada en este estudio se determinó que 5 preguntas no saturaron la estructura factorial, por lo que fueron removidas, de manera que el modelo quedó conformado por 17 preguntas, las cuales requieren de un nuevo mecanismo que permitió evaluar el cansancio emocional en el docente. Para esto se desarrolló un nuevo modelo de inteligencia artificial capaz de clasificar a los decentes en tres niveles de cansancio emocional considerando la información completa del test de burnout. Se seleccionó las redes neuronales como alternativa principal

debido a la naturaleza no lineal de los datos ya que este tipo de modelos permiten tomar la totalidad de información del instrumento como variables de entrada además de la información categórica descrita en la tabla 5.

Como parte inicial se desarrolla una red neuronal artificial para la clasificación, pero sin capas ocultas, la cual consta de una capa de normalización y 3 neuronas en la capa de salida. El modelo se entrenó con 243 epochs de aprendizaje, mediante la optimización por Stocastic Gradient Descent (SGD), con Momentum de valor 0.8, y un learning rate decay inicial de 0.1, el cual decrece en una razón de 0.1/243 para cada etapa de aprendizaje nueva. El valor de 243 epochs de aprendizaje viene por la rule of thumb de [28], 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 5 y su arquitectura para el clasificador en la figura 6 y se pueden visualizar en: https://goo.su/FhIDwBC.

El modelo de clasificación diseñado con tres neuronas en la capa de salida y sin capas ocultas, fue evaluado en el conjunto de prueba que corresponde al 10% de las observaciones totales (20 observaciones que el clasificador no había visto previamente). Al evaluar el desempeño del clasificador con estas nuevas observaciones, se obtuvo un Loss de 4.3403816, Accuracy de 0.5000000 y un MSE de 0.2926763

Determinación de la topología de la red neuronal.

Como se observó en los resultados del clasificador de la Figura 6, las métricas de desempeño aún estuvieron lejos de un rendimiento óptimo. Por esto, se propuso un conjunto de modelos de redes neuronales poco profundas y redes neuronales profundas para mejorar el desempeño del clasificador. Para determinar la topología óptima de la red neuronal se utilizó una técnica compuesta por: un análisis de componentes principales (PCA) que permitió encontrar el número óptimo de capas ocultas de la red neuronal [29], y la exploración de todas las posibles configuraciones del número de neuronas en las capas ocultas siguiendo las recomendaciones de [28].

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. Los resultados del análisis de componentes principales ejecutado sobre la base de datos se ejecutaron mediante la función princomp de R y se muestran en la tabla 6 y figura 7 en el siguiente enlace: https://goo.su/FhIDwBC.

Como se observó en la figura 7, se necesitó más de 4 componentes principales en el modelo para poder explicar más del 70% de la varianza presente en los datos. Por lo cual y de acuerdo con [30], se probaron modelos de hasta 5 capas ocultas para configurar la topología óptima de la red neuronal.

Modelo de red neuronal con una capa oculta.

Para determinar el número óptimo de neuronas con una capa oculta del modelo de red neuronal poco profunda, se diseñó un bucle con varias redes neuronales que almacenaban los parámetros y métricas de desempeño. La función de activación utilizada en esta capa fue la rectificada linear (ReLU), con regularización L2 y penalización L=0.001 para evitar el sobreajuste al aumentar el número de neuronas. Nuevamente se utilizó descenso de gradiente estocástico (SGD) con una tasa de aprendizaje de 0.1 y momentum de 0.8. Considerando las 81 variables de entrada, el intervalo de posibles configuraciones de

neuronas evaluado fue de 40 a 162, es decir, entre la mitad y el doble de las variables de entrada. Los resultados de las métricas de desempeño para la mejor configuración de red neuronal con una sola capa oculta se muestran en la tabla 7 en el link: https://goo.su/FhIDwBC.

En la tabla 7 se apreció varias configuraciones de número de neuronas con una sola capa oculta para el modelo de red neuronal, existen algunas configuraciones que presentan un mayor desempeño. Se seleccionó la configuración de 48 neuronas la cual alcanzó las mejores métricas del bucle iterativo que se realizó para encontrar la mejor configuración. El proceso de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal con una sola capa oculta se observan en el enlace https://goo.su/FhIDwBC y en las figuras 8 y 9.

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 48 neuronas ofrecían el mejor desempeño. Por lo tanto, en esta nueva capa oculta se probó combinaciones que iban desde 24 hasta 96 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, regularización L2 y penalización L=0.001, así como la optimización mediante SGD con tasa de aprendizaje de 0.1 y momentum de 0.8. Los resultados de las métricas de rendimiento para las distintas configuraciones de la segunda capa oculta se presentan en la tabla 8 (https://goo.su/FhIDwBC).

En la tabla 8 se apreció varias configuraciones de número de neuronas para el modelo con dos capas ocultas, existen algunas configuraciones que presentan un mayor desempeño. Se seleccionó la configuración de 69 neuronas la cual alcanzó las mejores métricas del bucle iterativo que se realizó para encontrar la mejor configuración. El proceso de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal con dos capas ocultas se observan en las figuras 10 y 11 y se encuentran en: https://goo.su/FhIDwBC..

Modelo de Deep Learning con tres capas ocultas.

Se volvió a ejecutar el proceso anterior, se añadió una tercera capa oculta con el fin de evaluar si esto genera mejoras en el rendimiento en comparación con la configuración previa. En la segunda capa se determinó 69 neuronas para el mejor desempeño. En la tercera capa oculta se evaluó cada modelo posible desde 34 hasta 138 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, regularización L2 y penalización L=0.001, así como la optimización mediante SGD con tasa de aprendizaje de 0.1 y momentum de 0.8. Los resultados obtenidos para las distintas configuraciones de la tercera capa oculta se presentan en la tabla 9 (https://goo.su/FhIDwBC).

En la tabla 9 se observó varias configuraciones de número de neuronas para el modelo con tres capas ocultas, existen algunas configuraciones que presentaron un mayor desempeño. Se seleccionó la configuración de 52 neuronas la cual alcanzó las mejores métricas del bucle iterativo que se realizó para encontrar la mejor configuración. El proceso de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal con tres capas ocultas se observan en las figuras 12 y 13 y se pueden observar en el link: https://goo.su/FhIDwBC.

Modelo de Deep Learning con cuatro capas ocultas.

A continuación, se repitió el proceso anterior, se añadió una cuarta capa oculta con el fin de evaluar si esto genera mejoras en el rendimiento en comparación con la configuración previa. En la tercera capa se determinó 52 neuronas para el mejor desempeño. En esta cuarta capa oculta se evaluó cada modelo posible desde 26 hasta 104 neuronas. Esta capa se configuró igual que las anteriores con función de activación ReLU, regularización L2, penalización, optimización mediante SGD, tasa de aprendizaje y momentum. Los resultados obtenidos para las distintas configuraciones de la tercera capa oculta se presentan en la tabla 10 y se encuentran en: https://goo.su/FhIDwBC.

En la tabla 10 se evidenció varias configuraciones de número de neuronas para el modelo con cuatro capas ocultas, existen algunas configuraciones que presentan un mayor desempeño. Se seleccionó la configuración de 101 neuronas la cual alcanzó las mejores métricas del bucle iterativo que se realizó para encontrar la mejor configuración. El proceso de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal con cuatro capas ocultas se observan en las figuras 14 y 15 (https://goo.su/FhIDwBC)

Modelo de Deep Learning con cinco capas ocultas.

Finalmente, se determinó la configuración óptima para un modelo de red neuronal con cinco capas ocultas. En esta capa igualmente se determinó el rango de 50 a 202 neuronas de las posibles configuraciones. Igual que las capas anteriores se configuró con función de activación ReLU, regularización L2, penalización, optimización mediante SGD, tasa de aprendizaje y momentum. Los resultados obtenidos para las distintas configuraciones de la tercera capa oculta se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Métricas de desempeño para diferentes configuraciones de redes neuronales con cinco capas ocultas.

Number of neurons	loss	accuracy	mse
92	2.2991545	0.6500000	0.2124649
93	2.7440844	0.6000000	0.2269714
94	2.1538401	0.6500000	0.2225322
95	2.2701786	0.6000000	0.2240053
96	2.4056532	0.6000000	0.2503015
97	**1.3013562**	**0.8600000**	**0.1193604**
98	2.2806649	0.5000000	0.2424285
99	2.3120291	0.6000000	0.2067147
100	2.3737655	0.6500000	0.2105785
101	2.5503664	0.6500000	0.2222144
102	3.6234131	0.5500000	0.2649572

Como se observó en la tabla 11, la mejor configuración para el modelo de cinco capas ocultas se obtuvo con 97 neuronas. Comparado con los modelos y capas anteriores las métricas con los mejores resultados de loss, accuracy y mse se obtuvieron en esta última capa. El proceso de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal con cinco capas ocultas se observan en las figuras 16 y 17.

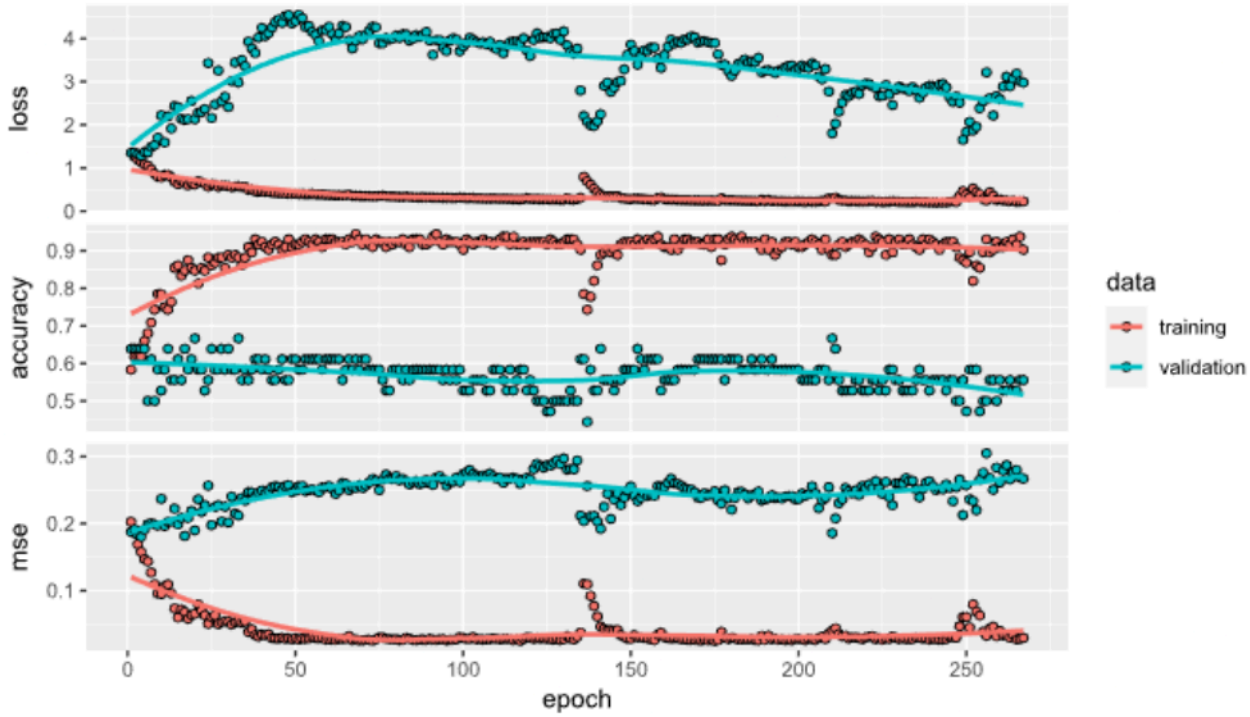


Fig. 16. Proceso de entrenamiento de la red neuronal propuesta con cinco capas ocultas.

```
Model: "sequential_614"
_________________________________________________________________
 Layer (type)                Output Shape              Param #   Trainable
=================================================================
 normalization_3 (Normalization)  (None, 81)          163       Y
 dense_2447 (Dense)          (None, 48)                3936      Y
 dense_2446 (Dense)          (None, 69)                3381      Y
 dense_2445 (Dense)          (None, 52)                3640      Y
 dense_2444 (Dense)          (None, 101)               5353      Y
 dense_2443 (Dense)          (None, 97)                9894      Y
 dense_2442 (Dense)          (None, 3)                 294       Y
=================================================================
Total params: 26,661
Trainable params: 26,498
Non-trainable params: 163
_________________________________________________________________
```

Fig. 17. Arquitectura de la red neuronal propuesta con cinco capas ocultas.

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 20 observaciones y se midió su desempeño con las métricas Loss, Accuracy y MSE. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 12.

Tabla 12. Comparación de los modelos implementados, evaluados sobre la base datos Test.

Métricas	Clasificador sin capas ocultas	Modelo secuencial de una capa oculta	Modelo secuencial de dos capas ocultas	Modelo secuencial de tres capas ocultas	Modelo secuencial de cuatro capas ocultas	Modelo secuencial de cinco capas ocultas
Loss	4.3403816	1.0896268	1.9557455	1.4989994	1.7015085	**1.3013562**
Accuracy	0.5000000	0.7500000	0.7500000	0.7500000	0.7500000	**0.8600000**
MSE	0.2926763	0.1449158	0.1577028	0.1464316	0.1537883	**0.1193604**

Como se observó en la Tabla 12, el mejor modelo fue con cinco capas ocultas y 97 neuronas, llegando a un desempeño con las métricas de Loss=1.3013562, Accuracy=0.8600000 y MSE= 0.1193604.

Este modelo fue examinado más a fondo utilizando la matriz de confusión y la curva ROC. Al hacerlo, se logró un rendimiento del modelo de 95.2% y una precisión (Accuracy) de 0.860 en la clasificación del nivel medio de cansancio emocional. Los resultados del rendimiento del clasificador de Deep Learning con 5 capas ocultas se muestran en las figuras siguientes.

Confusion Matrix y Curva ROC

Las imágenes de las matrices de confusión y Curvas ROC para el clasificador de Deep Learning con 5 capas ocultas en los niveles de cansancio emocional alto, medio y bajo se encuentran en: https://goo.su/fW5Motk

Tabla 13. Comparación del rendimiento del modelo (AUC), accuracy y precisión para el clasificador de Deep Learning con 5 capas ocultas

Métricas	Cansancio Emocional Alto	Cansancio Emocional Medio	Cansancio Emocional Bajo
AUC	56.1%	95.2%	87.6%
Accuracy	0.45	0.86	0.4
Precision	0.692	1	0.308

Discusión

Los resultados evidenciaron que existen diversas técnicas multivariantes propuestas en varios textos para analizar variables categóricas. Al codificar de forma binaria todas las variables (37 variables categóricas que resultaron en 98 variables dummy), se observó que técnicas convencionales como árboles de decisión, regresiones múltiples y logísticas no son lo suficientemente robustas para obtener buenos resultados con los distintos modelos, dado el conjunto de datos propuesto. Por lo contrario, las redes neuronales son ensambles de neuronas artificiales, en donde cada una tiene la posibilidad de aprender los comportamientos no lineales partiendo de los datos. Como se pudo visualizar en la Tabla 12, los modelos de Deep Learning alcanzan niveles de desempeño y precisión excelentes en la tarea de encontrar el cansancio emocional en los docentes de la provincia del Carchi. El modelo óptimo fue de 5 capas ocultas el cual alcanzó una precisión del 86,0% y una sensibilidad del 76,5% para cansancio emocional nivel medio, métricas que demuestran el alto desempeño y potencia que poseen las técnicas de inteligencia artificial para actividades de diagnóstico. Otra de las ventajas que presenta el modelo propuesto es que no invade la integridad de las personas, en consecuencia, la implementación del modelo propuesto puede ser usado como referencia para otras instituciones educativas que requieran evaluar el nivel de cansancio emocional en los docentes.

Al relacionar la información del estudio previo de [5] en donde la investigación se realizó en una provincia diferente a la de nuestro estudio y únicamente con una encuesta que no considera los datos sociodemográficos, factores individuales, factores sociales, variables sociales extra laborales y variables organizacionales como lo hace el presente estudio, además de considerar para la base de datos todos los factores que mide el Cuestionario Maslach Burnout Inventory (MBI), que está constituido por 22 ítems en forma de afirmaciones sobre los sentimientos y actitudes del profesional en su trabajo y hacia los alumnos adaptado especialmente a los docentes y su función es medir el desgaste profesional, en el modelo propuesto de este estudio se puede aplicar basándose en datos categóricos que representen factores de riesgo al relacionarse con factores que previamente fueron identificados. Con lo cual es posible realizar un diagnóstico preciso del riesgo de sufrir burnout en la dimensión de cansancio emocional, esto limitado al grupo de docentes de las instituciones que formen parte de la base de datos, con lo cual es posible tomar medidas correctivas frente al resultado. El presente método puede ser complementado con apoyo psicológico, que permita identificar de manera personal en cada docente cuáles son los factores que les están afectando.

Conclusiones

El presente estudio, enfocado en docentes de la provincia del Carchi, buscó identificar factores de riesgo asociados al burnout y validar el Inventario de Burnout de Maslach (MBI) para un contexto educativo específico, adaptándolo mediante la eliminación de cinco ítems que fueron identificados como no aplicables mediante la técnica de Análisis Factorial Confirmatorio y la inclusión de información demográfica de los participantes. Para el procesamiento de la información extraída mediante el test, se diseñó un nuevo modelo basado en técnicas multivariantes. Este modelo se desarrolló con base a la información obtenida de los datos sociodemográficos, factores individuales, factores sociales, variables sociales extra laborales, variables organizacionales y del Cuestionario Maslach Burnout Inventory (MBI) que están asociados al síndrome de burnout. El instrumento constó de 37 variables que consideran los factores anteriormente mencionados. Todos los datos obtenidos de cada docente fueron estructurados como observaciones las cuales ayudaron a determinar los clasificadores automáticos obtenidos por técnicas multivariantes. Entre los clasificadores que se usaron en el presente estudio estuvieron los clasificadores neuronales sin capas ocultas, redes neuronales poco profundas y varios modelos de Deep Learning. De todas las técnicas implementadas se determinó que el modelo de 5 capas ocultas con la configuración de 48, 69, 52, 101 y 97 neuronas fue el que logró el mejor desempeño para la detección automática del síndrome de burnout en la dimensión de cansancio emocional, llegando a un desempeño con las métricas de Loss=1.3013562, Accuracy=0.8600000 y MSE= 0.1193604, considerando la existencia de una base de datos de prueba que no fue observada por el clasificador durante el proceso de entrenamiento.

Se concluye entonces que existe la posibilidad de la detección automática del síndrome de burnout en la dimensión de cansancio emocional en docentes de unidades educativas de la provincia del Carchi, permitiendo además, considerar factores demográficos y todos los factores asociados al síndrome de burnout de manera precisa y confiable, mediante el uso de técnicas de Deep Learning que siguen mostrando su alto potencial en el diagnóstico de riesgos asociados a síndromes en profesionales de la educación.

Referencias

[1]. C. Lauracio and T. Lauracio, "Síndrome de Burnout y desempeño laboral en el personal de salud," Revista Innova Educación, vol. 2, no. 4, pp. 543–554, Oct. 2020, doi: 10.35622/j.rie.2020.04.003.

[2]. D. Abril, G. Cabrera, M. Cajamarca, and E. Gutiérrez, "Sistema informático para gestionar información del Síndrome de Burnout en enfermería durante la COVID-19," vol. 15, 2022, [Online]. Available: http://publicaciones.uci.cu

[3]. K. Bolaños, "Medición del estrés laboral en los docentes de la Unidad Educativa José Julián Andrade Carchi Ecuador 2020," 2021.

[4]. M. P. Egea-Romero and M. I. Galindo-Abradelo, "Factores de riesgo para padecer burnout en docentes universitarios: un estudio cualitativo," VISUAL REVIEW. International Visual Culture Review / Revista Internacional de Cultura Visual, vol. 9, no. Monográfico, pp. 1–11, 2022, doi: 10.37467/revvisual.v9.3635.

[5]. Á. Rivera Guerrero, P. Segarra Jaime, and G. Giler Valverde, "Síndrome de Burnout en docentes de instituciones de educación superior," Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, vol. 38, no. 2, pp. 17–23, 2018.

[6]. C. Pinel-Martínez, M. D. C. Pérez-Fuentes, and J. J. Carrión-Martínez, "Researching burnout in spanish teachers: A review of the associated factors and assessment instruments," Bordon, Revista de Pedagogia, vol. 71, no. 1, pp. 115–131, 2019, doi: 10.13042/Bordon.2019.62122.

[7]. J. Esteras, P. Chorot, and B. Sandín, "Predicción del burnout en los docentes: Papel de los factores organizacionales, personales y sociodemográficos," Revista de Psicopatologia y Psicologia Clinica, vol. 19, no. 2, pp. 79–92, 2014, doi: 10.5944/rppc.vol.19.num.2.2014.13059.

[8]. B. W. Seok, K. hoan Wee, J. young Park, D. Anil Kumar, and N. S. Reddy, "Modeling the teacher job satisfaction by artificial neural networks," Soft comput, vol. 25, no. 17, pp. 11803–11815, 2021, doi: 10.1007/s00500-021-05958-0.

[9]. I. Özdemir and D. Polat, "International Journal of Educational Studies Available Online at ESci Journals AWARENESS AND RELATIONSHIP MANAGEMENT) AND LEADERSHIP," International Journal of Educational Studies, vol. 04, no. 02, pp. 37–47, 2017, [Online]. Available: https://esciencepress.net/journals/index.php/IJES/article/view/1935/1126

[10]. A. E. Jácome Ortega, J. A. Caraguay Procel, E. P. Herrera-Granda, and I. D. Herrera Granda, "Confirmatory Factorial Analysis Applied on Teacher Evaluation Processes in Higher Education Institutions of Ecuador," 2020, pp. 157–170. doi: 10.1007/978-3-030-37221-7_14.

[11]. H. Ghorbani, "MAHALANOBIS DISTANCE AND ITS APPLICATION FOR DETECTING MULTIVARIATE OUTLIERS," Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics, p. 588, Oct. 2019, doi: 10.22190/FUMI1903583G.

[12]. E. P. Herrera-Granda, L. L. Lorente-Leyva, J. Yambay, J. Aranguren, M. Ibarra, and J. Peña, "Controller Modeling of a Quadrotor," Ingénierie des systèmes d information, vol. 27, no. 1, pp. 21–28, Feb. 2022, doi: 10.18280/isi.270103.

[13]. M. Martínez Ávila, "Análisis factorial confirmatorio: un modelo de gestión del conocimiento en la universidad pública," RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, vol. 12, no. 23, Dec. 2021, doi: 10.23913/ride.v12i23.1103.

[14]. W. Sandoval, "Análisis de Componentes Principales," rstudio-pubs.

[15]. C. C. Aggarwal, Neural Networks and Deep Learning. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-94463-0.

[16]. S. S. Alquegui, "Design and implementation of an indoor positioning system based on wireless embedded devices and Machine Learning," 2022. Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/25230/441668.pdf?sequence=1

[17]. S. Weidman, Deep learning from scratch, First. O'Reilly, 2019.

[18]. L. L. Lorente-Leyva, J. F. Pavón-Valencia, Y. Montero-Santos, I. D. Herrera-Granda, E. P. Herrera-Granda, and D. H. Peluffo-Ordóñez, "Artificial Neural Networks for Urban Water Demand Forecasting: A Case Study," J Phys Conf Ser, vol. 1284, no. 1, p. 12004, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1284/1/012004.

[19]. L. Deng, M. Yang, H. Li, M. R. Lyu, and I. King, "Enhancing the reliability of out-of-distribution image detection in neural networks. ," Mar. 2021.

[20]. A. Kaur and R. Saluja, "Handling Class Imbalance Problem Using Oversampling Techniques: A Review. In Advances in Computing and Data Sciences ," Springer, Singapore, pp. 9–19, 2020.

[21]. Z. Zhang, S. Zohren, and S. Roberts, "DeepLOB: Deep Convolutional Neural Networks for Limit Order Books," vol. 6, Aug. 2020, doi: 10.1109/TSP.2019.2907260.

[22]. C. Shorten and T. M. Khoshgoftaar, "A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning," J Big Data, vol. 6, no. 1, pp. 1–48, Dec. 2019, doi: 10.1186/s40537-019-0197-0.

[23]. 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. doi: 10.1016/j.procs.2018.05.069.

[24]. A. E. Jácome Ortega, J. A. Caraguay Procel, E. P. Herrera-Granda, and I. D. Herrera Granda, "Confirmatory Factorial Analysis Applied on Teacher Evaluation Processes in Higher Education Institutions of Ecuador," in Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, 2020, pp. 157–170. doi: 10.1007/978-3-030-37221-7_14.

[25]. E. P. Herrera-Granda, I. D. Herrera-Granda, L. L. Lorente-Leyva, P. D. Granda-Gudiño, and J. A. Caraguay-Procel, "Implementation of an Artificial Vision System and Monitoring of Human Objectives using a Quadricopter," Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, vol. 2019, no. E19, pp. 198–211, 2019, [Online]. Available: https://www.proquest.com/openview/ca355d43bc1ac0d236ca8da769393332/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

[26]. E. P. Herrera-Granda, J. C. Torres-Cantero, A. Rosales, and D. H. Peluffo-Ordóñez, "A Comparison of Monocular Visual SLAM and Visual Odometry Methods Applied to 3D Reconstruction," Applied Sciences, vol. 13, no. 15, p. 8837, Jul. 2023, doi: 10.3390/app13158837.

[27]. E. P. Herrera-Granda, A. L. Díaz-Chimbo, P. Granda-Gudiño, M. R. Pusdá-Chulde, and I. D. García-Santillán, "Prototype of an Android mobile application for real time drowsiness detection and alertness applied in night driving," Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, vol. 2020, no. E32, pp. 98–112, 2020, [Online]. Available: https://www.proquest.com/openview/63deba1836c13b0fe0b01069ba7cda50/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

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

[29]. 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

[30]. 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, doi: 10.7717/PEERJ-CS.724.

Anexos

Las imágenes de las arquitecturas de las mejores configuraciones de redes neuronales se encuentran en: https://goo.su/KMFox

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

The strategic process and competitiveness of a consulting company in 2022, case: JC Ingeniería y Consultoría S.A.C.

El proceso estratégico y la competitividad de una empresa consultora en el año 2022, Caso: JC Ingeniería y Consultoría S.A.C.

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1160

Juan C. Condori Antezana[1], Cayo León Fernández[1], Alejandro Bartra Mori[1] and Fausto Salazar Fierro[1-2]

[1] Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Calle German Amezaga 375 - Lima- Ciudad Universitaria, Lima, Perú
[2] Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio – Ibarra - Ecuador

jcondori@ciplima.org.pe; cleonf@unmsm.edu.pe; abartram@unmsm.edu.pe; fasalazar@utn.edu.ec

Fecha de envío, octubre 10/2024 - Fecha de aceptación, diciembre 3/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2024

Resumen: La empresa consultora JC Ingeniería y Consultoría S.A.C. no ha desarrollado un análisis exhaustivo de su proceso estratégico, lo que limita su consolidación en el sector consultoría. En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre el proceso estratégico y la competitividad de la empresa consultora JC Ingeniería y Consultoría S.A.C. en el año 2022. Se utilizó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, descriptivo y correlacional. La población estuvo conformada por 20 profesionales subcontratados por la empresa. Se aplicaron dos encuestas, validadas por expertos, cuyos coeficientes de confiabilidad mediante Alpha de Cronbach fueron 0.875 y 0.898 para las variables "proceso estratégico" y "competitividad empresarial", respectivamente. Los resultados, analizados con el software SPSS, mostraron una relación positiva significativa entre el proceso estratégico y la competitividad, con un coeficiente de correlación de 0.696, lo que permitió rechazar la hipótesis nula. Esto evidenció que el desarrollo adecuado del proceso estratégico incide positivamente en la competitividad de la empresa. Se concluyó que la mejora continua del proceso estratégico puede ser un factor clave para consolidar la posición de la empresa en el sector consultoría, proporcionando un marco efectivo para medir y optimizar su impacto en la competitividad.

Palabras clave: Proceso, Estratégico, Competitividad, Consultoría, Empresa.

Abstract: The consulting firm JC Ingeniería y Consultoría S.A.C. has not conducted a thorough analysis of its strategic process, which limits its consolidation in the consulting sector. In this context, the objective of this study was to determine the relationship between the strategic process and the competitiveness of the consulting firm JC Ingeniería y Consultoría S.A.C. in 2022. A quantitative approach was used, with a non-experimental, descriptive, and correlational design. The population consisted of 20 professionals subcontracted by the company. Two surveys, validated by experts, were applied, with Cronbach's Alpha reliability coefficients of 0.875 and 0.898 for the variables "strategic process" and "business competitiveness," respectively. The results, analyzed using SPSS software, showed a significant positive relationship between the strategic process and competitiveness, with a correlation coefficient of 0.696, which led to the rejection of the null hypothesis. This demonstrated that the proper development of the strategic process positively influences the company's competitiveness. It was concluded that the continuous improvement of the strategic process could be a key factor in consolidating the company's position in the consulting sector, providing an effective framework for measuring and optimizing its impact on competitiveness.

Keywords: Process, Strategic, Competitiveness, Consulting, Business.

Autor de correspondencia:
Juan Condori email: condori@ciplima.org.pe

CC BY NC ND

Introduction

After the restrictions implemented to curb the spread of COVID-19 were gradually lifted in Peru and the majority of the population received all three doses of the vaccine, the country's economy showed growth of 3.6% in 2022. This growth was due to several factors, including the recovery of the economic activities most affected by the pandemic, an increase in domestic demand driven by private spending and public investment, and favorable export dynamism in the context of high commodity prices and increased mining supply. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2022).

During March 2022, the business services sector recorded a growth of 2.73% compared to the same month of the previous year, especially in scientific and technical professional activities and market research (INEI, 2022). Neyra et al. (2017) explain that companies demand consultancy services in times of economic uncertainty to maintain expected productivity and profitability. This boom in the consulting sector reflects how more companies are turning to specialist consultancy to strengthen their market position and expand or manage strategic projects.

It is important to point out that organizational or business consultancy is an advisory service that facilitates the promotion of productivity among collaborators, allows the detection of problems within the analyzed entity, and offers practical solutions to face them. It also improves the working environment and promotes innovation in its processes (Pozo et al., 2021).

In light of the above, the consulting firm JC Ingeniería y Consultoría S.A.C. was created in February 2020 to offer consultancy services in the automotive sector. Despite being a new company, it has internationalized since 2022, working with companies such as Toyota del Perú S.A., Autonort Trujillo S.A.C., and Nissan Perú S.A.C. However, the company has not thoroughly analyzed its strategic process, which could limit its consolidation in the consultancy sector. It has not assessed whether its strategic objectives are being met or the environment is affecting its business processes.

In this context, the strategic process involves assessing a company's position by considering its functional areas, resources, and competitive environment, which determine its level of competitiveness. (Catachura, 2024). Good strategic planning can improve the competitiveness of consulting firms. The study's main contribution is developing an analytical framework for assessing and measuring the impact of the strategic process on JC Ingeniería y Consultoría S.A.C.'s competitiveness in 2022. A detailed analysis of competitiveness indicators and their relationship to the strategies implemented provides a framework that facilitates reviewing and adjusting the strategic process in the context of consulting firms. By identifying the most effective methods and their actual contribution to competitiveness, the study

Several research studies are relevant to this study. Vela y Germany (2020), in their research on a strategic expansion plan for a cooperative in Ucayali, conclude that there is a moderate relationship between strategic planning and business competitiveness, with a Spearman coefficient of 0.532 and a p-value < 0.01. On the other hand, Lobato, Vigo, and Palomino (2019) analyzed the strategic planning of Daewoo Electronics Peru and concluded that the company applies a generic strategy based on the cost approach. Arias (2019) found that strategic planning significantly impacts TATEPRO E.I.R.L.'s competitiveness, with a coefficient of determination of 95.40%. Soberón (2018), in its study on the relationship

between the strategic plan and the competitiveness of JSodel Ingenieros Servicios Generales, concluded that an adequate vision, mission, and internal and external analysis positively impact the company's competitiveness.

Similarly, Alvites (2018) showed that strategic planning optimizes Tel and Net Solution S.A.C.'s competitiveness, increasing its strength by 12.6% to 15.3%. Finally, Guevara (2017) analyzed Inversiones Belén Star S.A.C.'s competitiveness using tools such as Porter's Five Forces and the PEST matrix and concluded that adequate internal and external analysis is crucial to developing effective strategies.

Taken together, all these studies highlight the importance of the strategic process in company success and sustainability. This process enables a long-term vision that guides key decisions. It facilitates adaptation to a changing business environment, where identifying opportunities and threats is essential for growth.

Furthermore, in contrast to previous studies, which focused on companies in various sectors, this paper offers a unique contribution by focusing on the relationship between the strategic process and competitiveness within the specific context of a consulting firm. (JC Ingeniería y Consultoría S.A.C.). This approach allows for a deeper understanding of the impact of strategies tailored to the consultancy's unique challenges, providing an evaluative framework that can be useful both for the company under analysis and for other consultancies in the sector.

The strategic process is divided into several phases: formulation, implementation, and evaluation. The formulation includes the development of strategies that align resources with organizational objectives. Implementation refers to executing those strategies, while evaluation measures their effectiveness and feeds back into the strategic cycle. (Acevedo y Linares, 2014). Ballou (2004), the strategic process is interactive and iterative, involving multiple actors and generating constant feedback.

External assessment is key to understanding the influences of the environment on the organization, which is done using tools such as PEST analysis and the External Factor Evaluation Matrix (EFEM). This analysis helps to identify opportunities and threats, providing a basis for strategy formulation. (De Los Ríos, Fujiki, Julca and Repetto, 2017). In turn, the internal assessment, conducted through the AMOFHIT functional analysis, identifies strengths and weaknesses in key areas of the company, which allows the construction of the Internal Factors Assessment Matrix (IFAM). This matrix is essential to align internal strategies with organizational objectives.

Method

Quantitative research aims to explore or describe concepts (variables) or to relate or compare them with other concepts (variables). (Hernández et al., 2014). The deductive method was used, starting from general facts, such as reviewing and analyzing the company's processes and documents. JC Ingeniería y Consultoría S.A.C., The analysis of their strategic process and their competitiveness. This made it possible to formulate and test hypotheses; in this respect, Hernández et al. (2014) point out that hypotheses are at the heart of the quantitative-deductive approach.

The research was basic; Vara (2014) indicates that this type of study 'investigates the relationship between variables' and 'diagnoses a business reality.' It was descriptive, given that it sought to 'measure or collect information independently or jointly on the concepts or variables.' (Hernández et al., 2014). The variables investigated were 'the strategic process and business competitiveness.' It was also correlational, aiming to 'find out the relationship or degree of association between two or more variables.' (Hernández et al., 2014), and non-experimental, as the variables were not manipulated.

The population consisted of twenty professionals subcontracted by the company for the development and execution of the projects in 2022. The sample was a non-probabilistic census sample, as the entire population, i.e., the twenty professionals, was included.

SPSS software in its test version was used for data analysis, and the data collection instrument was developed through a literature review and validated by three experts. The instrument's reliability was assessed using Cronbach's Alpha coefficient, yielding a value of 0.875 for the 'strategic process' survey and 0.898 for the 'business competitiveness' survey.

The first survey comprised 17 items in four dimensions: External Evaluation, Internal Evaluation, Objectives, and Strategic Evaluation. The second survey comprised 19 items in six dimensions: Production and Operations, Quality Assurance, Marketing, Accounting and Finance, Human Resources, and Information Systems.

On the other hand, this study's methodology was designed to accurately analyze the relationship between the strategy process and competitiveness in JC Ingeniería y Consultoría S.A.C. The choice of the quantitative approach, together with the deductive method, allows the relationship between specific variables to be explored and verified, providing a solid basis for making inferences about the impact of the strategic process on competitiveness.

SPSS software was also selected because it can perform advanced statistical analyses and facilitate the application of correlational and reliability tests, which are essential in a study that seeks to establish relationships between variables.

Finally, the survey was chosen as a data collection instrument because it was necessary to obtain detailed insight into business professionals' perceptions and experiences regarding the strategic process and competitiveness.

Results

Spearman's correlation coefficient was used to assess the relationship between the strategic process and the competitiveness of a consulting firm since the data did not meet the normality required to use parametric correlations. This was confirmed by the Shapiro-Wilk normality test, which indicated a non-normal distribution ($p < 0.05$). Table 1 y 2 presents the distribution plot showing the non-normality of the data, which justified the use of the non-parametric Spearman's Rho statistic.

Table 1. Normality tests.

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistician	**gl**	**Sig.**	**Statistician**	gl	Sig.
Competitiveness of a company	,361	20	,000	,637	20	,000
Strategic process	,276	20	,000	,780	20	,000

a. Lilliefors significance correction

Table 3 shows the correlation results between the variables 'strategic process' and 'competitiveness of a consulting firm'.

Table 2. Correlation between 'strategic process' and 'competitiveness of a consulting firm'.

			Strategic process	**Competitiveness of a company**
Spearman's Rho	Strategic process	Correlation coefficient	1,000	,696**
		Sig. (bilateral)	.	,001
		N	20	20
	Competitiveness of a company	Correlation coefficient	,696**	1,000
		Sig. (bilateral)	,001	.
		N	20	20

**. The correlation is significant at the 0.01 level (bilateral).

The correlation coefficient of 0.696 indicates a significant positive relationship between the strategic process and the consulting firm's competitiveness. Since the p-value (0.001) is less than the significance level of 0.05, the null hypothesis is rejected, concluding that there is a significant relationship between the two variables.

Two surveys were conducted to measure the variables 'strategic process' and 'enterprise competitiveness.' The first survey assessed four dimensions of the strategic process (External Assessment, Internal Assessment, Objectives, and Strategic Assessment), while the second survey covered six dimensions of enterprise competitiveness (Production and Operations, Quality Assurance, Marketing, Accounting, and Finance, Human Resources, and Information Systems).

The reliability of both instruments was measured using Cronbach's Alpha coefficient, with the following results being obtained:

Table 3. Cronbach's Alpha of the surveys.

Variable	Dimensions	Ítems	Alpha de Cronbach
Strategic process	External evaluation, Internal evaluation, Objectives, Strategic evaluation, Strategic assessment	17	0.875
Business competitiveness	Production and Operations, Quality Assurance, Marketing, Accounting and Finance, Human Resources, Information Systems, and Information Systems.	19	0.898

Cronbach's Alpha values indicate good internal consistency for both instruments, with a value above 0.7, suggesting that the surveys were reliable in measuring the variables of interest.

All four dimensions (External assessment, internal assessment, objectives, and strategic assessment) were assessed and showed a significant positive relationship with competitiveness. The internal and external evaluation revealed that the company adequately aligns its diagnosis and strategic goals.

Regarding Business Competitiveness, the six dimensions assessed (Production and Operations, Quality Assurance, Marketing, Accounting, Finance, Human Resources, and Information Systems) indicated that the company has improved in key areas that directly influence its competitiveness. Diversification of its portfolio and international expansion were mentioned as strengths, although opportunities for improvement were identified in Human Resources and Information Systems.

Discussion

The present study improves and complements the findings of Vela et al. Germany (2020), developed a strategic expansion plan to optimize the competitiveness of a cooperative in Ucayali. The relationship in Vela and Germany study had a moderate relationship between the variables strategic plan and enterprise competitiveness with a Spearman correlation coefficient of 0.532; the present study in a consulting firm found a stronger correlation of 0.696, suggesting that a well-developed strategic process can have a more significant impact on competitiveness. In addition, the sample covered key personnel in the execution of the projects, providing a more detailed focus on the internal processes that impact competitiveness.

It is suggested that this study be replicated in other companies in the consulting sector to assess the consistency of the findings and to explore the impact of additional variables, such as technological innovation and organizational culture, on business competitiveness.

One of the main limitations of the present study was related to the sample; although it included all relevant staff, it needed to be bigger, limiting the statistical analysis and the representativeness of the results.

Conclusions

The analysis of the study reveals that, in the year 2022, the consulting company's strategic process has proven to be a determining factor in its level of competitiveness. The positive correlation between the strategic process and competitiveness supports the idea that long-term strategy planning and execution are directly linked to market success. The acceptance of the alternative hypothesis reflects the importance of considering the strategic process as a fundamental tool for the development and competitive position of the company in the sector.

Furthermore, the analysis suggests that the consulting firm has effectively integrated the strategic process into its day-to-day operations, reflected in its ability to diversify its portfolio and embark on a process of internationalization. Expansion into international markets and the incorporation of new lines of solutions indicate a coherent alignment of strategies with long-term objectives.

The results of the study, in terms of Spearman's correlation coefficient of 0.696, show a strong positive relationship between the strategic process and the competitiveness of the consulting firm. This correlation, when compared to the study of Vela y Germany (2020), which reported a coefficient of 0.532, suggests that in the context of a consulting firm, a well-structured strategic process has a noticeable impact on its competitiveness. The results reinforce the relationship between the key components of the strategic process (mission, vision, strategic objectives, internal and external analysis) and business competitiveness indicators.

Analysis of the company's strategic process also reveals the effectiveness of its decisions and actions over the long term. The ability to adapt to changing market conditions and anticipate emerging trends are key aspects that highlight the robustness of its strategic process. Focusing on 'Knowledge Management' and 'Innovation' as strategic pillars provides a solid basis for decision-making that drives competitiveness, enabling the company to differentiate and stand out in a dynamic business environment.

On the other hand, future studies could extend the sample and include other consultancies to analyze the consistency of these results in different organizational environments. Furthermore, it is recommended to explore the role of additional variables such as technological innovation and organizational culture, factors not considered in this research but that could enrich the understanding of business competitiveness. Integrating additional metrics or standards, such as ISO, could provide a more detailed framework for assessing the implementation and impact of long-term strategies.

References

[1]. Acevedo, A. y Linares, C., "El proceso estratégico en el sector de tecnologías de comunicación e información. Un enfoque competitivo en industrias reguladas," Industrial Data, vol. 17, no. 1, pp. 46-55, 2014.

[2]. Alaña, T., Crespo, M. y Gonzaga, S., "¿Cómo las estrategias empresariales permiten una ventaja competitiva en las micro, pequeñas y medianas empresas de la provincia de el oro?," Universidad y Sociedad, vol. 10, no. 2, pp. 251-256, 2018.

[3]. Alic, J., Evaluating industrial competitiveness at the office of technology in society, New York: Basic Book Inc, 1987.

[4]. Alvites, L., "Plan estratégico y su efecto en la competitividad de la empresa Tel And Net Solution S.A.C. 2018," 2018.

[5]. Arias, J., "La planificación estratégica y su influencia en la competitividad de la empresa TATEPRO E.I.R.L., Tacna, 2018," 2019.

[6]. Ballou, R., Logística - Administración de la Cadena de Suministro, México: Pearson Educación , 2004.

[7]. Buendía, E., " El papel de la Ventaja Competitiva en el desarrollo económico de los países," Análisis Económico, vol. 28, no. 69, pp. 55-78, 2013.

[8]. Capiotti, P., Planificación estratégica de la imagen corporativa, Editorial Ariel, 2013.

[9]. Castro, E., "Las estrategias competitivas y su importancia en la buena gestión de las empresas," Ciencias Económicas, vol. 28, no. 1, pp. 247-276, 2010.

[10]. Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, "Plan Estratégico Sectorial Multianual PESEM – Educación (2016 – 2021)," 2016.

[11]. D'Alessio, F., El proceso estratégico – Un enfoque de gerencia. Pearson Educación de México S.A., Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.

[12]. De Los Ríos, G., Fujiki, R., Julca, R. y Repetto, L., "Análisis de factibilidad para crear una empresa comercializadora e integradora de tecnología," 2017.

[13]. Fujiki, G., Julca, R. y Repetto, R., "Análisis de factibilidad para crear una empresa comercializadora e integradora de tecnología," 2017.

[14]. Guevara, H., "plan estratégico para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la empresa procesadora de frutas Inversiones Belén Star S.A.C.," 2017.

[15]. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista. P., Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill Education, 2014.

[16]. Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], "Sector servicios prestados a empresas aumentó 2,73% en marzo del presente año," 2022.

[17]. Leal, D., Bolívar, M. y Castillo, C., "La Planificación Estratégica como proceso de integración de un equipo de salud," Revista Electrónica Trimestral de Enfermería, vol. 24, pp. 180-188, 2011.

[18]. Lira, J., y Castro, R., "Servicios de consultoría," 2014. [Online]. Available: http://gestion.pe/tendencias/hayalgunos-servicios-consultoria-que-son-mas-sexis-que-otros-2101176.

[19]. Lobato, L., Vigo, L. y Palomino, E., "Planeamiento estratégico de la empresa Daewoo Electronics Perú, periodo 2017-2019," 2019. [Online]. Available: https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/1942/Luis_Tesis_maestria_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[20]. Marchione, J., "El proceso estratégico," Boletín de Lecturas Sociales y Económicas, vol. 7, no. 30, pp. 38-53, 2018.

[21]. Mas, G., "Análisis y propuesta de mejora de una empresa de mantenimiento electrónico de instrumentación medioambiental en Paterna," 2020. [Online]. Available: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29950/TFC_GEMMA%20MAS.pdf?sequence=1.

[22]. Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], "La economía peruana crecería 3,6% en 2022 y se continuará con el manejo fiscal prudente y responsable," 2022. [Online]. Available: https://www.mef.gob.pe/index.php/?option=com_content&view=article&id=7357&Itemid=101108&lang=es#:~:text=prensa%20y%20comunicados-,La%20econom%C3%ADa%20peruana%20crecer%C3%ADa%203%2C6%25%20en%202022%20y%20se,Marco%20Macroecon%C3%B3mico%20Multianual%20(MMM).

[23]. Ministerio de trabajo y Promoción del Empleo, "Plan Estratégico Institucional del Ministerio de trabajo y Promoción del Empleo 2017-2022," 2017. [Online]. Available: https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=141&id_tema=5&ver=D#.X__AGehKg2w.

[24]. Neyra, C., "Calidad en las Empresas del Sector Consultoría y Auditoría en el Perú," 2017. [Online]. Available: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8548.

[25]. Porter, M., "From Competitive Advantage to Corporate Strategy," Harvard Business Review , 1987.

[26]. Porter, M. , What is Strategy?, Hardvard Business Review, 1996.

[27]. Saavedra, M., "Una propuesta para la determinación de la competitividad en la pyme latinoamericana," ensamiento y Gestión, vol. 33, pp. 93-124, 2012.

[28]. Sánchez, K., "Planeamiento estratégico y su relación con la gestión de la calidad de la institución educativa Mercedes Indacochea Lozano del distrito de Huacho, Provincia De Huaura – 2016," 2016.

[29]. Soberón, E., "elaboración de un plan estratégico y su relación con la competitividad de la empresa Sodel Ingenieros Servicios Generales," 2018.

[30]. Solleiro, J. y Castañón, R., "Competitiveness and innovation systems: the challenges for México's insertion in the global contex," Technovation, vol. 45, pp. 1059-1070, 2005.

[31]. Terán, O., Sánchez, I. y Ruíz, M., "Cuadro de mando integral (CMI) como herramienta para identificar el comportamiento del capital humano," Revista Omnia, vol. 12, no. 1, pp. 121-134, 2012.

[32]. Vara, A., Desde la idea hasta la sustentación: 7 pasos para una tesis exitosa, Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos, 2014.

[33]. Vela, A. y Germany, L., "Plan estratégico de expansión para mejorar la competitividad empresarial de la Cooperativa Sol Amazónico Región Ucayali, 2020," 2020.

[34]. Rosas, N., "Planeamiento estratégico y su repercusión en la gestión empresarial del sector turismo de la región Puno, 2015 – 2016," 2016. [Online]. Available: http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/628.

[35]. A. Pozo, B. Uranga, A. Brossar and R. Ferro, "Consultoría organizacional, medio de mejora en los procesos empresariales. Caso de studio," Ciencias Holguín, vol. 27, no. 4, 2021.

[36]. Catachura, A, Gestión estratégica y turismo sostenible una guía de estudio, Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C., 2024.

VOL. 7 Nº1 - 2025

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Estudio de la asociatividad en las MIPYMES de la provincia de Imbabura- Ecuador, caso de estudio industrias manufactureras

Study of Associativity in MSMEs in the Province of Imbabura, Ecuador: A Case Study of Manufacturing Industries

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1078

Jenyffer A. Yepez Chicaiza , Karla P. Negrete Esparza , Marco Alarcón

Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

jayepez@utn.edu.ec; kpnegrete@utn.edu.ec; mgalarconc@utn.edu.ec

Fecha de envío, abril 26/2024 - Fecha de aceptación, julio 5/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: La investigación sobre las MIPYMES en la provincia de Imbabura se realizó mediante una encuesta diseñada para evaluar el conocimiento sobre la asociatividad y sus beneficios. Además, se indagó sobre si las empresas están interesadas en gestionar un modelo de consorcio asociativo según su sector económico y actividad laboral. La investigación se dividió en varias fases: Fase I: Identificación de la población y selección de la muestra aplicando fórmulas estadísticas. Se seleccionó un mayor número de empresas de acuerdo con el sector económico y el cantón, obteniendo una muestra de 277 empresas. Fase II: Recopilación de información mediante una encuesta dividida en dos partes. La primera parte permitió recoger datos sobre la planificación estratégica de cada MIPYME, revelando que pocas empresas cuentan con una planificación estratégica y estructura organizacional. En la segunda parte, se formularon seis preguntas para analizar si las empresas están interesadas en formar consorcios asociativos. Los resultados mostraron un desconocimiento sobre los beneficios de un consorcio asociativo, pero también hay un interés en gestionar actividades que mejoren su posicionamiento tanto a nivel nacional como internacional.

Palabras Clave: Asociatividad, MIPYMES, consorcios, planificación estratégica.

Abstract: The research on MSMEs in the province of Imbabura was carried out through a survey designed to evaluate knowledge about associativity and its benefits. In addition, it was investigated whether companies are interested in managing an associative consortium model according to their economic sector and work activity. The research was divided into several phases: Phase I: Identification of the population and selection of the sample applying statistical formulas. A greater number of companies were selected according to the economic sector and the canton, obtaining a sample of 277 companies. Phase II: Collection of information through a survey divided into two parts. The first part allowed us to collect data on the strategic planning of each MSME, revealing that few companies have strategic planning and organizational structure. In the second part, six questions were asked to analyze whether companies are interested in forming associative consortia. The results showed a lack of knowledge about the benefits of an associative consortium, but there is also an interest in managing activities that improve its positioning both nationally and internationally.

Keywords: Associativity, medium and small businesses, consortia, strategic planning.

Autor de correspondencia:
Jenyffer Alexandra Yepez, jayepez@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

Impulsar a las MIPYMES en el desarrollo de ventajas sostenibles en un mercado cada vez más competitivo y complejo dependerá de su flexibilidad y capacidad para adaptarse al contexto. Agruparse con otras empresas de características similares les otorga la ventaja de ser más competitivas y promover alianzas comerciales tanto a nivel nacional como internacional.

Por lo expuesto, la asociatividad se define como una forma de colaboración conjunta entre micro, pequeñas y medianas empresas que se adhieren manteniendo su autonomía legal, con el propósito de llevar a cabo acciones conjuntas y de mutuo acuerdo en relación con los recursos, transferencia de conocimiento y tecnología, con la finalidad de incrementar la eficiencia y eficacia empresarial [1].

Los beneficios de ser parte de este tipo de asociación empresarial incluyen la mejora en la calidad del producto/servicio, un acceso a la transferencia de experiencias comerciales, adecuada gestión del conocimiento, una influencia positiva en los socios, así como el fortalecimiento de una base de confianza y un trabajo cooperativo. Todos estos elementos proporcionan a los empresarios una visión compartida y posicionamiento más sólido en el mercado global y el mercado interno [2].

Por lo tanto, para ser parte de una asociación, se precisa previamente tener una organización en la cual se gestionen las actividades de forma coordinada entre dos o más personas, puesto que una organización existe solo cuando se tiene capacidad de comunicación, acciones conjuntas y objetivos en común [3].

Cada MIPYME tiene su autonomía organizacional y comercial que le permite continuar con la gestión empresarial; sin embargo, la formación de un consorcio implica cumplir a cabalidad con requisitos que son parte de la sinergia de un consorcio, como son la adhesión libre y voluntaria, compromiso de realizar acciones conjuntas con los miembros del consorcio, participación de las actividades organizativas, visión compartida del tipo de consorcio que adoptarán en el campo comercial y selección adecuada de la figura jurídica.

Una de las estrategias organizacionales de la MPYMES para ser sostenibles en el mercado y posicionar la marca a través del crecimiento comercial es la de asociarse con otras organizaciones con características similares de sus productos y de la filosofía comercial, permitiendo crear una marca comercial colectiva que les permita ser más competitivos e incrementar los niveles de productividad y rentabilidad de cada empresa [4].

Tipos de asociatividad entre MIPYMES

- Red empresarial: Alianzas estratégicas entre un grupo de organizaciones con el objetivo común de incrementar la competitividad.
- Red empresarial vertical: Se refiere a la colaboración entre organizaciones que son parte de la cadena de valor y que crean valor en cada una de las actividades, permitiendo alcanzar una sinergia estratégica.
- Red empresarial horizontal: Implica la cooperación entre organizaciones que ofrecen el mismo producto o servicio, colaborando en actividades específicas, pero compitiendo en el mismo mercado a través de estrategias de promoción conjunta.

- Alianzas Estratégicas: Permiten a las organizaciones establecer acuerdos y políticas de operación, compartiendo autoridad gerencial para lograr una relación social adecuada y un posicionamiento conjunto.

- Clúster: Son empresas que se concentran geográfica y sectorialmente, fomentando la capacidad de innovación y conocimiento especializado. Esto les permite identificar oportunidades de manera conjunta y buscar nuevos mercados [5].

Planificación estratégica.

Continuando con el estudio, la selección del tipo de asociatividad se basa en una adecuada administración estratégica enfocada en la integración de las áreas organizacionales, tales como: marketing, finanzas, producción, investigación y desarrollo, y sistemas de información que garantice el éxito de una organización [6].

Los miembros de una asociación deben tener definida una meta asociativa del estado futuro deseado, preciso, cuantificable. En este contexto, el propósito de las metas es especificar con precisión lo que debe hacer una organización si quiere concretar la misión o visión. Para crear las metas es necesario considerar que sean medibles, relistas, periodo de alcance y nivel de importancia [7].

Para la formación de un consorcio, basado en la planificación y el planteamiento de las metas se debe tomar en cuenta las tres etapas principales que son planeación, ejecución, control y evaluación [8].

Una adecuada implementación de una asociación en función de la planificación estratégica dependerá en la medida de que los miembros del grupo formen parte permanente de las acciones a desarrollar, basado en la filosofía corporativa ideada de adentro hacia afuera, independiente del entorno externo. Está compuesta por sus principios y valores organizacionales y por los objetivos que caracteriza a un grupo de personas [9].

Etapas de las fases de formación de un consorcio

Gestación: Se da inicio mediante reuniones entre las empresas que se encuentran interesadas y que presentan características similares.

Estructuración: Plantear estrategias a realizarse para cumplir las metas establecidas.

Madurez: Se define una base de confianza basada en la autosostenibilidad.

Productiva: Propuesta del proyecto para el cumplimiento de las metas asignadas.

Declinación: Toma de decisiones en función de la permanencia o salida del grupo [10].

La importancia de consolidar un consorcio se basa en el nivel de confianza y compromiso del talento humano. El capital humano es el conjunto de conocimientos y entrenamientos para realizar las labores productivas con distintos grados de complejidad y especialización, considerando que una empresa requiere muchos campos de conocimiento y disciplinas para articular todas sus actividades [11].

Análisis del contexto en los consorcios

Los miembros de un consorcio deben asegurarse de adoptar metas, su logro aumentará el desempeño y la competitividad de sus empresas en el corto, mediano y largo plazo [12].

El análisis ambiental, se compone de dos tipos: factores externos e internos. Los factores externos se refieren a políticas comerciales, inestabilidad política, distancia geo-cultural, competencia de empresas locales y mercado de productos; y, en referencia a los factores internos se analiza: motivación, reducción de costos, estructura organizacional, tecnología interna, operaciones y cooperación para reducir barreras para la internacionalización [13].

Asegurar el cumplimiento de los objetivos estratégicos se relaciona con la eficacia y referente a la eficiencia se analiza el nivel de optimización de los recursos de las organizaciones que son parte de un Consorcio [14].

En referencia al posicionamiento de las organizaciones que conforman el consorcio, la marca representa una protección legal y de valor agregado, capaces de influir y motivar en el comportamiento del consumidor por su cualidad, filosofía y asociatividad [15].

Metodología

Para la ejecución de la investigación se planteó un trabajo por fases, en la fase I se realiza un estudio de tipo cuantitativo al recopilar información y elaborar un análisis estadístico, que se enfoca en la generación de consorcios de la provincia de Imbabura, donde como primer punto se determinó el número de empresas que se encuentran registradas en la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, de los cantones de Imbabura y la clasificación Industrial Internacional Uniforme de Actividades Económicas CIIU Revisión 4.0. sección manufactura, adicionalmente, mediante la aplicación de la fórmula para cálculo de muestra de población finita se obtiene una muestra de 277 MIPYMES, las que se seleccionaron por los cantones que conforman la provincia de Imbabura, en la fase II se diseñó y aplicó un cuestionario de 10 preguntas, donde se tomó en cuenta aspectos como son tipo de empresa, planificación estratégica y asociatividad.

Discusión y resultados

Fase I: Población y muestra

Para determinar la población se solicitó información al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC y el Directorio de Empresas y Establecimientos DIIE 2021, del cual se obtuvo una población de 30 053 empresas clasificadas de acuerdo con la sección de clasificación Industrial Internacional Uniforme de Actividades Económicas CIIU Revisión 4.0 que se encuentran legalmente constituidas y se clasifican de acuerdo con los sectores económicos enlistados como sigue:

- Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca
- Explotación minas y canteras
- Industrias manufactureras
- Suministro electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
- Distribución agua, alcantarillado, desechos y saneamiento

- Construcción
- Comercio, reparación de automotores y motocicletas
- Transporte y almacenamiento
- Actividades de alojamiento y de servicio de comidas
- Información y comunicación
- Actividades financieras y de seguros
- Actividades inmobiliarias
- Actividades profesionales, científicas y técnicas
- Actividades de servicios administrativos y de apoyo
- Administración pública y defensa, seguridad social
- Enseñanza
- Actividades de atención a la salud humana y asistencia social
- Artes, entretenimiento y recreación
- Otras actividades de servicios

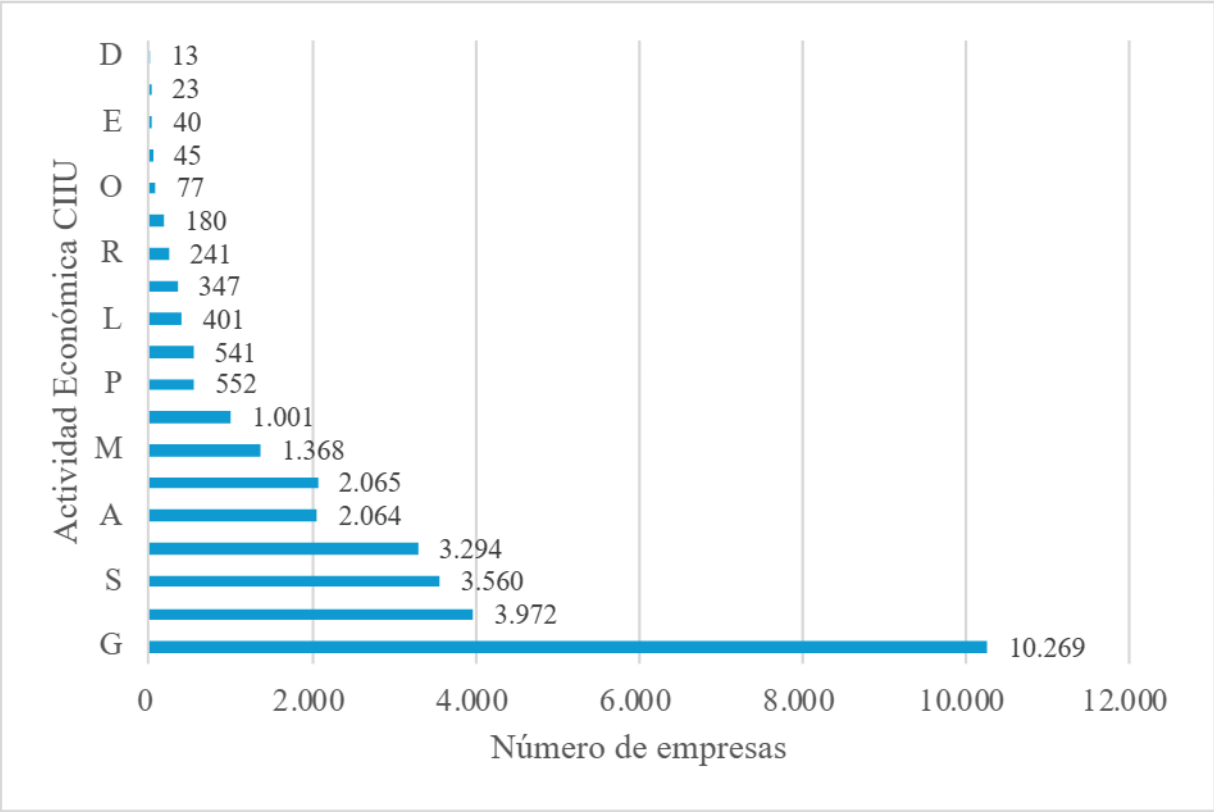


Fig. 1. Tipo de empresa, por sector económico

Como se puede apreciar en la Figura 1 y para efectos del caso de estudio, el cual se enfoca en industrias manufactureras de la provincia de Imbabura, se identifican un total de 3972 empresas ubicadas en los cantones de Ibarra, Antonio Ante, Otavalo, Pimampiro y San Miguel de Urcuquí, que se encuentran registradas en la sección c. industrias manufactureras, como se muestra en la Figura 2.

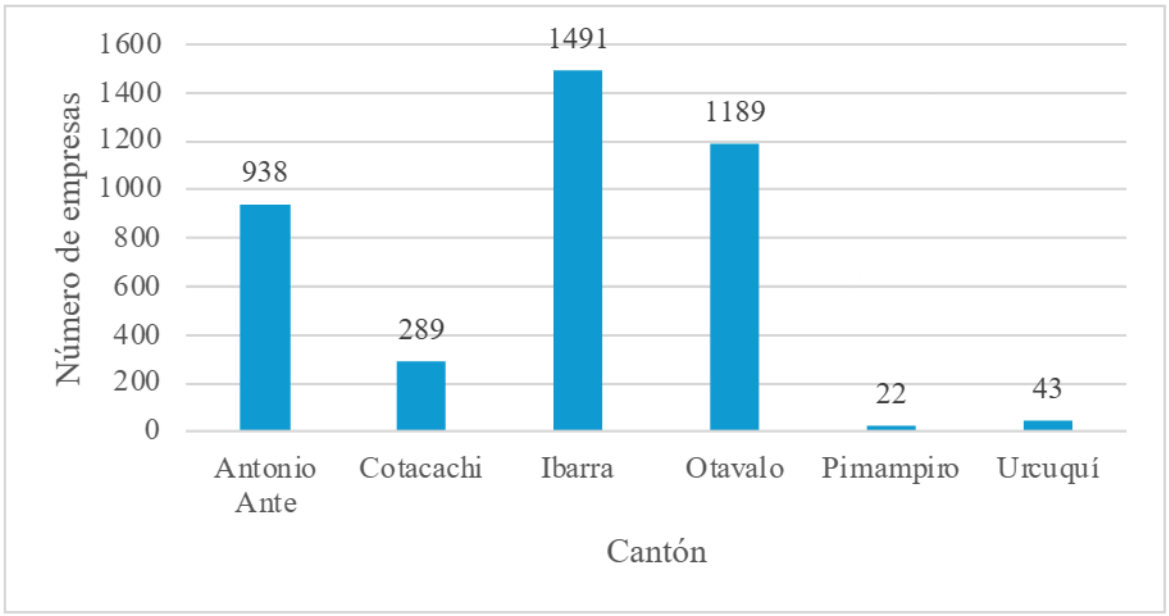


Fig. 2. Número de empresas en la provincia de Imbabura sección c, por cantón

La clasificación de la sección c. manufactura tiene una subsección denominada división, como se señala en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de empresas manufactureras por división y cantón

División	Antonio Ante	Cotacachi	Ibarra	Otavalo	Pimampiro	Urcuquí
C10 Alimentos	64	49	350	123	12	27
C11 Bebidas	2	3	12	4	0	1
C13 Textiles.	109	17	99	153	0	3
C14 Prendas de vestir.	629	91	364	699	4	0
C15 Cueros y productos conexos.	1	73	20	20	0	0
C16 Madera y corcho	16	3	92	23	0	1
C17 Papel	2	1	1	1	0	0
C18 Impresión de grabaciones.	12	5	48	18	0	0
C20 Productos químicos.	4	0	10	5	0	1
C22 Caucho y plástico.	2	1	9	4	0	0
C23 Minerales no metálicos	18	20	117	52	1	2
C24 Metales comunes.	1	1	15	2	2	1
C25 Productos de metal	24	8	101	22	0	1
C26 Productos de informática	0	0	1	1	0	0
C27 Equipo eléctrico.	3	0	14	3	0	0
C28 Maquinaria y equipo n.c.p.	6	1	15	3	0	0
C29 Vehículos automotores	0	0	11	1	0	0
C30 Otros equipos de transporte.	0	0	2	0	0	0

División	Antonio Ante	Cotacachi	Ibarra	Otavalo	Pimampiro	Urcuquí
C31 Muebles.	35	11	126	26	2	2
C32 Industrias manufactureras.	5	3	42	18	0	1
C33 Reparación de maquinaria y equipo.	5	2	42	11	1	3
Total	938	289	1.491	1.189	22	43

Para el estudio, se seleccionaron las MIPYMES considerando su actividad económica en los diferentes cantones de la provincia de Imbabura. En los cantones de Ibarra, Pimampiro y Urcuquí predominan las actividades agrícolas y las empresas de alimentos, por lo que se optó por la división C10. Asimismo, en los cantones de Ibarra, Antonio Ante y Otavalo, la mayoría de las empresas se dedican a la fabricación de prendas de vestir, y en Cotacachi se destaca por la producción de cuero y productos conexos. Esto se puede observar en la Tabla 1, que presenta una población de 2245 empresas.

Para determinar el tamaño de la muestra con la cual se realizará el respectivo análisis, se aplicó la ecuación (1), para una muestra de población finita, como lo determina Cochran [16].

$$n = \frac{N * Z^2 * p(1-p)}{e^2 * (\mathrm{N}-1)} \qquad (1)$$

Donde:

N corresponde a la población de 2245 MIPYMES de la provincia de Imbabura.

p = 0,50 que se refiere a la proporción estimada del parámetro a evaluar (probabilidad a favor);

q = (1−p), que es la probabilidad en contra (0,50)

Z = 1,96 es el valor de la distribución normal para un nivel de confianza de 95%

e = 5% error

Aplicando la fórmula, se obtuvo un tamaño de muestra de 277 MIPYMES, las cuales se distribuyeron según los cantones de la provincia de Imbabura, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de MIPYMES por cantón.

Año	Canton	C10 Elaboración de productos alimenticios	C14 Fabricación de prendas de vestir.	C15 Fabricación de cueros y productos conexos
2021	Ibarra	34	46	
	Antonio Ante		82	
	Cotacachi		10	10
	Otavalo		88	
	Pimampiro	3		
	San Miguel de Urcuquí	4		
	Total	41	226	10

Fase II. Aplicación de cuestionario

Al obtener la muestra de manera cualitativa se realizó el levantamiento de información referente a la planificación estratégica en las empresas, para lo cual se diseñó una encuesta de 10 preguntas en las cuales se consideró el tipo de empresa, planificación estratégica y asociatividad.

Parte I. Planificación estratégica

Tipo de empresa: la mayoría de las organizaciones a las cuales se aplicó la encuesta como se muestra en la Figura 3 son microempresas familiares, conformadas de 1 a 9 personas, mientras que, el 12% corresponde a pequeñas empresas formadas por 10 a 49 personas.

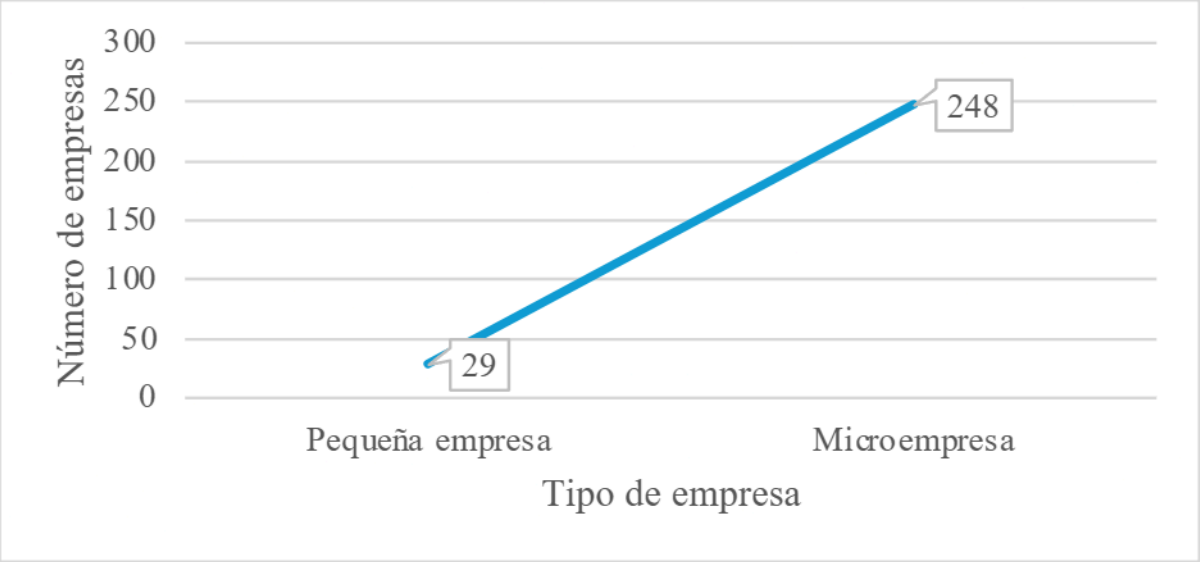


Fig. 3. Tipo de empresa.

Planificación estratégica: en la Figura 4 se puede visualizar que la mayoría de las organizaciones al ser pequeñas y medianas empresas no tienen una planificación estratégica definida, es decir no cuentan con una misión, visión, objetivos, metas establecidas, así como tampoco se han definido las funciones a desempeñar por cada empleado y las áreas de las empresas.

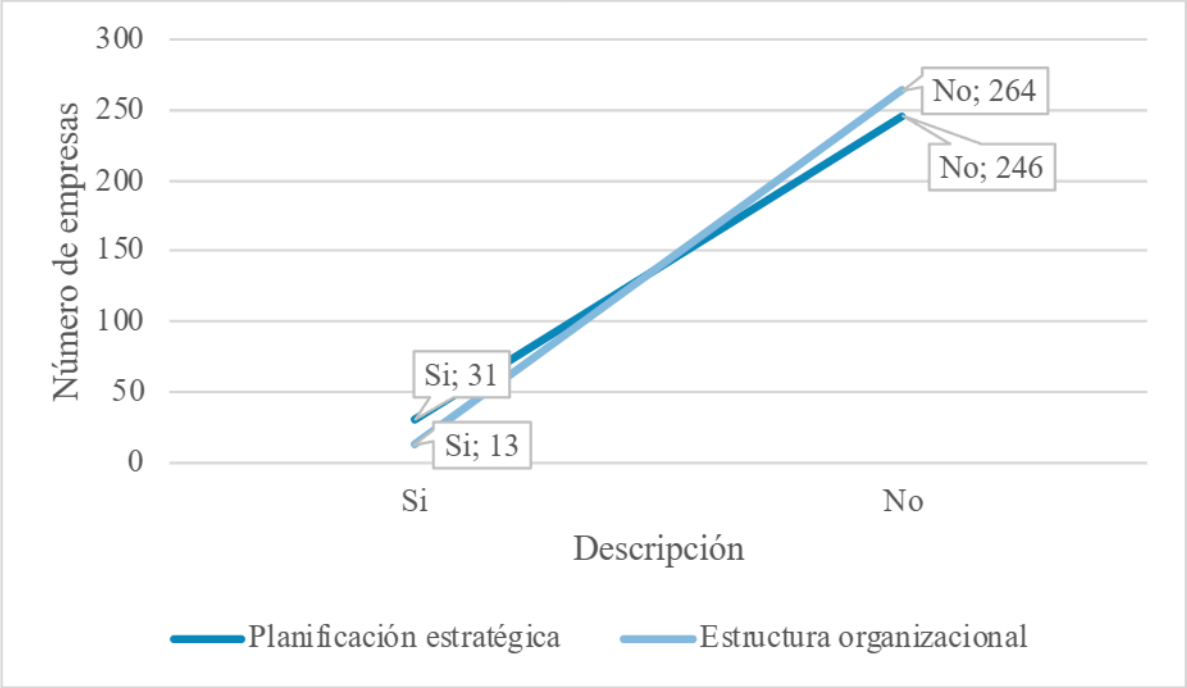


Fig. 4. Planificación estratégica.

Parte II. Percepción de la asociatividad

Percepción de la asociatividad como estrategia competitiva: para evaluar la asociatividad en la organización se elaboraron las preguntas que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Preguntas de asociatividad

Nro.	Pregunta
1	¿Conoce si existe algún consorcio o asociación de empresas en el sector que usted se desempeña?
2	La empresa forma parte de un grupo de empresas:
3	¿Conoce si la asociatividad genera beneficios a su empresa?
4	¿Le gustaría formar parte de un grupo de empresas que de manera asociativa que trabajen en conjunto en promoción y ventas a nivel nacional e internacional?
5	¿Le gustaría promocionar su marca comercial a nivel nacional?
6	¿Estaría dispuesto a fortalecer las bases de confianza con otras organizaciones de su sector económico, para promover acuerdos comerciales con el sector público y privado a nivel país?

La mayoría de las organizaciones desconocen la existencia de consorcios asociativos, pero sí les interesa formar parte de alguno, a fin de promocionar los productos que se venden, como se puede apreciar en la Figura 5.

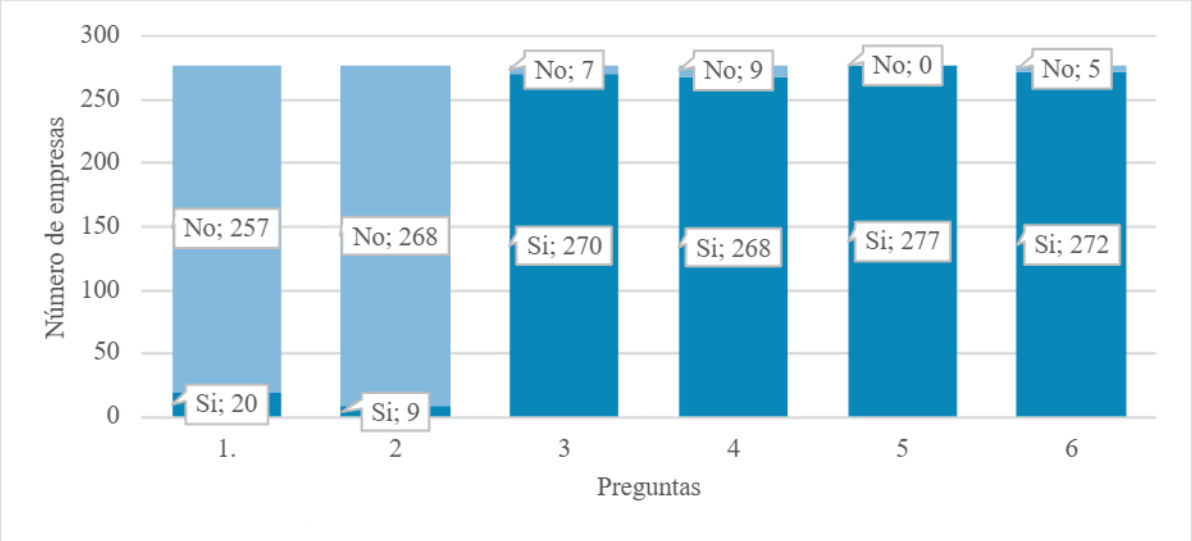


Fig. 5. Asociatividad en las empresas

Según las respuestas obtenidas en la encuesta realizada a las diferentes empresas ubicadas en los cantones de la provincia de Imbabura, se puede identificar una falta de conocimiento sobre las asociaciones existentes. Además, las empresas mostraron interés en formar parte de grupos empresariales, lo que podría beneficiar sus ventas y aumentar su visibilidad en el mercado.

Conclusiones y recomendaciones

En la investigación se identificó una población de 2245 MIPYMES, de las cuales se seleccionó una muestra de 277, clasificadas según el cantón y el sector económico. Las empresas con mayor presencia en Ibarra se dedican a la elaboración de productos alimenticios y la fabricación de prendas de vestir, similar a las de Antonio Ante y Otavalo. En Cotacachi predominan las empresas que fabrican prendas de vestir y artículos de cuero, mientras que, en Pimampiro y San Miguel de Urcuquí, debido a su carácter agrícola, se encuentran principalmente empresas de productos alimenticios.

Al aplicar los cuestionarios, se obtuvo información sobre la gestión de las empresas en los cantones de la provincia de Imbabura. Se identificó que, siendo pequeñas y medianas empresas, no ven la necesidad de elaborar una planificación estratégica ni una estructura organizacional que les permita plantearse metas y objetivos para mejorar su rendimiento.

La aplicación de la encuesta también reveló un desconocimiento sobre la asociatividad en las MIPYMES y los beneficios que esta genera. Sin embargo, las empresas mostraron interés en formar parte de una asociación que les permita vender su marca y abrirse mercado tanto a nivel nacional como internacional mediante alianzas con otras empresas.

Dado el interés de las personas que laboran en las MIPYMES, es necesario continuar generando guías que fomenten la asociatividad, proporcionando herramientas que mejoren las actividades laborales y potencien el desarrollo dentro de las empresas.

Referencias

[1]. Fernández, G., & Narváez, M. (2011). Visión Gerencial. Asociatividad empresarial: estrategia para la competitividad en las pymes del sector turístico., (2), 295-308. Recuperado de: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545891005

[2]. Piñero, F & Herrera G. (2011). Interacoes. Los consorcios de exportación como estrategia de inserción internacional; (1), 9-18. Recuperado de: https://www.scielo.br/j/inter/a/PWQSmfby9Qm7PKyqf7VCtyR/?format=pdf&lang=es

[3]. Chiavenato, I., Administración de Recursos Humanos. (Ed.): Mac Graw Hill, Pág. 6, (2009)

[4]. Fajardo, L &, Fernández M. (2016). La Asociatividad Micro empresarial, como mecanismo productivo sostenible: Caso Cantón Milagro - Ecuador. Universidad, Ciencia y Tecnología, 20(78), 4-13. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212016000100001&lng=es&tlng=es.

[5]. Parrales, J & Ponce, J. (2022). Dominio de las ciencias. La Asociatividad Empresarial y la Competitivas del Mercado Municipal de Frutas y Legumbres de Jipijapa; (8), 187-203. Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383385

[6]. Fred, D., Conceptos de Administración Estratégica. (Ed): Pearson, Pág 5 (2013)

[7]. Charles, W., & Gareth, R. Administración Estratégica. (Ed): Mc Graw Hill, Pág. 15 (2009)

[8]. Torres, Z., Administración Estratégica. (Ed): Grupo Editorial Patria, Pág. 22 (2014)

[9]. Chiavenato, I., Planeación Estratégica. (Ed) Mac Graw Hill, Pág. 55 (2017)

[10]. Pérez, F., (2020). Eruditus. Asociatividad empresarial: estrategia para la competitividad en las PYMES en el Ecuador., (1), 39-51 Recuperado de: https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/re/article/view/308

[11]. Larrarte, P., Fundamentos de Administración. (Ed.): Areandina. Pág. 38 (2018)

[12]. Charles, W., & Gareth, R. Administración Estratégica. (Ed): Cengage Learning, Pág.17 (2011)

[13]. Espejo, A., & Fuentes, F. (2015). Estudios Empresariales. Los consorcios de exportación: Revisión conceptual y factores determinantes de éxito., (2), 118-144. DOI: 10.17561/rev0i2.2743

[14]. Marco, F., Introducción a la Gestión y Administración en las Organizaciones. (Ed): Universidad Nacional Arturo Jauretche, Pág. 24 (2016)

[15]. Lane, K., Administración Estratégica de Marca. (Ed.): Pearson, Pág. 9 (2008)

[16]. Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques. John Wiley & Sons

VOL. 7 Nº1 - 2025

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Metodología para elaborar un plan estratégico de Organizaciones de Comercio Justo del Ecuador. Caso de estudio FEPP CAMARI.

Methodology for Developing a Strategic Plan for Fair Trade Organizations in Ecuador: Case Study of FEPP CAMARI

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.964

Karla P. Negrete Esparza, Jenyffer A. Yepez Chicaiza, Marco Alarcón

Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

kpnegrete@utn.edu.ec; jayepez@utn.edu.ec; mgalarconc@utn.edu.ec

Fecha de envío, febrero 15/2024 - Fecha de aceptación, julio 29/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: En el Ecuador existen organizaciones de Comercio Justo que brindan un acompañamiento al pequeño productor en la comercialización de sus productos; sin embargo, las actividades de gestión estratégica se realizan de forma empírica; por lo tanto, el objetivo principal del estudio se basa en diseñar una metodología de plan estratégico basada en cinco fases, como una alternativa importante para las organizaciones de pequeños productores que forman parte de Populorum Progressio (FEPP) CAMARI. El presente artículo incluye una revisión bibliográfica de los temas centrales que abordan la gestión estratégica, planeamiento estratégico y análisis ambiental del contexto; además, muestra con claridad las cinco fases de la propuesta de metodología de plan estratégico que son: diagnóstico, planeación, implementación, control y mejora continua. Se concluye que el desarrollo de las estrategias FO, FA, DO, DA son un paso a la generación de ventajas competitivas para CAMARI como comercializadora de productos de Comercio Justo y reconocida en el mercado nacional e internacional

Palabras Clave: Planeamiento Estratégico, Análisis Ambiental, Gestión Estratégica

Abstract: In Ecuador there are fair trade organizations that provide support to small producers in the marketing of their products; however, strategic management activities are carried out empirically; therefore, the main objective of the study is based on designing a strategic plan methodology based on five phases, as an important alternative for small producer organizations that are part of Populorum Progressio (FEPP) CAMARI. This article includes a bibliographic review of the central topics that address strategic management, strategic planning and environmental analysis of the context; in addition, it clearly shows the five phases of the proposed strategic plan methodology, which are: diagnosis, planning, implementation, control and continuous improvement. It is concluded that the development of the FO, FA, DO, DA strategies are a step towards generating competitive advantages for CAMARI as a marketer of Fair-Trade products and recognized in the national and international market.

Keywords: Strategic Planning, Environmental Analysis, Strategic Management

Autor de correspondencia:
Karla Paola Negrete Esparza , kpnegrete@ utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

Según la Organización Mundial del Comercio Justo, WFTO es una relación de intercambio basada en el diálogo, la transparencia y la confianza, que busca mayor justicia en la actividad comercial. Contribuye al desarrollo sustentable de los pequeños productores, ofreciendo mejores condiciones comerciales, lo que asegura que se cumplan sus derechos [1].

Una de las organizaciones que es parte de WFTO, es el Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP) que en 1981 fundó Camari, como un Sistema Solidario de Comercio Justo, con la misión de promover el desarrollo integral de los pequeños productores y con ello contribuir en la mejora de sus condiciones de vida.

En el Ecuador el Comercio Justo representa aproximadamente el 1% del total de exportaciones no petroleras, agrupa a 59 organizaciones y empresas certificadas [2]. Es por esto, la importancia de direccionar estratégicamente en el contexto de las organizaciones de pequeños productores y lo que motivó el estudio de la propuesta de metodología de planeamiento estratégico. Actualmente, la problemática que enfrentan los pequeños productores se basa en las actividades que realizan de forma empírica, sin tener una hoja de ruta que les permita direccionar sus esfuerzos hacia el cumplimiento de la misión, visión y objetivos estratégicos en el largo plazo.

La inexistencia de la planeación estratégica no les permite:

- Diseñar una estructura organizacional
- Planificar la capacidad de producción
- Generar valor agregado en los productos
- Formular estrategias
- Estandarizar los procesos de producción
- Fortalecer la asociatividad con organizaciones del mismo sector agroindustrial

Por otro lado, CAMARI, al ser una comercializadora del Comercio Justo, precisa cumplir con estándares de calidad internacionales y para ello, los pequeños productores deben ser flexibles y adaptarse a las políticas organizacionales de FEPP CAMARI; por lo tanto, el objetivo del presente artículo se basa en diseñar una metodología de plan estratégico compuesta por 5 fases alineadas estratégicamente a Camari, que basa su accionar en la comercialización equitativa y equilibrio entre eficiencia, solidaridad y asociatividad.

Asimismo, CAMARI, siendo una organización reconocida tanto a nivel nacional como internacional, procura proteger su marca comercial a través del adecuado accionar de su misión y visión estratégica, por lo tanto, la gestión estratégica de marca involucra la creación y ejecución de programas y acciones destinados a desarrollar, evaluar y gestionar el valor de la marca [3].

Finalmente, la propuesta de estudio, está diseñada de acuerdo con los ejes estratégicos, tales como: necesidades del pequeño productor, análisis ambiental organizacional, formulación de estrategias, seguimiento y control y mejora continua afianzada a la filosofía de FEPP CAMARI.

Materiales y Metodología

El término de planificación estratégica tuvo su origen en la década de los 50 y experimentó una notable popularidad desde mediados de los años 60 hasta mediados de los 70. En aquel momento, se consideraba que la planificación estratégica constituía la solución a todos los problemas, y muchas empresas estadounidenses estaban fuertemente enfocadas en ella. No obstante, tras ese período de apogeo, la planificación estratégica cayó en desuso en la década de los 80, puesto que, los diversos modelos de planificación no tuvieron resultados significativos. Sin embargo, en la década de los 90, la planificación estratégica experimentó un renacimiento [4].

Actualmente, las organizaciones empresariales precisan de una planificación adecuada en relación con el periodo de tiempo, a los objetivos y a la formulación de estrategias. Para esto, existen dos modelos estratégicos que se relacionan directamente con la gestión estratégica:

- En el Modelo Incremental, los planteamientos de las estrategias se llevan a cabo mediante un proceso de aprendizaje de adaptación, donde las organizaciones definen los objetivos y los medios efectivos para lograrlo, por consiguiente, dichos objetivos se plantean de forma empírica con los actores involucrados. El enfoque de este modelo se orienta para escenarios de incertidumbre.

- Modelo sinóptico, para este modelo se considera un proceso deliberado, racional y lineal, donde la empresa determina en primera instancia los fines y a continuación los medios. Estos últimos son el resultado de un proceso de planificación especificado detalladamente considerando objetivos, programas y planes operativos. Al contrario del modelo incremental, este modelo es recomendable para contextos predecibles, estables y con baja incertidumbre [5].

En este contexto, el Modelo Sinóptico, se orienta hacia una organización más flexible al entorno, las actividades son ordenadas y siguen un proceso racional, en el cual la empresa inicialmente establece el direccionamiento estratégico, desde los objetivos y luego determina los medios de cómo conseguirlo. El escenario estratégico es de baja incertidumbre y se recomienda para entornos predecibles y estables.

En tal sentido, el modelo a desarrollar dependerá en gran parte de la organización y de los factores de análisis ambiental del entorno.

Gestión Estratégica

La administración comprende en gestionar la planificación con enfoque al cumplimiento de los objetivos estratégicos, a través de la asignación de responsabilidades y planes de acción que permitan cumplir en el tiempo, siempre y cuando se optimicen los recursos de la empresa [6].

CAMARI, al ser una organización del Comercio Justo es vista desde la sociedad como un sistema abierto, adaptable al contexto y lo puntualiza Chiavenato cuando se refiere a que los elementos sustanciales para la creación de una organización, parte desde la visión compartida, los objetivos, el acuerdo entre dos o más personas para crear la empresa y una razón de responsabilidad social [7].

Un punto elemental en el direccionamiento estratégico se basa en el liderazgo de la alta dirección, puesto que dependerá en gran medida de la filosofía organizacional y las metas a alcanzar en un horizonte de tiempo establecido, para asegurar la adaptación al cambio y la vertiginosidad del contexto [8].

Para dar inicio con una planificación estratégica, las organizaciones se basan en construir la razón de ser desde la misión y en orientar todos los esfuerzos y los medios para conseguir las metas en el tiempo a través de la visión; construir estos elementos garantizan la sostenibilidad en el tiempo, de lo contrario, pone en riesgo la continuidad organizacional en el mercado [9].

El desarrollo del plan estratégico requiere de una hoja de ruta clara que comienza con la definición de los objetivos y características específicas. Estos objetivos deben cumplir con criterios, tales como: cuantificables, realizables y factibles en función de la misión y visión organizacional en relación con un determinado tiempo.

Es fundamental que los objetivos sean comprensibles, facilitando su análisis y ejecución en las actividades, tanto de los usuarios internos como externos; esto genera un componente motivador, lo que repercute en el aumento de la productividad y el adecuado pensamiento sistémico organizacional [10].

Por lo tanto, si los objetivos no se encuentran alineados con el direccionamiento estratégico, la gestión estratégica tendrá un escenario pesimista de sostenibilidad en el tiempo.

Planeamiento Estratégico

Para Amaru, la planificación es una herramienta estratégica destinada a la administración de los recursos con visión a largo plazo, definiendo como una decisión clave para la alta gerencia. Aquellas decisiones que intentan de alguna manera impactar en el porvenir o que están consideradas en la ejecución como actividades de planificación [11].

El proceso de planeación estratégica se compone de cinco etapas sustanciales: definir la razón de ser denominada como la misión y las metas empresariales, analizar el contexto determinado como ambiente externo organizacional, lo que permite identificar oportunidades y amenazas, estudiar el análisis del ambiente interno para reconocer fortalezas y debilidades, generar las estrategias del análisis ambiental que aprovechen las fortalezas y mejoren las debilidades existentes, así como también, permita potenciar las oportunidades y mitigar las amenazas. Estas estrategias deben alinearse con la misión, visión y metas principales de la organización, constituyendo un modelo organizacional viable en el tiempo [12].

El análisis ambiental lo constituyen dos categorías: externo e interno. El análisis del ambiente externo implica analizar y evaluar los factores externos que están fuera del alcance de la organización y que influyen en el accionar de la organización. Uno de los modelos utilizados para este propósito es el PESTA, que aborda los aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales para evaluar como estos elementos externos influyen en la empresa a través de oportunidades o amenazas [13].

El análisis ambiental externo muestra los factores que pertenecen al contexto de la organización y, a la vez, se refieren a las 5 Fuerzas Porter que forman una sinergia en el contexto, tal como se muestra en la Figura 1 [14].

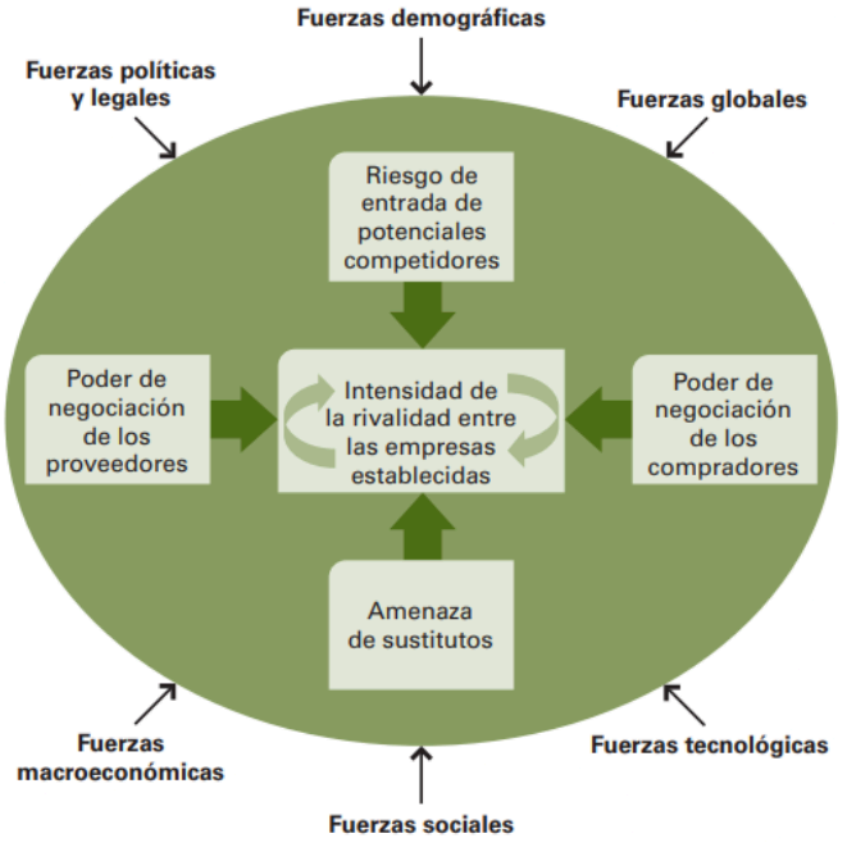


Fig.1. Análisis del ambiente externo

El análisis ambiental interno facilita la identificación de las áreas organizacionales que requieren mayor atención, tanto en reforzar las debilidades como en mejorar las fortalezas, creando ventajas competitivas. Asimismo, permite reconocer el alcance de la organización en función de los objetivos en el ámbito de la planificación estratégica [15].

El análisis ambiental interno tiene factores que definen las actividades organizacionales, tales como:

- Talento humano
- Infraestructura
- Desarrollo organizacional
- Económico
- Procesos y
- Desarrollo de productos o servicios.

Para realizar la planificación estratégica de una organización, se plantea un análisis del entorno que se compone de tres fases:

- Análisis del entorno global: Se reconocen las amenazas y oportunidades en relación a los factores del ambiente externo y que influyen directa e indirectamente en la toma de decisiones.

- Análisis del entorno específico: Se identifican las amenazas y oportunidades en relación a las fuerzas del mercado, tales como: poder de negociación de los proveedores, clientes, productos sustitutos, entre otros.

- Identificación de las Amenazas y Oportunidades: Se analizan las fases anteriores y se definen los próximos pasos a seguir, con la finalidad de asegurar el cumplimiento de la misión y visión de la empresa. [16]

Existen varios modelos de planeamiento estratégico, sin embargo, en la Figura 2 se muestra cómo el modelo de Fred D. se ha ido adaptando al contexto organizacional. [17]

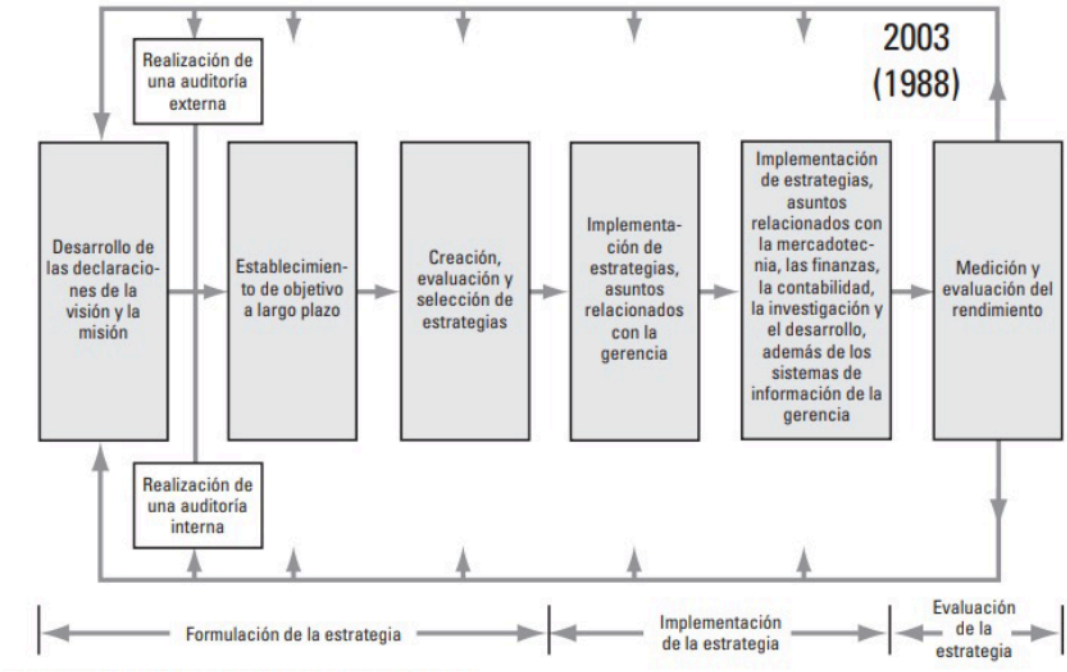


Fig.2. Modelo integral de dirección estratégica

La formulación estratégica de la empresa se desarrolla una vez definido el análisis FODA y la relación existente con los sistemas flexibles, la estructura organizacional y los procesos esenciales para lograr la cristalización de los objetivos estratégicos. En este contexto, es sustancial definir indicadores que posibilite a la organización realizar comparaciones con períodos anteriores y evidenciar el incremento o reducción de la productividad empresarial. [18]

Metodología

En referencia a la investigación documental y a la importancia de proponer una metodología de plan estratégico para los pequeños productores que forman parte de la organización CAMARI, se presenta la propuesta compuesta por 5 Fases estratégicas.

Fase I – Diagnóstico:

- Socializar el plan estratégico actual de FEPP CAMARI relacionado con el cumplimiento del direccionamiento estratégico.

- Realizar el análisis ambiental de las organizaciones de los pequeños productores:

  - Factores del ambiente interno (Organizacional, Talento humano, Tecnología interna, finanzas, procesos, entre otros).
  - Factores del análisis ambiental externo (Cultural, Político legal, Tecnología, Economía, Ambiental y otros).

Fase II – Planeamiento:

- Diseño del direccionamiento estratégico:
  - Misión
  - Visión
  - Objetivos estratégicos
  - Organigrama
- Desarrollo de la matriz FODA
- Diseño de las estrategias FO, FA, DO, DA
- Formulación de las estrategias 5W+H, esta herramienta de seguimiento permitirá llevar a cabo el planeamiento estratégico de los pequeños productores.

Fase III – Implementación:

- Implementación coordinada del plan estratégico con FEPP CAMARI y las organizaciones de pequeños productores.
- Supervisión permanente del cumplimiento de las estrategias en el corto y mediano plazo; esta acción permitirá asegurar el cumplimiento de los objetivos estratégicos de CAMARI.

Fase IV – Control:

- Revisión permanente entre los pequeños productores y FEPP CAMARI acerca del nivel de cumplimiento del planeamiento estratégico.
- Desarrollo de talleres de fortalecimiento asociativo entre organizaciones de Comercio Justo.
- Espacios de análisis del grado de cumplimiento de las estrategias.

Fase V – Mejora continua:

- Análisis integral entre los actores acerca del cumplimiento de las estrategias planteadas en el corto, mediano y largo plazo. De acuerdo con el grado de satisfacción de las organizaciones se debe plantear acciones de mejora para alcanzar las actividades que representan cuellos de botella y no generan un valor agregado para las organizaciones.

Resultados

Existen 90 organizaciones de pequeños productores que son parte de FEPP CAMARI, de las cuales el 8% tienen planes estratégicos y el 92% no dispone del documento de gestión estratégica.

El 100% de las organizaciones consideran importante mantener una estructura organizacional que les permita definir responsabilidades claras y evitar la duplicidad de actividades.

El 100% de los pequeños productores mantienen el compromiso de cumplir con el direccionamiento estratégico que brinda CAMARI.

El 8 % de las organizaciones disponen de un plan estratégico actualizado en función de las acciones generadas por CAMARI.

El 100% de los pequeños productores consideran muy importante definir las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de sus organizaciones.

El 92% de las organizaciones les gustaría contar con una metodología que les permita diseñar un planeamiento estratégico flexible y se alinee estratégicamente con CAMARI, para continuar desarrollando las actividades de comercio justo que mejoren significativamente sus condiciones de vida.

Proponer una metodología de planeamiento estratégico conformado por 5 fases permite brindar un acompañamiento al pequeño productor por parte de CAMARI, representando una oportunidad de mejora con enfoque estratégico, asociativo y de comercio justo.

Conclusiones

El artículo propuesto, muestra la relevancia de presentar una metodología del plan estratégico enfocado en las organizaciones de pequeños productores que forman parte de la FEPP CAMARI y de WFTO.

La metodología está compuesta por cinco fases: diagnóstico, planeación, implementación, control y mejora continua; se precisa aclarar que la propuesta está enfocada en los pequeños productores que forman parte de FEPP CAMARI.

Diseñar el direccionamiento estratégico en las organizaciones de pequeños productores fortalece la filosofía institucional de CAMARI.

El desarrollo de las estrategias FO, FA, DO, DA son un paso a la generación de ventajas competitivas para CAMARI como comercializadora de productos de Comercio Justo y reconocida en el mercado nacional e internacional.

Asegurar el adecuado desarrollo de la metodología del plan estratégico, garantiza las acciones comerciales que mejoran la calidad de vida de los pequeños productores, puesto que, generan ventajas competitivas de la oferta productiva y fortalece la cadena de comercialización asociativa con otros actores.

La mejora continua es una de las fases trascendentales en el cumplimiento de las estrategias, puesto que, la retroalimentación que se realiza y el planteamiento de acciones que mitiguen el riesgo, permitirá asegurar la sostenibilidad y el cumplimiento del planeamiento estratégico en el tiempo.

Referencias

[1]. Marcillo, C. Manual de Comercio Justo. I. (Ed): UTE, 8 (2017)

[2]. Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. Estrategia Ecuatoriana de Comercio Justo. Acuerdo Ministerial No. 003, Lexis Finder 17 (2017)

[3]. Lane, K. Administración Estratégica de Branding. III. (Ed): Pearson Educación, 63-64 (2009)

[4]. Fred, D. Administración Estratégica. XIV (Ed): Perason Educación, 21 (2013)

[5]. Silva, R.; Perspectivas. Enfoque conceptual de la Dirección Estratégica. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=425941230008 (2010) Accedido el 11 de septiembre de 2023

[6]. Marco, F. Introducción a la gestión y Administración Estratégica. II (Ed): Universidad Nacional Arturo Jauretche 39-40 (2016)

[7]. Chiavenato, I. Administración de Recursos Humanos. IX. (Ed): Mc Graw Hill. 65 (2011)

[8]. Gonzáles, J. Telos. Gerencia estratégica: herramienta para la toma de decisiones en las organizaciones. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99357718032 (2019). Accedido el 11 de septiembre de 2023

[9]. Fred, D. Conceptos de Administración estratégica. XI. (Ed): Pearson Educación, 105-106 (2008)

[10]. Valencia, A.; Industrial Data. Enfoque metodológico para los objetivos estratégicos en la planificación del sector público. https://www.redalyc.org/pdf/816/81650062004.pdf. (2016). Accedido el 07 de septiembre de 2023

[11]. Amaru, A. Fundamentos de Administración Teoría general y proceso administrativo. I. (Ed), 50-51(2009)

[12]. Hill, Ch. Administración Estratégica. VIII. (Ed): Mc Graw Hill, 44-45

[13]. Larrarte, P. Fundamentos de Administración. (Ed): Fundación Universitaria del área Andina, 35 (2018)

[14]. Hill, Ch. Administración Estratégica. VIII. (Ed): Mc Graw Hill, 88

[15]. Chiavenato, I. Planeación Estratégica. III (Ed): Mc Graw Hill, 47 (2016)

[16]. Galicia, C.E.E.I. Dirección Estratégica Empresarial. (Ed) C.E.E.I. GALICIA, 24 (2010)

[17]. Torres, Z. Administración Estratégica. (Ed): PATRIA S.A. DE C.V., 27 (2014)

[18]. Aguilera, A. Pensamiento y gestión. Direccionamiento estratégico y crecimiento empresarial: algunas reflexiones en torno a su relación. http://www.scielo.org.co/pdf/pege/n28/n28a05.pdf. Accedido el 07 de septiembre de 2023.

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Detección de desnutrición crónica en niños menores a cinco años aplicando técnicas multivariantes.

Detection of Chronic Malnutrition in Children Under Five Using Multivariate Techniques

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1072

Dennys R. Daquilema, Erick P. Herrera
Centro de Posgrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Posgrados,
Av. Universitaria y Antisana, Tulcán, Ecuador
dennys.daquilema@upec.edu.ec, erick.herrera@upec.edu.ec

Fecha de envío, marzo 7/2024 - Fecha de aceptación, abril 11/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: El presente artículo muestra el diseño de cinco clasificadores para la detección de desnutrición crónica en niños menores a cinco años, para lo cual, se procesó una base de datos con 5 variables cuantitativas y 26 cualitativas que fueron sometidas a una disminución de dimensión mediante un análisis de correspondencia múltiple, posteriormente, mediante el uso de redes neuronales se generó el primer clasificador que obtuvo un accuracy de 1 y un error cuadrático medio (mse) de 0.0050. El criterio que determinó el número óptimo de neuronas en la capa oculta diferencia a los tres clasificadores restantes basados en inteligencia artificial, mismos que partieron de un análisis de componentes principales que estableció una arquitectura con una única capa oculta que alberga el 96.3% de la varianza acumulada. La primera propuesta de red neuronal poco profunda utilizó un método de iteración que determinó 51 neuronas en la capa oculta con un accuracy de 0.846 y un mse de 0.145, el segundo clasificador posee 42 neuronas que corresponden a 2/3 del número de neuronas de la capa anterior, mostró 0.769 de accuracy y 0.217 de mse, por último, el método de Xu and Chen estableció que la capa oculta cuente con tres neuronas, generando un accuracy de 1 y un mse de 0.0075. Además, se implementó un modelo basado en regresión logística para comparar la efectividad de las propuestas respecto a esta técnica de la estadística tradicional. El estudio finalizó con un protocolo de pruebas que permitió determinar el mejor clasificador propuesto para esta tarea e identificar las variables más influyentes, se obtuvo que el primer clasificador sin capas ocultas fue el que presentó el mejor rendimiento, demostrando mayor exactitud y menor cantidad de errores frente a los otros clasificadores, con el peso y la talla como las variables más relevantes.

Palabras Clave: Desnutrición Crónica, Redes Neuronales Artificiales, Clasificador, Técnicas Multivariantes, Regresión Logística

Abstrac: This article presents the design of five classifiers for the detection of chronic malnutrition in children under the age of five. To achieve this, a dataset with 5 quantitative variables and 26 qualitative variables was processed, with dimensionality reduction performed through a multiple correspondence analysis. Subsequently, a neural network-based classifier was created, achieving an accuracy of 1 and a mean squared error (MSE) of 0.0050.

The criterion used to determine the optimal number of neurons in the hidden layer differentiated the three remaining artificial intelligence-based classifiers. These classifiers started with a principal component analysis that defined an architecture with a single hidden layer, capturing 96.3% of the accumulated variance. The first shallow neural network proposal used an iterative method that determined 51 neurons in the hidden layer, resulting in an accuracy of 0.846 and an MSE of 0.145. The second classifier, with 42 neurons corresponding to two-thirds of the previous layer's neurons, showed an accuracy of 0.769 and an MSE of 0.217. Finally, the Xu and Chen method established a hidden layer with three neurons, achieving an accuracy of 1 and an MSE of 0.0075.

Additionally, a logistic regression-based model was implemented to compare the effectiveness of these proposals against this traditional statistical technique. The study concluded with a testing protocol that determined the best classifier for this task and identified the most influential variables. The results revealed that the first classifier without hidden layers showed the best performance, demonstrating greater accuracy and fewer errors compared to the other classifiers, with weight and height being the most significant variables.

Keywords: Chronic Malnutrition, Artificial Neural Networks, Classifier, Multivariate Techniques, Logistic Regression

Autor de correspondencia:
Dennys R. Daquilema, dennys.daquilema@upec.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

La desnutrición infantil crónica se ha convertido en uno de los mayores problemas que aqueja a los diferentes gobiernos, ya que generan gastos de forma directa e indirecta. Niños con desnutrición presentan enfermedades que le cuestan altas inversiones a los gobiernos de turno que buscan eliminar o mitigar dichas enfermedades mediante sus centros de salud pública, además, niños con malos hábitos alimenticios no se desarrollan correctamente ni de forma física ni intelectual, con lo cual, disminuyen la capacidad laboral y desarrollo de un país.

De acuerdo al informe sobre desnutrición presentado por la Organización Mundial de la Salud, "se calcula que 149.2 millones de niños padecen de retraso en el crecimiento y 340 millones de menores a 5 años sufren carencias de vitaminas y de otros nutrientes esenciales" [1]. La desnutrición crónica en niños tiene una alta tasa de incidencia en países en vías de desarrollo, así como varios sectores del área rural, es así que existe una mayor probabilidad de mortalidad en un niño con este tipo de enfermedad que uno cuyo estado nutricional es normal, ya que sus defensas debilitadas no pueden hacer frente a las enfermedades y, cuando la desnutrición se complica, el riesgo de muerte es muy alto.

La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) resalta la existencia de un 23% de menores de cinco años con desnutrición, porcentaje que no mostró diferencia estadística significativa con la realizada en el 2014 [2]. Finalmente, de acuerdo a un estudio realizado por la Universidad Técnica del Norte (UTN), la provincia de Esmeraldas posee un 20% de menores de cinco años con desnutrición, cifra que, a pesar de ser alta, ubica a la provincia por debajo de los valores medios de todo el país [3].

Son incontables los efectos nocivos de la malnutrición infantil, que no solo afectan al infante sino también a los gobiernos zonales que, según la UNICEF los gastos asociados a la malnutrición son del 4,3% del producto interno bruto ecuatoriano [4], además, en el estudio del impacto social y económico de la malnutrición realizado por la CEPAL, revelan cifras alarmantes generadas por la desnutrición infantil, es así que, los costos en salud en nuestro país es de 44 millones de dólares para eliminar o mitigar enfermedades asociadas a una mala alimentación, en educación aumentó el gasto de 4,2 a 27,2 millones producto del bajo rendimiento académico, y en productividad se pierde un aproximado a mil millones de dólares por la disminución de la esperanza de vida [5].

Basado en lo expuesto, la necesidad de detectar la desnutrición crónica a edades tempranas es prioritaria en todo gobierno de turno, con lo actual, se refuerza el objetivo del presente trabajo que compara técnicas multivariantes para la detección de desnutrición crónica, mismas que fueron aplicadas a una base de datos que recoge la información de niños menores a cinco años que presentaron desnutrición crónica en el centro de salud Nuevo San Rafael de la provincia de Esmeraldas desde mayo del 2021 a abril del 2022.

Trabajos Relacionados

El estudio [6] desarrolló un modelo validado con Machine Learning (ML) para predecir el estado de desnutrición de niños con cardiopatías congénitas. La base de datos estudiada consta de 536 niños con cardiopatía congénita 1 año después de su cirugía, desde diciembre de 2017 hasta mayo de 2020. La base de datos se dividió en un grupo de entrenamiento y otro de prueba, se emplearon cinco técnicas de ML, (Regresión logística (LR), support vector machine (SVM), adaptive boosting (ADA), perceptron multicapa (MLP)

y extreme gradient boosting (XGBoost)) y el resultado fue comparado con el área bajo curvas características y SHARP (Shapley Additive exPlanations). Los parámetros fueron ajustados usando validación cruzada 5 veces junto con el método de búsqueda de mallas (grid-search method). La salida es la desnutrición, pero también catalogaron bajo peso, retraso de crecimiento y emaciación. Para disminuir un posible sobre ajuste se seleccionó las características estadísticamente significativas y luego se sintetizaron con una eliminación recursiva (RFE) basado en random forest. El Bootstrap method fue aplicado con 1000 repeticiones para determinar el intervalo de confianza, precisión, y sensibilidad. Para la interpretación se emplea SHARP. Las medias, desviaciones estándar, rangos intercuantiles, se utilizaron para analizar y expresar las variables continuas, las cuales se sometieron al test t o al test de Mann – Whitney (test U). Las categóricas se expresan como porcentajes y se comparan mediante prueba chi-cuadrado, para variables con proporciones faltantes al 20% imputaron las variables categóricas con la moda, y las variables continuas con imputación múltiple. El modelo ML (XGBoost) fue el que obtuvo el mejor rendimiento con un porcentaje alto de (0.87 a 0.91) de AUC, además, concluyeron que un nivel educativo bajo en los padres, y un ingreso económico bajo son factores asociados a los casos que presentaron bajo peso. Uno de los aportes más importantes de esta investigación fue la generación de predictores para determinar el momento más apropiado para realizar una intervención nutricional. La no diferenciación racial y la aplicación únicamente a niños sometidos a una cirugía constituyen como las principales recomendaciones de mejora para este trabajo.

Con el estudio [7] se identificaron los factores de riesgo potenciales en mujeres de Bangladesh mediante un modelo basado en Machine Learning (ML), se empleó una regresión logística multinomial para extraer los posibles factores de desnutrición. Además, se emplearon cinco métodos de inteligencia artificial (Naive Bayes (NB), support vector machine (SVM), árboles de decisión (DT), redes neuronales (ANN), random forest (RF)), cuyos desempeños fueron evaluados por el método denominado accuracy and under the curve (AUC) con tres conjuntos de protocolos de validación cruzada (K2,K5,K10). Para la generación de la base de datos se tomó un total de 15464 muestras de la encuesta demográfica de Bangladesh del 2014 levantada con muestreo por conglomerados estratificados, el estudio fue realizado con un 95% de nivel de confianza, y el 99% de las entrevistadas eran mujeres casadas entre edades de 15 a 49 años. La edad, región, índice de riqueza, nivel de educación, amamanta o no, trabajando o no, educación del esposo, fuente de agua que consume, tipo de aceite para cocinar fueron identificados como factores significativos para determinar la desnutrición, también establecieron factores para determinar obesidad y sobrepeso. El clasificador basado en RF tiene la más alta precisión (81,4% y 82.4%) debido a que posee una gran cantidad de variables categóricas y de tendencia no lineal, y el método de menor rendimiento es el de NB. Un dato de mejor es ampliar el estudio a mujeres de una zona geográfica lejana a la indicada.

En [8] se tuvo como principal objetivo identificar si un niño se encuentra en estado de desnutrición con retraso en el crecimiento, emaciación, bajo peso, o si tiene edema nutricional, los datos para el estudio provinieron de la encuesta SMART de nutrición de Afganistán de 2015 a 2018, que cuenta con 2131 registros que incluyen fecha de nacimiento, fecha de visita, edad, sexo, altura, peso, provincia, circunferencia del brazo medio superior (MUAC), y características del edema nutricional. Las técnicas empleadas fueron Random Forest, Part rule induction, Naïve Bayes, y sus resultados fueron comparados con métodos de regresión logística. Se utilizaron 5 pasos, comprensión del dominio del problema (leer, contar con expertos para dominar el problema), análisis de datos (identificar cada característica de la base de datos), preparación de datos (se establecieron puntajes Z para peso/edad (WAZ),

altura/edad (HAZ), peso/altura (WHZ), se tomaron estas variables basadas en el estándar de la OMS z_score=(X-M)/σ para la talla que sigue una distribución normal, mientras que el peso para la edad, y el peso para talla y la longitud se utilizó Z_Score=((X-M)^L-1)/LS), minería de datos (Random Forest (RF), part rule induction, Naive Bayes (NB), y Regresión Logística (LR). "WEKA machine learning tool". Además, se dividió la base de datos en dos grupos, 80% entrenamiento, 20% para las pruebas. "Correlation Attribute Eval" se usa para evaluar la importancia de los atributos, y "Synthetic Minority Oversampling Technique" (SMOTE) para equilibrar los datos. La principal conclusión obtenida fue que RF y PART fueron los métodos más precisos con un 99.99%, NB del 95,82%. Dentro de los datos negativos está que los datos atípicos fueron eliminados, al igual que los datos que mostraban obesidad, y los faltantes reemplazados por la media y que no toma en cuenta datos socioeconómicos.

El estudio [9] se centró en determinar la existencia de desnutrición, para lo cual se consideraron como variables, la edad del niño y la madre, sexo de los niños, tamaño de la familia, ingreso mensual, educación y ocupación de la madre y estado civil, altura, peso, orden de nacimiento, y enfermedad infantil, lactancia materna, número de hijos. La base de datos se generó a partir de una encuesta para las variables cualitativas, y capacitaron por dos días al personal que levantó el instrumento, y se encuestaron a padres cuyos hijos estaban en la edad de 6 a 59 meses de edad de la ciudad de Hawassa, en total se tomaron 811 en un plazo de agosto a septiembre de 2012. El método empleado fue el análisis fue una regresión logística bi variada con "Crude Odds Ratio al 95% CI" y para identificar la relación entre variables, un estudio transversal con un α=5%. Establecieron predictores para los tres tipos de desnutrición (crónica, bajo peso y emaciación), pero lastimosamente la publicación no muestra el rendimiento de los predictores, sino que simplemente se centran en comparar lo obtenido con índices en otros países. Además, compara los resultados de cada variable y cuantifican las relaciones y efectos entre ellas.

El diseñar y desarrollar un sistema experto que sea capaz de identificar la desnutrición severa en niños de 0 a 5 años fue el objetivo principal de [10], que empleó un sistema experto basado en el método de encadenamiento directo con base la antropometría que es el estudio de la geometría y la naturaleza de la masa. Para el desarrollo del sistema, experto definieron dos reglas, una premisa y una conclusión. El grupo de estudio fueron niños de una edad menor a 5 años de Indonesia, y como principal resultado fue la interfaz del sistema experto que permite ingresar variables y concluir si hay la posibilidad de que exista desnutrición. Además, emplearon PHP y MySQL y dejaron de lado el análisis estadístico.

En [11] se empleó el método Naive Bayes, cuya principal fortaleza radica en ofrecer excelentes resultados de predicción de parámetros con bases de datos reducidas (pocos datos). Este algoritmo trabaja con la premisa de que la presencia o ausencia de una variable (característica) no está ligada a la presencia o ausencia de otra. La base de estudio contiene datos de niños de entre 1 a 5 años de edad, y para nuevos análisis permite ingresar los datos vía web, lastimosamente no indica el rendimiento y porcentajes de acierto en los entrenamientos.

La investigación [12] empleó una encuesta descriptiva donde se determinó la correlación entre variable mediante lenguaje de programación Python y con algoritmos híbridos AdaBoost y árboles de decisión. El principal objetivo fue desarrollar un sistema de planificación de alimentos recomendados para el control de la desnutrición en niños de 6 a 12 años utilizando algoritmos híbridos de aprendizaje automático. Emplearon una

encuesta descriptiva donde se determinó la correlación entre variables con utilización de lenguaje Python con algoritmos híbridos AdaBoost y árboles de decisión. El conjunto de datos analizados incluye 1001 puntos recopilados de los centros de salud de la ciudad de Mianeh ubicada en el este de Azerbaiyán en Irán, desde el sistema web integrado de Apple. Mediante árboles de decisión llegaron a la conclusión que el número de características en los alimentos ingeridos, es el dato más importante, empleando una precisión del 98,5%.

Adicionalmente, se puede citar la investigación de [13], basada en una encuesta del año 2014 realizada en Bangladesh, donde analizaron a 7079 niños. Los resultados obtenidos de esta investigación reflejan un 35.4% en el retraso del crecimiento, 15,4 % emaciación y el 32.8% bajo peso. Mediante la regresión logística determinaron dentro de los retrasos de crecimiento que cinco son los factores que generan mayor riesgo. Los estudios se han centrado en la población de Bangladesh dado que más de mitad de la población padece de desnutrición, y la mayor diferencia con el estudio expuesto en [7] que realizó un análisis en la misma localidad, radica en el ajuste de los hiperparámetros en los algoritmos de inteligencia artificial mejorando los resultados de precisión de los predictores. Técnicas de Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) fueron comparados mediante el criterio de área bajo la curva (AUC) que les permitieron validad una mejor precisión con valores de un p-valor menor al 0.001, además, analizaron la relación entre variables explicativas y la desnutrición con el empleo de una prueba chi-cuadrado. Un aporte principal es que lograron determinar las regiones con mayor cantidad de desnutrición (Sylhet) y también la de menor porcentaje (Khulna). Los resultados podrían mejorar con un análisis de datos agrupados y con un análisis posterior de afinamiento con la técnica de Bonferroni.

La investigación [14] contó como principal objetivo detectar la desnutrición en niños menores de 5 años con un grupo de imágenes de 500 niños mediante el uso de redes neuronales convolucionales (CNN). El conjunto de datos al ser analizados por AlexNet con los valores de niños con desnutrición y niños sanos. La arquitectura denominada AlexNet se caracteriza por conseguir una alta precisión y fue empleada en la base de datos de ImageNet, la cual sirve para entrenar la CNN para diferenciar y clasificar un total de 1000 categorías de objetos. Para el estudio se utilizó una población de 500 imágenes de niños menores de cinco años, del cual, del 100% de los datos, el 90% fueron utilizados para el aprendizaje del sistema y el 10% para la realización de la prueba. El CNN mostró un 96% de precisión en la determinación de resultados, la misma que determinaba si los niños estaban sanos, con desnutrición o riesgo de mal nutrición. La principal salida de resultados del sistema es un denominado "dashboard" que representa mediante gráfico de barras y diagramas de pastel los parámetros de desnutrición. El número de predicciones correctas del sistema fue empleado como medida de rendimiento, y se empleó en imágenes de 227x227x3 de 250 niños con desnutrición y 250 niños sanos. Para mejorar el resultado se desearía emplear el método para detectar el tipo de desnutrición.

Materiales y métodos

El estudio que se detalla en el presente documento analiza una base de datos constituida a partir de 122 niños que asistieron al centro de salud Tipo C, en San Rafael - Esmeraldas (CSNSR) desde mayo del 2021 hasta abril del 2022. Dicha base de datos es fruto de [15] donde se tabuló los datos provenientes de un cuestionario con preguntas cerradas de opción múltiple, misma que fue aplicada a los familiares y/o cuidadores de niños que mostraron bajo peso y estatura, además incorpora, registros históricos del personal del centro de salud. El instrumento fue validado por un Alfa de Cronbach igual a 0,918 que es uno de los resultados del anterior trabajo de titulación.

Para el desarrollo y determinación de resultados se emplean métodos que combinan el estudio de variables tanto cuantitativas como cualitativas. La metodología cualitativa es necesaria por el uso de técnicas multivariantes en valores antropométricos, mientras que la metodología cuantitativa para determinar, interpretar y predecir la desnutrición en niños; variables utilizadas por médicos pediatras y autoridades para desarrollar planes de acción en contra de la desnutrición.

El desarrollo del mismo, parte del uso de datos obtenidos en una encuesta aplicada a personas adultas con hijos, los mismos que visitaron el centro de salud por problemas de desnutrición crónica, la información obtenida prevé ser de vital importancia para su estudio, ya que conjuga el estado de salud actual del infante, datos antropométricos, historial clínico, así como también la información socioeconómica e historial clínico de su familia. Como punto de partida se utilizaron los datos antropométricos y somatométricos (Peso, talla, hemoglobina, edad, sexo), que combinados con los datos socio-económicos del responsable del infante (estado civil, dependencia laboral, grado académico, ingreso económico, charlas recibidas, parentesco, número de hijos, consumo de vitaminas del bebe, visitas domiciliarias de personal médico, control médico al infante, número de comidas del infante), se busca determinar las relaciones entre variables y establecer un clasificador que permita predecir la presencia de desnutrición crónica.

Tratamiento de Datos

Para el estudio es necesario la aplicación de un protocolo de análisis de datos, y la primera fase consiste en eliminar la posible presencia de datos atípicos. Las distancias de Mahalanobis es el método que permite detectar atípicos basado en la correlación que existe entre variables, es por tal razón que, a pesar de ser una técnica desarrollada en los años 30, sigue siendo una de las metodologías más utilizadas [16].

$$d_m(\overrightarrow{x_1}\overrightarrow{x_2}) = \sqrt{(\overrightarrow{x_1} - \overrightarrow{x_2})^T \Sigma^{-1} (\overrightarrow{x_1} - \overrightarrow{x_2})} \quad (1)$$

La ecuación 1 citada en [17] y [18] muestra la relación del método con la geometría tradicional que incorpora la matriz de covarianza y permite hallar valores denominados distancias, mismas que al ser comparadas, proporcionan una técnica para saber que tan lejos o cerca se encuentra una observación con respecto a un grupo de datos. Semipositividad, simetría, y desigualdad triangular son las propiedades que cumplen las distancias de Mahalanobis, además, en [17] se resalta aplicaciones innovadoras del método en diferentes campos como el monitoreo de la fatiga, y el procesamiento de datos.

Análisis de componentes principales (ACP)

Es una técnica multivariante que se aplica en variables cuantitativas, considerada también como una herramienta de aprendizaje no supervisado, que se dedica al análisis de variables aleatorias inter correlacionadas, y que busca hallar relaciones y subconjuntos entre dichas variables mediante la representación de información en nuevas variables ortogonales, denominadas componentes principales. Según Hervé y Lynne, la extracción de información relevante, la reducción de dimensionalidad de variables, y el análisis de la estructura de las observaciones se constituyen en los objetivos de este método [19].

El ACP no se basa en el supuesto de normalidad multivariante de los datos, y descrito de una forma matemática, no es más que una rotación de los ejes de coordenadas de las variables originales a un nuevo sistema ortogonal cuyos ejes coincide con la dirección de máxima varianza. El método parte de la construcción de una matriz X de dimensión I x J donde I son las observaciones y J son las variables [19]. Es común que una base de datos cuente con variables medidas en diferentes unidades, razón por la cual, se hace necesario dividir cada observación para la norma de la matriz en un proceso denominado normalización. Mediante la expresión $|X-\lambda I|=0$ es posible hallar el polinomio característico de la matriz, cuyas raíces son los denominados valores propios (eigenvalores), y que a partir de los mismos se determinan los vectores característicos (eigenvectores).

$$X = U\Delta V^T \tag{2}$$

La ecuación 2, representa la matriz X como un producto de matrices donde U es la matriz ortonormal formada por los vectores propios de XX^T(right singular vectors), Δ es una matriz diagonal cuyas entradas son los valores propios de la matriz X ordenados en forma descendiente, y la matriz ortonormal V es la formada por los vectores propios de X^T X (left singular vectors).

$$I = \sum_{j}^{J} x_{i,j}^2 \tag{3}$$

$$d_{i,g}^2 = \sum_{j}^{J} \left(x_{i,j} - g_f\right)^2 \tag{4}$$

Las ecuaciones 3 y 4 obtenidas de [20] muestran la denominada inercia total de las columnas de la base de datos, y la distancia euclídea de las observaciones al centro de gravedad de cada columna (centroide o baricentro). El centro de gravedad no es nada más que el vector de medias de cada columna y que en el instante en que dicho vector sea igual a cero, las ecuaciones 3 y 4 resultan ser idénticas. Las componentes principales son obtenidas a partir de la descomposición en valores singulares (SVD) de la matriz X, dicha técnica no es más que una variación del método de descomposición de valores y vectores propios que le permite ser aplicado tanto a matrices cuadradas como rectangulares.

El ACP a más de ser una roto traslación alrededor del origen, también se lo interpreta como una proyección ortogonal hacia nuevos ejes, $\underline{u_\alpha}$ razón por la cual, cada componente principal $\underline{\psi}$ se obtiene de una combinación lineal de las variables originales.X

$$\psi_\alpha = u_\alpha X \tag{5}$$

$\psi\alpha=u\alpha X$

La ecuación 5 muestra a las n componentes principales producto de las n proyecciones sobre el eje canónicou_α, con lo cual, con $\alpha=1$ se genera la primera componente principal de la matriz X que se representa en la ecuación 6.

$$\psi_1 = u_{11}X_1 + u_{22}X_2 + u_{33}X_3 + \cdots + u_{1J}X_J \tag{6}$$

Según [20] a los valores del vector u_α se los denominan loadings y se los puede interpretar como la razón entre el peso y la importancia que tiene cada variable en cada componente, además, es importante señalar que cada componente principal establece un modelo simplificado del modelo original, es aquí donde surge la necesidad de incluir el concepto de proporción de varianza explicada acumulada, que permite establecer un criterio de decisión para el número óptimo de componentes principales que minimice la pérdida de información y reduzca el modelo de estudio.

$$\sum_{j=1}^{J} Var(X_j) = \sum_{j=1}^{J} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_{i,j}^2 \tag{7}$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \psi_{i,m}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{J} u_{jm} x_{ij} \right)^2 \tag{8}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{J} u_{jm} x_{ij} \right)^2}{\sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{n} x_{i,j}^2} \tag{9}$$

La ecuación 7 representa la varianza total de base de datos normalizados, mientras que 8 indica la varianza explicada por la m-ésima componente principal, y la ecuación 9 la proporción de varianza explicada [21].

Análisis de correspondencias múltiples (ACM)

Es uno de los métodos estadísticos factoriales que se aplica en variables categóricas, que básicamente representa a los datos de análisis en puntos sobre un plano coordenado. Se lo considera también como una adaptación del ACP para datos categóricos, dado que, ambas técnicas convierten a la base de datos en una matriz normalizada para posteriormente descomponerla con base en sus valores y vectores propios en caso de ser cuadrada, o utilizando el SVD para matrices cuyo número de filas son distinto al número de columnas [22].

El método se basa en la construcción de tablas de Burt y de contingencia (cruce de variables consigo misma y de los pares considerados relevantes) [23], para lo cual, a la base de datos se la convierte en una matriz X de dimensión I x J, misma que al ser normalizada $x_{ij}/\|X\|$ toma el nombre de matriz de correspondencia P, posteriormente, se determina las frecuencias marginales relativas (masas) $pi = x_i/\|X\|$ y $p_j = x_j/\|X\|$ denominadas r_i y c_j respectivamente. Basado en el supuesto de independencia de los residuos, tenemos:

$$s_{ij} = \frac{x_{ij} - r_i c_j}{\sqrt{r_i c_i}} \tag{10}$$

cuya forma matricial es:

$$S = D_r^{-1/2} (X - rc^T) D_c^{-1/2} \tag{11}$$

Las ecuaciones 10 y 11 muestran la matriz de residuos estandarizados, donde, X es la matriz original, r y c son vectores, fila y columnas de las masas, y D_r conD_c matrices diagonales cuyas entradas son los elementos de estas masas respectivamente. La matriz de inercia total (ecuación 12) se obtiene al elevar al cuadrado las ecuaciones anteriores, y que conjuntamente con el método de SVD $(X=U\Sigma V_T)$ obtenemos la conexión entre el método SVD y la descomposición de valores propios dados por las ecuaciones 13 y 14 donde las matrices U, V, y Δ son las mismas matrices descritas en el método ACP.

$$\sum_i \sum_j s_{ij}^2 = tr(SS^T) \quad (12)$$

$$S^T S = V\Sigma^2 V^T = V\Delta V^T \quad (13)$$

$$SS^T = U\Sigma^2 U^T = U\Delta U^T \quad (14)$$

Con lo descrito ya es posible construir los mapas de análisis de correspondencia que es la principal salida de esta técnica, es así que, en la ecuación 15 se muestra las coordenadas principales de las filas, en 16 las coordenadas estándar de las filas, y en la 17 y 18 de las columnas respectivamente [22].

$$F = D_r^{-1/2} U\Delta \quad (15)$$

$$A = D_r^{-1/2} U \quad (16)$$

$$G = D_c^{-1/2} V\Delta \quad (17)$$

$$B = D_r^{-1/2} V \quad (18)$$

Regresión logística múltiple

Técnica multivariante clásica que modela el logaritmo natural de una razón de probabilidades, y es ideal para describir el comportamiento de una variable categórica con una o varias variables de tipo cuantitativas o continuas. Para describir el método, basta con fijarse en una regresión lineal con un solo predictor de tipo continuo, y una respuesta con una variable categórica dicotómica (dos niveles), en la cual, la curva de regresión estaría divida en tres secciones, la mitad con una tendencia lineal, y los extremos asemejándose a curva intentando unirse a cada una de las rectas paralelas generada por la variable categórica [24]. Para solucionar este problema de tendencia, la regresión logística incorpora una función cuya gráfica se asemeja a una S denominada sigmoide (función logística), cuya forma matemática es la mostrada en la ecuación 19.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (19)$$

En términos sencillos, la regresión logística calcula el logaritmo natural de la probabilidad de que la variable categórica Y adquiera un valor k a partir de que la variable independiente (predictor) X tenga un valor específico x, p(Y=k|X=x) [25], matemáticamente lo expuesto se lo expresa en la ecuación 20.

$$logit\ Y = ln\ odds = ln\frac{p(Y=k|X=x)}{1-p(Y=k|X=x)} = \beta_o + \beta_1 X \quad (20)$$

El modelo logístico simple indicado en la ecuación 20, nace a partir de sustituir los términos de una regresión lineal simple en la función sigmoide, para posteriormente despejar $\beta_o+\beta_1 X$ mediante el empleo de logaritmos naturales.

$$(Y=k|X=x) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_o+\beta_1 X)}} = \frac{e^{(\beta_o+\beta_1 X)}}{1+e^{(\beta_o+\beta_1 X)}} \quad (21)$$

La razón entre la probabilidad de que un evento sea verdadero y la probabilidad de que sea falso toma el nombre de odds, dichos odds están presentes en la función de regresión logística y generan valores entre 0 y 1, y dado que, estos randos de probabilidades son muy pequeños se lo amplía a un intervalo de [-∞,∞] mediante el uso del logaritmo natural, añadiendo finalmente a la expresión logística el término ln odds. Según [25] una regresión logística debe cumplir con los supuestos de independencia de las variables, linealidad entre la variable respuesta y los predictores, y recomienda ser aplicada en análisis que poseen de 50 a 100 observaciones, finalmente, estableciendo un valor umbral, es posible determinar si una nueva observación pertenece a una u otra zona de probabilidades, con lo cual la regresión logística se convierte en un clasificador.

Redes neuronales

Hoy en día Artificial neural network (ANN) o red neuronal artificial es una de las técnicas de inteligencia artificial más utilizada en el diseño de clasificadores, esta técnica cuyo modelo matemático se asemeja una red neuronal biológica, está compuesta por capas o nodos interconectados, las mismas que están estructuradas por unidades que procesan información de la misma forma que las neuronas del cerebro.

En la configuración estructural básica de una red neuronal, los datos a analizar se cargan en forma de un vector multidimensional en la capa de entrada, dicha capa es la encargada de distribuir a las capas ocultas que toman su nombre dado que, normalmente no se visualiza los resultados de sus procesos, finalmente, la arquitectura cuenta con una capa de salida. Cada una de las neuronas que forman la red neuronal cumplen la función de un clasificador binario, y reciben la información proveniente de la capa anterior, misma que se encuentra multiplicada por un peso, y afectada por una función de activación que elimina la tendencia lineal propia de cada neurona. Además, cada neurona cuenta con una entrada adicional llamado sesgo, que es un término independiente que permite ser variada y por consiguiente realizar ajustes a la red neuronal.

Las cuatro funciones de activación más conocidas se muestran en el anexo A, de las cuales la función paso (escalonada) ha perdido posicionamiento, debido a que, cuenta únicamente con segmentos rectos que impiden el descenso de gradiente, dado que sus derivadas parciales son cero. La función sigmoide oscila en el intervalo de 0 a 1, mientras que la tangente hiperbólica al tener un rango de -1 a 1 tiene de ventaja generar una función de salida más o menos centrada en el origen al inicio del entrenamiento con lo cual facilita la convergencia del método, finalmente, la función ReLu presenta problemas en x igual a cero dado que en dicho punto la función no es suave por lo que no es diferenciable, pero evitando ese valor al no tener un valor máximo al final facilita el proceso del descenso de gradiente [26].

Dado que constantemente, las redes neuronales amplían su dominio como herramientas de clasificación y predicción en las diferentes ciencias, las investigaciones que buscan mejorar sus desempeños también aumentan, es así que, para el caso de clasificadores basados en redes neuronales se ha desarrollado una función de activación denominada softmax, que básicamente incorporada unos puntajes por clase y que cuya expresión descrita en la ecuación 22 es muy parecida a la expresión de predicción de una regresión lineal.

$$s_k(x) = x^T \theta^k \tag{22}$$

Una vez definidos los puntajes de softmax, la función estima la probabilidad $\hat{p}$ de que una observación pertenezca a una u otra clase mediante la siguiente ecuación:

$$\hat{p}_k = \sigma\big(s(k)\big)_k = \frac{exp\big(s_k(x)\big)}{\sum_{j=1}^{K} exp\left(s_j(x)\right)} \tag{23}$$

Llegado a este punto, es necesario hablar de la característica que ha posicionado a las redes neuronales como uno de los mejores métodos para el diseño de clasificadores, y es su capacidad de autoaprendizaje, dicha característica se basa en el algoritmo de backpropagation que le permite evaluar los errores y ajustar los pesos asociados a cada variable para conseguir el modelo más ajustado a la respuesta esperada [27]. Para expresar matemáticamente el algoritmo de retropropagación, se parte del modelo matemático de una red neuronal definido por las ecuaciones 24, 25 y 26.

$$C_i^L = \left(a_i^L - y_i^L\right)^2 \tag{24}$$

$$z_j^L = \sum_i \left(a_i^{L-1} w_{ij}^L + b_j^L\right) \tag{25}$$

$$a_i^L = \sigma\left(z_i^L\right) \tag{26}$$

En las ecuaciones anteriores, los subíndices i, denotan una neurona específica en una determinada capa L, mientas que a describe el comportamiento de dicha neurona producto de aplicar una función de activación σ a la información recibida de una capa anterior. La sumatoria de los efectos de las capas anteriores a_i^((L-1)) multiplicada por los pesos (w) respectivos y sumado el sesgo (b) toma la representación de z, además, dicho valor dependiendo de la función de activación varía típicamente entre 0 a 1 o entre -1 y 1. Finalmente, y_i^L es el valor esperado y C_i^L es la función de coste, que se constituye en el error de cada neurona de una capa donde está actuando el algoritmo de backpropagation [27].

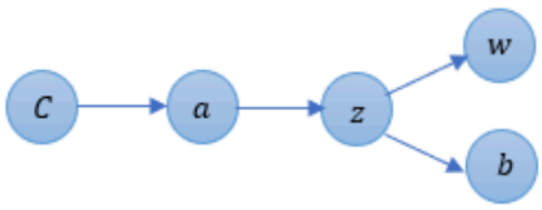


Fig. 1. Relación de variables que sirve como base para el planteamiento de la regla de la cadena.

La figura 1 muestra la manera en la que se encuentran relacionadas las variables unas con otras, y al ser una composición de funciones se debe recurrir a la regla de la cadena para determinar sus derivadas parciales. Es así que, si se desea obtener la razón de cambio de C con respecto a z, el primer paso consiste en definir la ruta (camino) que vaya desde C hasta z, en este ejemplo se parte de C, se pasa por a y finalmente se llega a z, además, recordar que para ir de una variable a otra se debe obtener su derivada parcial, es decir, para ir de C a "a" se debe calcular la derivada parcial de C con respecto a "a" , mientras que para ir de "a" a z se determina la derivada de "a" con respecto z, para finalmente multiplicar estas derivadas parciales y obtener la razón de cambio deseada [27]. Basado en lo expuesto, la razón de cambio de C con respecto a w queda definido como:

$$\frac{\partial C}{\partial w^L} = \frac{\partial C}{\partial a^L} * \frac{\partial a^L}{\partial z^L} * \frac{\partial z^L}{\partial w^L} \tag{27}$$

Además, las razones de cambio del costo con respecto al sesgo, de la sumatoria de los efectos con respecto a los pesos y al sesgo, quedan expresadas como:

$$\frac{\partial C}{\partial b^L} = \frac{\partial C}{\partial a^L} * \frac{\partial a^L}{\partial z^L} * \frac{\partial z^L}{\partial b^L} \qquad \frac{\partial C}{\partial b^L} = \frac{\partial C}{\partial a^L} * \frac{\partial a^L}{\partial z^L} * \frac{\partial z^L}{\partial b^L} \tag{28}$$

$$\frac{\partial z^L}{\partial w^L} = a_i^{L-1} \tag{29}$$

$$\frac{\partial z^L}{\partial {}^{w^L}_{h}} = 1 \quad I = \sum_j^J x_{i,j}^2 \qquad I = \sum_j^J x_{i,j}^2 \tag{30}$$

Lo que se busca reducir es el error final, pero es obvio que dicho error se genera por la acumulación de errores presente en cada neurona, el mismo que es denotado por δ_L y matemáticamente está constituido por la derivada parcial del costo con respecto a la sumatoria de los efectos [28].

$$\delta^L = \frac{\partial C}{\partial a^L} * \frac{\partial a^L}{\partial z^L} \tag{31}$$

Reemplazando la ecuación 29, 30 y 31 en 27 y 28 tenemos:

$$\frac{\partial C}{\partial w^L} = \delta^L \tag{32}$$

$$\frac{\partial C}{\partial b^L} = \delta^L * a_i^{L-1} \tag{33}$$

Una vez cuantificados los errores de la capa L mediante las ecuaciones 32 y 33, es necesario extender el concepto a todas las capas anteriores que forman la arquitectura de la red neuronal, para esto, se define la matriz de parámetros W^L que determina como cambia la sumatoria de los efectos cuando se varía la función de activación de una neurona en una capa previa [27].

$$\delta^{L-1} = \delta^L W^L \frac{\partial z^L}{\partial a^{L-1}} \tag{34}$$

Generalizando las expresiones de las razones de cambio de la función de costo con respecto a los pesos y al sesgo y sustituyendo la ecuación 34, se obtiene el vector gradiente, mismo que forma parte de un ciclo repetitivo donde se lo resta del error, hasta reducir la diferencia entre la respuesta obtenida y los valores esperados de la base de datos de entrenamiento.

$$\nabla f^L = \langle \frac{\partial C}{\partial b^L}, \frac{\partial C}{\partial w_i^L} \rangle = \langle \delta^{L-1}, \delta^{L-1} a^{L-2} \rangle \quad (35)$$

Finalmente, el éxito del clasificador radica en los criterios que se empleen para el diseño de la arquitectura de la red neuronal, empezando por determinar la función de activación y el número de etapas de entrenamiento, seguido del número de capas ocultas y del número de neuronas en cada una (deep learing). Es común pensar que, mientras mayor sea el número de etapas de entrenamiento mejor será el resultado de la clasificación, esto no necesariamente es verdad, dado que, a mayor epochs mayor costo computacional aumentando tiempos de entrenamiento y en ocasiones generando sobre ajustes al modelo (overfitting), lastimosamente para este criterio no existe una regla definitiva, es así que, en la mayoría de investigaciones se determina este número con base en recomendaciones de investigaciones con objetivos similares, ensayo y error, o simplemente pericia de un experto. Un criterio que ha mostrado buenos resultados establece que, el número de épocas de entrenamiento debe ser igual al triple del número de variables de la base de datos de estudio, criterio que será empleado para la actual investigación.

Al contrario de lo anterior, el número de capas ocultas será determinado mediante la técnica de análisis de componentes principales, en el cual se buscará que el número de capas contenga un mínimo del 70% de la varianza explicada acumulada, además, el número de neuronas en cada capa será determinado mediante tres criterios. El primero consta en evaluar los errores de un proceso de iteración (ciclo for) que reemplaza en cada capa oculta un número de neuronas definido en un intervalo [0.5n;2n] donde n es el número de neuronas de la capa anterior; este proceso se repite en todas las capas ocultas; veamos un ejemplo sencillo que permite explicar este criterio, supongamos que disponemos de una base de datos de 6 variables, por lo que, el intervalo del ciclo for será,[3,12] se inicia el proceso de iteración que arroja una tabla que tabula los errores generados cuando la capa oculta tiene 3, 4, 5 y así sucesivamente hasta probar con 12 neuronas, con base en la tabla de error se define el número de neuronas de la primera capa oculta, es aquí que, se fija el número de neuronas en la primera capa, se cambia el contador a la segunda capa y se repite el proceso de iteración, este proceso se repite en todas las capas de la red neuronal. El segundo criterio, es una recomendación muy sencilla que indica que, cada capa oculta debe contener los dos tercios de la cantidad de neuronas de la capa anterior, y el tercer método, es el método de Xu and Chen, descrito en [29].

$$N_h = \frac{1}{2} \frac{N_t}{N_i \, log \, N_t}, \frac{N_t}{N_i} > 30 \quad o \quad N_h = \frac{N_t}{N_i}, \frac{N_t}{N_i} \leq 30 \quad (36)$$

La ecuación 36 determina el número de neuronas en una capa oculta que depende del valor de la razón entre el número de etapas de entrenamiento N_t y el número de entradas (dimensión del vector de entrada) N_i.

Definida la red neuronal, para determinar su desempeño es primordial recurrir a métricas como el accuracy que es una medida de la cercanía de un valor experimental frente al valor real propuesto en una matriz, de modo que ayuda a determinar una estimación de la exactitud de las predicciones realizadas en el conjunto de datos con base en la diferencia entre la cantidad teórica y la cantidad definida analíticamente para obtener información sobre posibles errores en la ejecución [30], mientras el (MSE) es un indicador estadístico que muestra el error cuadrado promedio de las predicciones realizadas por la diferencia entre un valor predicho y un valor real con lo que proporciona la función de costo para la regresión lineal desarrollada [31].

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{\mathrm{n}} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i - \hat{x}_i)^2 \qquad (37)$$

La ecuación 37 establece el cálculo del error cuadrático medio donde n es el número de observaciones, x_i es el valor teórico y x_i es el valor predicho por el modelo, según lo descrito en [31].

$$\text{accuracy} = \frac{\text{número de predicciones verdaderas}}{\text{número total de predicciones}} = \frac{V_p + V_n}{V_p + V_n + F_p + F_n} \qquad (38)$$

En la ecuación 38 se muestra el cálculo de accuracy donde V_p son los valores positivos, V_n los valores negativos, F_n son falsos negativos y F_p son falsos positivos, estos son obtenidos relacionando los valores teóricos y predichos en una matriz, de tal forma que, se determinan los posibles errores que se pueden mostrar [32].

Un factor importante a considerar para el desempeño de la red neuronal es el overfitting, este se define como un comportamiento de aprendizaje automático que se presenta cuando se ha entrenado al modelo con demasiados datos de un solo tipo, por lo que proporciona predicciones precisas únicamente para los datos de entrenamiento, pero no para datos nuevos arrojando resultados equivocados [33]. Para evitar el overfitting se debe diversificar el conjunto de datos de entrenamiento y poner a prueba constantemente distintos datos de entrada.

Resultados

La base de datos en la que se sustentó la actual investigación estuvo constituida por 31 variables, de las cuales 5 son cuantitativas y 26 cualitativas, que recolecta datos antropométricos y datos históricos de un total de 122 individuos. Además, producto de un trabajo de titulación previo, se comprobó la validez del instrumento mediante un Alfa de Cronbach igual a 0,918. La presencia o no de desnutrición crónica fue determinada por médicos expertos y se encuentra representada en la columna desnutrición de la base de datos, dicha columna es el referente para comprobar las predicciones del actual estudio. Los análisis estadísticos clásicos carecen de robustez frente a datas con grandes componentes categóricos, es así que, la principal propuesta de clasificación del presente trabajo se basó en técnicas de deep learning y técnicas multivariantes, además, dichos resultados fueron contrastados con los obtenidos en una regresión logística que se constituye en una de las técnicas de mayor adaptación a elementos no lineales de la estadística convencional.

El lenguaje de programación estadístico R, con su vinculación a Python mediante la paquetería denominada Anaconda, son los programas que permitieron estudiar la base de datos, y que gracias a las extensiones TensorFlow y Keras facilitaron el desarrollo de procesos de deep learning. La primera etapa del estudio se constituyó en la coerción y corrección de variables, seguido de un análisis de datos atípicos y faltantes, que gracias a la carencia de los mismos se soslayó el proceso de imputación.

El anexo B permite visualizar las diferentes categorías de las variables cualitativas, y los valores máximos y mínimos de las variables cuantitativas de las tres primeras variables, además, mediante el comando missing se pudo evidenciar la carencia de datos faltantes [34]. Comprobado el correcto estado de la base de datos, se crea una nueva data excluyendo las cinco variables cuantitativas, para someterla a un análisis de correspondencia múltiple.

Los comandos eigenval y fviz_screeplot permiten la construcción del anexo C, el mismo que muestra que el 60% de la varianza se acumula hasta la cuarta dimensión y que las dos primeras dimensiones son las de mayor cantidad de varianza acumulada [35].

Definido el porcentaje de varianza acumulada, el comando fviz_mca_biplot crea la figura 2, que es una representación en dos dimensiones de todas las variables categóricas y de las dos primeras dimensiones del ACM, con la cual se busca la reducción de dimensiones mediante la eliminación de variables que mantengan muy baja correspondencia con la variable desnutrición.

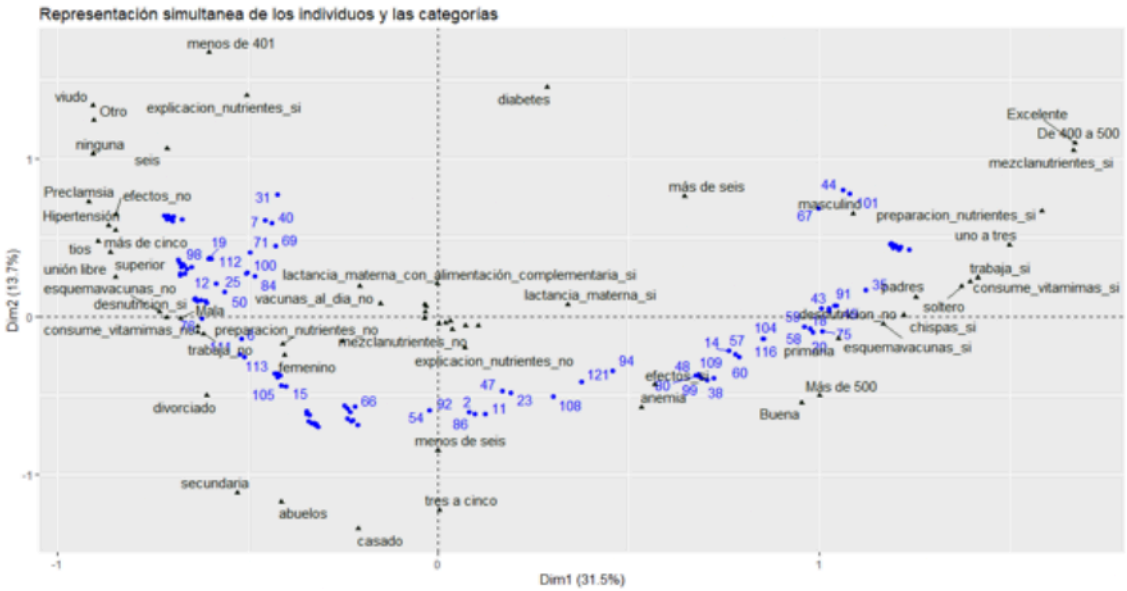


Fig. 2. Análisis de correspondencia múltiple en la misma que se visualiza las variables y sus categorías.

La figura anterior muestra todas las categorías de las variables cualitativas, en la cual, el grado de correspondencia entre variables es directamente proporcional a la distancia que separa al grupo de variables con el origen, e inversamente proporcional a las distancias que las separa entre sí a cada una de ellas, es así que, las categorías esquema vacunas no, consume vitaminas no, mala, superior, trabaja no, están altamente relacionadas con la presencia de desnutrición crónica (desnutrición si), mientras que, las categorías padres, primaria, chispas si, más de 500, trabaja si, soltero están relacionadas con la no presencia de desnutrición, pero en comparación de los dos grupos, la relación del segundo es mayor debido a que se encuentran más alejadas del origen. La categoría diabetes al poseer una considerable distancia con las variables de interés (desnutrición) supondría una baja relación que abriría la posibilidad de eliminarla, pero debido a que pertenece a la misma variable que preeclampsia (enfermedades madre) se desecha esa posibilidad, es así que, para la reducción de dimensiones las únicas variables candidatas a ser eliminadas por su baja correspondencia son explicación nutrientes, efectos, y mezcla nutrientes.

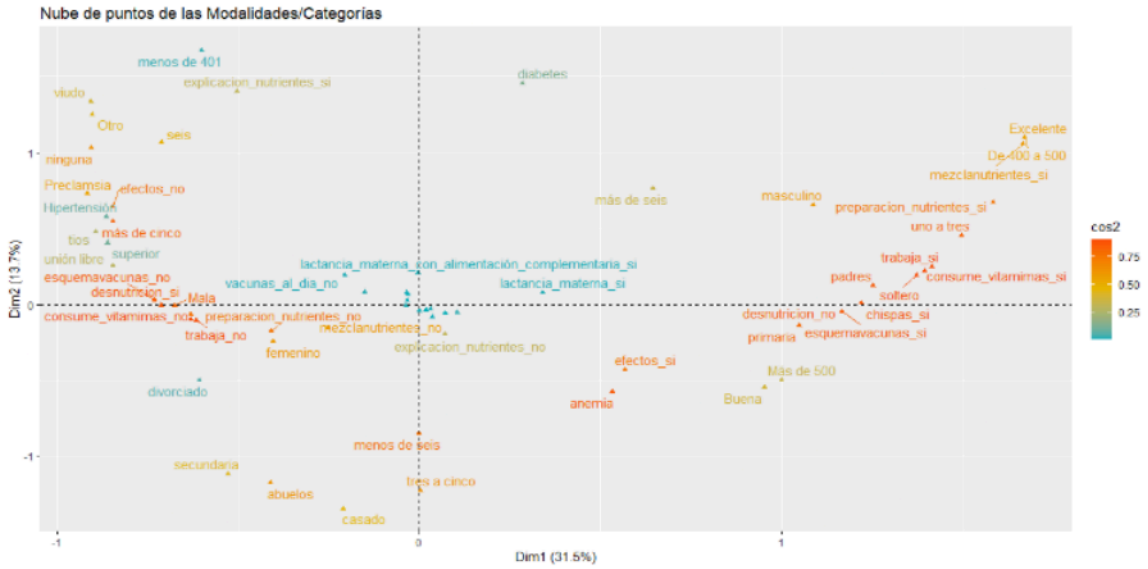


Fig. 3. Análisis de correspondencia múltiple incluyendo el valor de coseno cuadrado

El coseno cuadrado cos^2 mostrado en la figura 3 denota que tan confiable es la representación de las variables en un plano 2D, es así que, la variable explicación nutrientes al poseer un valor muy alejado a 1 imposibilita tomar decisiones sobre ella, por tal razón, las únicas variables que se eliminan del estudio serán las variables dicotópicas efectos, y mezcla nutrientes.

Realizada la disminución de dimensiones, a las variables se las convierte en dummy, con lo cual, la base de datos definitiva queda constituida por 64 variables, separadas en 63 que servirán como regresores (features), y una variable denominada (desnutrición) como única variable de respuesta (label). El primer estudio al cual se sometió la base de datos, es la red neuronal de una capa, seguido de una red neuronal con capas ocultas (Deep learning), dichos estudios inician con la etapa de normalización que permitió la unificación de escalas, evitando que los procesos de aprendizaje eliminen o reduzcan significancia de una o varias variables basadas en sus discrepancias métricas frente a variables que por su misma naturaleza manejen valores mucho mayores. Finalizada la etapa de normalización mediante la librería Keras con su comando layer_normalization, se dividió a la base de datos en dos partes, la primera correspondiente al 90% para el entrenamiento de la red neuronal y el 10% restante para la comprobación y validación de la arquitectura neuronal [36].

Clasificador 1 – Modelo sin capas ocultas: Con la base separada y normalizada, se elaboró el primer esquema del clasificador basado en una red neuronal simple, para lo cual, se entrenó a la red neuronal artificial con un total de 189 etapas de aprendizaje, en las cuales se empleó una función de activación softmax acompañada con una optimización Adam con un radio de aprendizaje de 0.1. El anexo D muestra los valores obtenidos a lo largo de las etapas de entrenamiento del loss, accuracy, y mse que evalúan el desempeño del clasificador al comparar sus resultados con el 10% de las observaciones que no fueron empleadas en el aprendizaje, finalmente, la tabla 1 representa las métricas finales con un loss de0.023, mse de 0.005 y un accuracy de 1, que confirman un muy buen rendimiento de este clasificador.

Tabla 1. Valores de loss, accuracy, y mse para cuantificar el rendimiento del clasificador sin capas ocultas.

loss	accuracy	mse
0.0234065	1	0.0050165

Clasificador 2 – Modelo por iteración: El segundo clasificador es la red neuronal con capas ocultas que se constituyen en una técnica de deep learning, y que para determinar la arquitectura de la red neuronal multicapa, se inició con la determinación del número de capas ocultas mediante un ACP (análisis de componentes principales) que posibilita determinar el número mínimo de capas que contengan mínimo el 75% de la varianza acumulada. En el anexo E, se establece que la arquitectura constará de una única capa oculta que contendrá el 96.3% de la varianza acumulada.

La siguiente etapa es establecer el número de neuronas en la capa oculta, para eso se utilizó tres técnicas, la primera consiste en una rutita for que reemplaza en la capa oculta todos los números de neuronas comprendidas en el intervalo de 31 (mitad del número de entradas de la capa anterior) a 126 que es el doble del número neuronas de la capa anterior, en cada iteración se guardan los valores de loss, accuracy y mse para posteriormente compararlos y concluir el número idóneo de neuronas.

Basado en la tabla del anexo F y el anexo G, la capa oculta queda definida con 51 neuronas en la capa oculta (anexo H (a)), dado que, con valores de loss de 0.06525, accuracy de 1 y mse de 0.01398 son las combinaciones con las mejores métricas en el rendimiento del clasificador. Además, el anexo G muestra el desempeño de la red neuronal con una capa oculta, en la cual se visualiza unos valores finales de 0.47 para loss, accuracy de 0.84 y un mse de 0.145, que a pesar de ser bueno, no muestran mejorías con respecto al modelo sin capas ocultas.

Clasificador 3 – Modelo con 2/3 de la capa anterior: El segundo criterio para determinar el número de neuronas en la capa oculta es la que menciona que la capa debe tener los 2/3 del número de variables de la capa anterior, para este caso la capa anterior es la de entrada con 63 variables, por lo que la capa oculta quedaría definida con 42 neuronas. El anexo H (b) resume el desempeño de la red neuronal con la regla de los 2/3 para el número de neuronas de la capa oculta, en la cual, los valores finales arrojan buenos resultados de clasificación con un valor de loss de 0.98, accuracy de 0.76 y un mse de 0.14 con drop out.

Clasificador 4 – Modelo con Xu and Chen: Finalmente, el criterio de Xu and Chen [29] que emplea la razón entre número de etapas de entrenamiento y número de variables de entrada, que para el presente trabajo es 183/53 y al ser menor a 30, se concluye que la capa oculta debe contar con 3 neuronas (anexo H (c)).

La última arquitectura de la red neuronal es la que mejor desempeño mostró de las redes neuronales con capas ocultas, con valores de 0.034 de loss, 1 de accuracy y mse de 0.007, además, todas las configuraciones emplearon la función drop out que evita que todas las neuronas se enciendan al mismo tiempo. El anexo I muestra la arquitectura del clasificador con una capa de entrada, una capa oculta con tres neuronas y una capa de salida.

Para complementar el estudio, se contrasta los resultados de los modelos con inteligencia artificial, con una regresión logística que representa a la estadística tradicional, es así que, se emplea el comando glm en la base de datos con las variables originales antes de convertirlas en dummy, y cuya variable de salida es de tipo categórica dicotópica (presenta o no desnutrición crónica).

El summary de la regresión logística, representada en el anexo J, muestra un valor de 5.62x10^(-10) con 59 grados de libertad de desviación residual, y un criterio de Akaike de 76, valores que permitieron seleccionar este modelo basado en una regresión logística con una distribución binomial. Definido el modelo, se verifica sus supuestos, el criterio de linealidad es evaluado mediante la librería car y su comando boxTidwell cuya hipótesis nula establece el cumplimiento de linealidad.

Tabla 2. Parámetros del test de Box - Tidwell para el análisis del supuesto de linealidad

	MLE of lambda	Score Statistic (z)	Pr(>|z|)
train$edad_meses	-2.92003	-0.3433	0.7314
train$peso	6.95545	-0.2800	0.7795
train$talla	-0.42608	0.2901	0.7718
train$edad	6.21758	-0.2402	0.8102
iterations = 12			

Basado en la tabla 2 donde todos los estadísticos de prueba de las variables numéricas son mayores a la significancia y, además, la no existencia de patrones en los diagramas de dispersión del anexo K, bastan para aceptar la existencia de linealidad de las variables numéricas.

La independencia de los residuos es el segundo criterio que será evaluado, aunque se conoce que los datos fueron tomados en un lapso de tiempo considerable (un año) se pondrá a prueba este supuesto con la gráfica de los residuos como variable dependiente de los índices de las observaciones (anexo L). Al existir una relación lineal entre regresores se genera inestabilidad en los coeficientes de la regresión debido al aumento de varianza, por lo que el último supuesto a verificar es el de la multicolinealidad, para lo cual, se emplea las funciones corrplot y cor para visualizar la correlación existente entre las variables numéricas (Anexo M).

Por otro lado, el anexo N muestra la correlación entre el peso, edad, y talla, siendo el valor de 0.96 entre edad y peso la correlación más alta, seguida de un valor de 0.87 tanto entre la edad y talla, y la talla peso. Confirmada la existencia de correlación se hace necesario determinar el grado de relación entre las variables, para lo cual se empleará los factores infladores de varianza (VIF) mostrados en el anexo Ñ.

A diferencia de los análisis anteriores, los factores infladores de varianza analizan todas las variables tanto numéricas como categóricas, la tabla 9 muestra los resultados del comando vif de la librería car y presenta tres columnas de resultados, de las cuales concluiremos sobre la columna GVIF^(1/(2Df)) que determina los VIF con base en los grados de libertad, se considera que valores mayores a 5 generan valores de multicolinealidad, por lo que, el modelo presenta multicolinealidad en la variable comidas al día, y aunque los valores de edad en meses, talla y peso no sobrepasan el valor referencial, si se encuentran muy cerca del mismo. Cumplido el objetivo del diseño de los clasificadores, se reforzará la validación

mediante una matriz de confusión y curva roc, para esto, se selecciona al clasificador sin capas ocultas el cual fue que mostró mejor desempeño, y mediante los comandos confusionMatrix y roc de la librería pROC se obtiene del anexo O (32TP y 72TN) y anexo P.

La tabla 3 y anexo P confirman el buen desempeño del clasificador basado en redes neuronales sin capas ocultas, con 2 valores de falsos negativos (FN) y 3 de falsos positivos (FP), mientras que la curva ROC representa una tendencia favorable muy cercana a la ideal.

Con el clasificador definido, se realiza pruebas para reconocer el grado de importancia de cada variable en el clasificador, para lo cual se suprimió variable por variable y mediante los valores de rendimiento del clasificador se establece el grado de importancia de cada una. Mediante un ciclo for se automatizó el proceso de eliminación y se pudo evidencias que prácticamente no había cambios significativos, excepto al eliminar la variable peso y talla, siendo esta última la que más variación generó. El anexo Q (a) muestra que, a diferencia del clasificador con todas las variables, ahora presenta 5 FP y 7 FN y un menor rendimiento con valores de loss de 0.793, accuracy de 0.846 y mse de 0.152, confirmando que la eliminación de la variable talla afecta en la clasificación. El segundo rendimiento se evaluó al eliminar las variables de peso y talla, resultados que se muestran en el anexo Q (b).

Aunque en la matriz de confusión varía muy pocos los errores, las métricas de loss, accuracy, y mse muestran un menor rendimiento del clasificador con dichas eliminaciones.

Tabla 3. Tabla resumen del rendimiento de cada modelo

Modelo	> test_results		
	loss	accuracy	mse
Sin capas ocultas	0.0234065	1	0.0050165
Capa oculta por iteracion	0.4720982	0.8461539	0.1452236
Capa oculta con 2/3 de la capa anterior	0.9802729	0.7692308	0.2174405
Capa oculta con Xu and Chen	0.034536101	1.0000000	0.007563

Discusión

La fase de resultados permitió evaluar dos importantes parámetros, el primero se obtuvo al comparar el rendimiento de la regresión logística como técnica de la estadística tradicional con un clasificador basado en redes neuronales, para lo cual, se analizó 31 variables (5 cualitativas y 26 cuantitativas) que fueron reducidas a 29 gracias a un análisis de correspondencia múltiple que permitió la eliminación de los variables efectos y mezcla nutrientes, posteriormente las variables restantes fueron convertidas a variables dummy que finalmente constituyeron en un total de 62, que sirvieron para diseñar cuatro clasificadores, de los cuales, el clasificador con perceptrón simple (sin capas ocultas) fue el que mejor métricas mostró con valores de 0.02, 1 y 0.005 de loss accurray y mse respectivamente, seguido del modelo con una capa oculta diseñado bajo el criterio de Xu and Chen [29] que estableció 3 neuronas en la capa oculta y métricas de 0.034,1 y 0.0075, el tercer clasificador obtuvo una configuración con 51 neuronas en la capa oculta, número que fue obtenido mediante un proceso de iteración y generó valores de 0.065, 1 y 0.0139, el último clasificador

basado en redes neuronales constó con 42 neuronas siguiendo el criterio de que el número de neuronas debe ser los 2/3 del número de neuronas de la capa anterior y mostró el peor desempeño con 0.98, 0.76 y 0.14, cabe indicar que el número de capas ocultas en los tres últimos fue obtenido mediante un análisis de componentes principales que estableció que existía una varianza acumulada igual al 96.3% hasta la primera capa oculta, además, todas fueron sometidas a 189 etapas de entrenamiento. Con respecto a la regresión logística, mostró un correcto desempeño con uno 5.62x10^(-10) de desviación residual y un criterio de Akaike de 76, pero que, al momento de comprobar sus supuestos, incumple con el criterio de multicolinealidad, por lo que, disminuye su confiabilidad confirmando la superioridad de las técnicas de deep learning debido a su mejor adaptabilidad a variables no lineales, y a su disponibilidad de ser aplicarla a bases de datos sin importar su tamaño. El segundo parámetro se obtuvo al tener el clasificador definido, en el cual mediante una eliminación sucesiva de variables se pudo evidenciar que las variables: talla y peso, influyen en mayor proporción en las métricas del clasificador.

El actual estudio generó un clasificador de desnutrición crónica adaptado a todo tipo de niño menores de cinco años a diferencia del desarrollado en [6] , que únicamente evalúa desnutrición en niños sometidos a cirugías por cardiopatía congénita, además, un hecho importante es que el presente estudio se encuentra adaptado a las características de Ecuador que lastimosamente, es uno de los países con mayor problemas de desnutrición de Latinoamérica, razón por la cual, el presente trabajo se posiciona por encima de los avances realizados en [7], [8] que adaptan sus condiciones a países de Bangladesh y Afganistán que distan de gran manera con las características de nuestro país. Lo desarrollado en [9] es muy parecido a lo logrado en el actual clasificador, pero la principal diferencia es que trabajan con una menor cantidad de variables y además logran cuantificar de mejor manera las relaciones y efectos de cada variable con la presencia de desnutrición. La investigación [14] que también empleada redes neuronales, pero de tipo convolucionales se encuentra aplica a la clasificación con base en imágenes de los niños, es decir hacen un estudio con base en visión artificial y que a diferencia del actual trabajo no analizan parámetros socioeconómicos ni historial médico, sino que simplemente evalúan los rasgos físicos de niños sanos y con desnutrición. Finalmente, el rendimiento del actual clasificador se encuentra muy cerca de lo alcanzado en [12] y supera a lo investigado en [10] que simplemente lograron establecer una interfaz sin ningún sustento o apoyo estadístico. Aunque se realizó un análisis de rendimiento del clasificador durante la eliminación de cada variable, sería interesante plantear un trabajo futuro en el cual se realice eliminaciones de grupos de variables para establecer el grupo de variables que más influyen en la clasificación de individuos con o sin desnutrición, además se podría experimentar para probar el comportamiento del clasificador para determinar todo tipo de desnutriciones y no simplemente la crónica. La variable que se esperaba que sea más determinante fue la lactancia materna, pero al momento de ser retirada no generó mayor cambio en las métricas del clasificador, sería conveniente ampliar el estudio en esa variable e incluso abordar la composición de la misma, ya que, ha mostrado ser un componente muy importante para eliminar y/o reducción la desnutrición.

Un limitante del actual trabajo fue haber partido de una base de datos de tamaño reducida y aislada a una única ubicación geográfica como lo es Esmeraldas, el siguiente paso, consistiría en ampliar la base de datos a más ciudades y regiones para evidenciar el comportamiento del clasificador, y de ser necesario realizar las correcciones que potencien su trabajo. El presente trabajo de investigación podría convertirse en una importante herramienta para la toma de decisiones de futuros planes gubernamentales que han dedicado recursos para la lucha contra la desnutrición infantil.

Conclusiones

El presente estudio propone un clasificador basado en redes neuronales para establecer un nuevo método de detección de desnutrición crónica a niños menores de cinco años. Fue desarrollado a partir de una base de datos levantada en el centro de salud Tipo C, en San Rafael - Esmeraldas (CSNSR) desde mayo del 2021 hasta abril del 2022, a 122 infantes que presentaron desnutrición. La fase de desarrollo inició con una depuración de la base de datos, seguida de un análisis de correspondencia múltiple que buscó reducir la cantidad de variables. Los clasificadores considerados fueron 4, de los cuales únicamente el primero se basa en una técnica de la estadística clásica como es la regresión logística, los otros tres usan métodos multivariantes, más específicamente redes neuronales. Para el diseño de los clasificadores con capas ocultas se empleó un ACP (análisis de componente principales) que evidenció la necesidad máxima de implementar una capa oculta que conserva el 96.3% de varianza acumulada. La arquitectura fue completada mediante la determinación del número de neuronas en la capa oculta, donde se emplearon tres criterios diferentes. Al comparar los clasificadores con capas ocultas y de perceptrón simple, el de perceptrón simple mostró mejor desempeño, confirmando la presencia de overfitting que, en lugar de generar mejoras, deterioran los resultados de clasificación, confirmando que no siempre una arquitectura más compleja es sinónimo de mayor rendimiento. El clasificador sin capas ocultas fue el que presentó mejor rendimiento con un loss de 0.023, acurracy de 1, y un mse de 0.05, además su matriz de confusión mostró únicamente cinco errores de predicción. Finalmente, con la eliminación consecutiva de variables, se concluyó que las más relevantes son las variables talla y peso.

En conclusión, la actual investigación ha aportado con un clasificador basado en técnicas multivariantes, mostrando una importante aplicación de estas técnicas actuales que complementan a los métodos estadísticos conocidos para resolver problemáticas de todo tipo.

Anexos

Todos los anexos se encuentran debidamente almacenado en Zenodo en la siguiente dirección https://zenodo.org/records/10957048

Referencias

[1]. UNICEF, "Informe sobre nutrición infantil 2021 | Resumen ¿UNA ALIMENTACIÓN PARA," 2022. Accessed: Jul. 29, 2022. [Online]. Available: https://www.unicef.org/media/107236/file/%20Fed%20to%20Fail%20-%20BRIEF-SPANISH-Final.pdf

[2]. INEC, "Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT," 2018. Accessed: Jul. 29, 2022. [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/ENSANUT_2018/Principales%20resultados%20ENSANUT_2018.pdf

[3]. J. Rivera, U. Andina, S. Bolívar, and S. Olarte, "LA MALNUTRICIÓN INFANTIL EN ESMERALDAS: ¿UN ÉXITO RELATIVO?," 2022. Accessed: Jul. 29, 2022. [Online]. Available: http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/lauinvestiga/article/view/457/350

[4]. UNICEF Ecuador, "Desnutrición en Ecuador." Accessed: Jul. 29, 2022. [Online]. Available: https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n-cr%C3%B3nica-infantil

[5]. A. Fernández, R. Martínez, I. Carrasco, and A. Palma, "Impacto social y económico de la malnutrición," 2017. Accessed: Jul. 29, 2022. [Online]. Available: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/41247/LCTS2017-32_es.pdf

[6]. H. Shi et al., "Explainable machine learning model for predicting the occurrence of postoperative malnutrition in children with congenital heart disease," Clinical Nutrition, vol. 41, no. 1, pp. 202–210, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.clnu.2021.11.006.

[7]. M. M. Islam et al., "Application of machine learning based algorithm for prediction of malnutrition among women in Bangladesh," International Journal of Cognitive Computing in Engineering, vol. 3, pp. 46–57, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.ijcce.2022.02.002.

[8]. P. M. P. K. J. H. C. Ziaullah Momand, Data Mining Prediction of Malnutrition in Afghan Children. IEEE, 2020. Accessed: Mar. 18, 2023. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9059388

[9]. H. Darsene, A. Geleto, A. Gebeyehu, and S. Meseret, "Magnitude and predictors of undernutrition among children aged six to fifty nine months in Ethiopia: A cross sectional study," Archives of Public Health, vol. 75, no. 1, Jul. 2017, doi: 10.1186/s13690-017-0198-4.

[10]. D. Kartika, R. Liana Gema, and M. Pratiwi, "Expert Systems for Identifying Children's Severe Malnutrition," 2016.

[11]. R. N. Apriyono, A. Triayudi, and I. D. Sholihati, "Web-Based Expert System Detects Malnutrition in Toddlers with the Naïve Bayes Method," 2020. [Online]. Available: https://iocscience.org/ejournal/index.php/mantik

[12]. S. Najaflou and M. Rabiei, "Recommended System for Controlling Malnutrition in Iranian Children 6 to 12 Years Old using Machine Learning Algorithms," 2021.

[13]. S. M. J. Rahman et al., "Investigate the risk factors of stunting, wasting, and underweight among under-five Bangladeshi children and its prediction based on machine learning approach," PLoS One, vol. 16, no. 6 June 2021, Jun. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0253172.

[14]. A. R. Lakshminarayanan, B. Pavani, V Rajeswari, S. Parthasarathy, A. A. Azeez Khan, and K. Javubar Sathick, "Malnutrition Detection using Convolutional Neural Network," in Proceedings of 2021 IEEE 7th International Conference on Bio Signals, Images and Instrumentation, ICBSII 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Mar. 2021. doi: 10.1109/ICBSII51839.2021.9445188.

[15]. Meneses Pozo Daniela and Narváez Delgado Angie, "Estrategias de salud e incidencia en desnutrición crónica infantil en menores de cinco años que acuden del Centro de Salud Nuevo San Rafael- Esmeraldas," UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI. FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES , 2022.

[16]. L. Sandoval-Pillajo, M. Pusdá, F. Garrido, and E. P. Herrera-Granda, "Embedded system for mobility of blind people," Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, vol. 2019, no. E19, pp. 328–340, 2019, [Online]. Available: https://www.proquest.com/openview/841aa93ba3c3df454b7fc833a09a1823/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

[17]. M. María, T. E. Portillo, J. A. Salas, and P. Mendoza, "MAHALANOBIS Y LAS APLICACIONES DE SU DISTANCIA ESTADISTICA."

[18]. E. P. Herrera-Granda, J. C. Torres-Cantero, A. Rosales, and D. H. Peluffo-Ordóñez, "A Comparison of Monocular Visual SLAM and Visual Odometry Methods Applied to 3D Reconstruction," Applied Sciences, vol. 13, no. 15, 2023, doi: 10.3390/app13158837.

[19]. H. Abdi and L. J. Williams, "Principal component analysis," Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, vol. 2, no. 4. pp. 433–459, Jul. 2010. doi: 10.1002/wics.101.

[20]. V. M. Gonzalez Rojas, G. Conde Arango, and A. F. Ochoa Muñoz, "Análisis de Componentes Principales en presencia de datos faltantes: el principio de datos disponibles," Scientia et Technica, vol. 26, no. 2, pp. 219–228, Jun. 2021, doi: 10.22517/23447214.20591.

[21]. J. Amat Rodrigo, "Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA) y t-SNE," 2017. [Online]. Available: https://github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadistica-con-R

[22]. J. B. Greenacre Michael, "Multiple Correspondence Analysis and Related Methods Statistics in the Social and Behavioral Sciences Series," Londres, 2006.

[23]. J. Enrique and P. Olivares, "Modelo de análisis de correspondencias múltiples," 1996.

[24]. C. Y. J. Peng, K. L. Lee, and G. M. Ingersoll, "An introduction to logistic regression analysis and reporting," Journal of Educational Research, vol. 96, no. 1, pp. 3–14, 2002, doi: 10.1080/00220670209598786.

[25]. J. Amat Rodrigo, "Regresión logística simple y múltiple," 2016.

[26]. A. Géron, "Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow SECOND EDITION Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems," 2019. [Online]. Available: http://oreilly.com

[27]. F. Bueno, "Redes Neuronales: Entrenamiento y Comportamiento," 2019.

[28]. A. E. Jácome Ortega, J. A. Caraguay Procel, E. P. Herrera-Granda, and I. D. Herrera Granda, "Confirmatory Factorial Analysis Applied on Teacher Evaluation Processes in Higher Education Institutions of Ecuador," in Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, 2020, pp. 157–170. doi: 10.1007/978-3-030-37221-7_14.

[29]. K. Yotov, E. Hadzhikolev, and S. Hadzhikoleva, "Determining the Number of Neurons in Artificial Neural Networks for Approximation, Trained with Algorithms Using the Jacobi Matrix," TEM Journal, vol. 9, no. 4, pp. 1320–1329, Nov. 2020, doi: 10.18421/TEM94-02.

[30]. J. M. Betz, P. N. Brown, and M. C. Roman, "Accuracy, precision, and reliability of chemical measurements in natural products research," Fitoterapia, vol. 82, no. 1. pp. 44–52, Jan. 2011. doi: 10.1016/j.fitote.2010.09.011.

[31]. Machaca Apaza Lianne, "Estimación de la evapotranspiración de referencia," 2016. [Online]. Available: http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4612

[32]. A. Zapeta Hernández, G. A. Galindo Rosales, H. J. Juan Santiago, and M. Martínez Lee, "Métricas de rendimiento para evaluar el aprendizaje automático en la clasificación de imágenes petroleras utilizando redes neuronales convolucionales," Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, vol. 6, no. 5, pp. 4624–4637, Nov. 2022, doi: 10.37811/cl_rcm.v6i5.3420.

[33]. Poloni Pablo, "Nuevo Algoritmo de clasificación supervisado sin parámetros, no afectado por el desbalanceo y overfitting," 2014. [Online]. Available: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5839_Poloni.pdf

[34]. E. P. Herrera-Granda, I. D. Herrera-Granda, L. L. Lorente-Leyva, P. D. Granda-Gudiño, and J. A. Caraguay-Procel, "Implementation of an Artificial Vision System and Monitoring of Human Objectives using a Quadricopter," Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, vol. 2019, no. E19, pp. 198–211, 2019, [Online]. Available: https://www.proquest.com/openview/ca355d43bc1ac0d236ca8da769393332/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

[35]. I. D. Herrera-Granda, W. G. Imbaquingo-Usiña, L. L. Lorente-Leyva, E. P. Herrera-Granda, D. H. Peluffo-Ordóñez, and D. G. Rossit, "Optimization of the Network of Urban Solid Waste Containers: A Case Study BT - Technology Trends," M. Botto-Tobar, G. Pizarro, M. Zúñiga-Prieto, M. D'Armas, and M. Zúñiga Sánchez, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 578–589.

[36]. I. D. Herrera-Granda et al., "Artificial Neural Networks for Bottled Water Demand Forecasting: A Small Business Case Study," in Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), vol. 11507 LNCS, Springer Verlag, 2019, pp. 362–373. doi: 10.1007/978-3-030-20518-8_31.

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Innovación en servicios públicos: Aplicación web para la recaudación ciudadana con enfoque ISO/IEC 25010

Innovation in Public Services: Web Application for Citizen Revenue Collection with an ISO/IEC 25010 Approach

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1109

Ramiro Aguirre Inga[1], Ana C. Umaquinga-Criollo[2]
[1] Centro de Posgrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Posgrados,
Av. Universitaria y Antisana, Tulcán, Ecuador;
[2]Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.
[1]ramiro.aguirre@upec.edu.ec, [2]acumaquinga@utn.edu.ec

Fecha de envío, mayo 17/2024 - Fecha de aceptación, enero 8/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2024

Resumen: La implementación de una "Innovación en Servicios Públicos: Aplicación Web para la Recaudación Ciudadana con Enfoque ISO/IEC 25010", surge como una medida esencial para enfrentar los desafíos inherentes al proceso de recaudación manual de servicios ciudadanos: agua potable, instalación del servicio de agua potable, mantenimiento de cometidas, reconexión de cometidas, recolección de basura, alcantarillado, en la sociedad. La adopción de SCRUM, reconocida por su enfoque ágil y adaptable, es clave en la ejecución de este proyecto. Al emplear SCRUM, se facilita una gestión eficaz del proceso, con entregas iterativas y una estrecha colaboración entre desarrolladores y usuarios finales. Este enfoque iterativo permite ajustes continuos y mejoras durante el desarrollo, garantizando que la plataforma final satisfaga las necesidades específicas de la comunidad Santo Domingo N°1 de la provincia de Pichincha, cantón Cayambe. Al integrar SCRUM y las métricas de usabilidad conforme a la ISO/IEC 25010, se busca no solo acelerar los procesos de pago, sino también proporcionar un software de alta calidad que cumpla con las expectativas de los socios y las autoridades locales.

Palabras clave: ISO/IEC 25010, SCRUM, aplicación web, servicios ciudadanos.

Abstract: The implementation of an "Innovation in Public Services: Web Application for Citizen Revenue Collection with ISO/IEC 25010 Focus" emerges as an essential measure to face the challenges inherent in the manual collection process of citizen services: potable water, water service installation, maintenance of connections, reconnection of connections, garbage collection, and sewage, in society. The adoption of SCRUM, recognized for its agile and adaptable approach, is key in the execution of this project. By employing SCRUM, effective management of the process is facilitated, with iterative deliveries and close collaboration between developers and end-users. This iterative approach allows for continuous adjustments and improvements during development, ensuring that the final platform meets the specific needs of the Santo Domingo N°1 community in the province of Pichincha, Canton Cayambe. By integrating SCRUM and the usability metrics in accordance with ISO/IEC 25010, the aim is not only to accelerate payment processes but also to provide high-quality software that meets the expectations of partners and local authorities.

Keywords: ISO/IEC 25010, SCRUM, web app, citizen services.

Autor de correspondencia:
Ramiro Aguirre, ramiro.aguirre@upec.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

La adopción de aplicaciones web no es un descubrimiento en el panorama actual, dado que su implementación en empresas, tanto públicas como privadas, contribuye de manera significativa a mejorar sus servicios en general [1]. La mayoría de las empresas cuentan con sistemas automatizados de procesos dentro de su infraestructura organizativa, lo que les permite optimizar el tiempo dedicado a la prestación de servicios. Esta automatización proporciona beneficios tanto a los usuarios como a la propia organización.

La presente investigación se enfoca en la creación de una aplicación web destinada a mejorar los servicios proporcionados a la comunidad Santo Domingo N°1, de la provincia de pichincha cantón Cayambe, con un enfoque específico en la usabilidad, siguiendo los estándares y criterios de calidad de software establecidos por la norma ISO/IEC 25010. Tal como se especifica en [2], donde se dice que es "importante determinar el cumplimiento de los criterios estándar de calidad". Y según se menciona [3] "Es necesario la implementación de un sistema web eficiente, robusto y funcional, que proporcione la seguridad y disponibilidad de la información, así como, la eficiencia de desempeño, con respecto al tiempo".

En su investigación "Análisis de usabilidad web a través de métricas estandarizadas y su aplicación práctica en la plataforma SAEFI" [4], se resalta la importancia de los sistemas de información en la automatización de procesos, lo que subraya la necesidad apremiante de mejorar el proceso de recaudación y garantizar una experiencia satisfactoria tanto para los socios como para las autoridades de la comunidad. La implementación de una aplicación web para la recaudación de servicios ciudadanos se presenta como una solución integral que busca optimizar los procedimientos actuales y alinearlos con los estándares de calidad

definidos por la norma ISO/IEC 25010. El proyecto se centra en el desarrollo de la aplicación web, la cual se enfoca en funcionalidades como el registro de usuarios, la presentación clara de facturas, el proceso de pago en línea y la generación de informes administrativos. Aunque la infraestructura de red y el hardware específico están fuera del alcance inicial, se considerarán en futuras etapas de desarrollo.

En el reglamento interno de la Comuna "Santo Domingo N°.1",[5] en el Capítulo III, Artículo 12, Literal f, se establece la necesidad de "establecer y mantener un sistema de control que garantice la seguridad, el orden y la tranquilidad de los comuneros y de sus propiedades, organizando el servicio de rondas, sobre todo tipo de infracción que altere el bienestar de los demás comuneros". [5] En el mismo reglamento, específicamente en el Capítulo IV, Artículo 13, Literal g, se menciona la responsabilidad de "Extender conjuntamente con el Tesorero y los demás dirigentes de la comuna, los comprobantes para el cobro de cuotas y otros ingresos a favor de la comuna, los mismos que serán depositados por el tesorero en una Cuenta Bancaria". El sistema de control propuesto facilita la organización y supervisión del cobro de servicios ciudadanos, contribuyendo al bienestar general de la comunidad.

En la comunidad Santo Domingo N°1, en el cantón Cayambe de la provincia de Pichincha, Ecuador, la recaudación de servicios ciudadanos (agua potable, instalación del servicio de agua potable, mantenimiento de cometidas, reconexión de cometidas, recolección de basura, alcantarillado, entre otros), se lleva a cabo manualmente el segundo domingo de cada mes, generando largas filas y esperas de los socios de la comunidad, de hasta dos horas. El proceso de cobro implica revisar registros de servicios pendientes, como consumo de agua y multas, de forma manual, lo que desacelera significativamente el

proceso. Esta situación conduce a que muchos posterguen sus pagos, exacerbando el malestar en la comunidad. La necesidad de una solución eficiente es apremiante, dado el impacto negativo en la gestión de servicios ciudadanos. La implementación de un sistema automatizado de recaudación se presenta como una solución clave para agilizar el proceso y mejorar la experiencia de los ciudadanos al realizar sus pagos.

Fundamento Teórico

La norma ISO/IEC 25010

Según se menciona en [6] la norma internacional ISO/IEC 25010 se reconoce también como: "Requisitos y evaluación de calidad del sistema y del software". Establece un conjunto de características de calidad del software y define un modelo para evaluar y medir la calidad de los productos de software. Esta norma proporciona un marco completo que permite a las organizaciones definir, medir y mejorar la calidad de sus productos de software a lo largo de su ciclo de vida.

Conforme [7], se ofrece una exposición minuciosa de las características de calidad definidas en la norma ISO/IEC 25010. A continuación, se presenta la Tabla 1, en la cual se detalla las características y subcaracterísticas de la ISO/IEC 25010.

Tabla 1. Calidad del Producto de Software - Características de la ISO/IEC 25010 [8]

Calidad del Producto de Software	
Características	**Subcaracterísticas**
Adecuación Funcional	Completitud funcional Corrección funcional Pertenencia funcional
Eficiencia de Desempeño	Comportamiento temporal Utilización de recursos Capacidad
Compatibilidad	Coexistencia Interoperabilidad
Usabilidad	Adecuación reconocible Facilidad de aprendizaje, Operabilidad Protección frente a errores de usuario Estética de la GUI Accesibilidad
Fiabilidad	Madurez Disponibilidad Tolerancia a fallos Capacidad de recuperación

Seguridad	Confidencialidad Integridad No-repudio Autenticidad Responsabilidad
Mantenibilidad	Modularidad Reusabilidad Capacidad de ser analizado Capacidad de ser modificado Capacidad de ser probado
Portabilidad	Capacidad de adaptación Facilidad de instalación Capacidad de ser reemplazado

Estas características de calidad son fundamentales para garantizar que el software cumpla con las expectativas y necesidades de los usuarios, así como para garantizar su usabilidad a lo largo del tiempo. En su investigación [9] se dice que la usabilidad "Es capacidad de utilizar algún servicio o realizar una tarea de una forma básica, es por ello por lo que la facilidad y sencillez debe estar impresa como mecanismo de ayuda para el usuario. El acceso debe ser ilimitado para explorar todo el contenido al igual que las guías para llevar a cabo una tarea determinada". La usabilidad se refiere a la sencillez con la que los usuarios pueden interactuar con un sistema para llevar a cabo sus tareas de manera efectiva, eficiente y satisfactoria, es un componente fundamental de la calidad del software según la ISO/IEC 25010. Como parte de la investigación en [10] se establece una lista de chequeo dentro de la cual se establece el criterio de usabilidad, en el contexto de esta norma, la usabilidad se considera uno de los atributos de calidad clave que influyen en la experiencia del usuario y en la aceptación general del sistema. En su artículo de investigación realizado en "Análisis comparativo de modelos y estándares para evaluar la calidad del producto de software" [11]se menciona que "La mayoría de los trabajos solo analizan un modelo o como máximo dos, con algunas características de calidad o varios modelos con escasas características de calidad como funcionalidad, usabilidad y facilidad de mantenimiento".

Los estudios académicos y la investigación en este ámbito, referenciados en [4], [6], han identificado principios, pautas y mejores prácticas para el diseño de interfaces de usuario intuitivas, accesibles y eficientes. Se han desarrollado herramientas y métricas específicas para medir y evaluar la usabilidad de los sistemas de software, alineadas con los criterios establecidos por la ISO/IEC 25010.

SCRUM

Conforme a [12], [13] SCRUM es un marco de trabajo ágil utilizado principalmente en el desarrollo de software, aunque también se aplica en otros ámbitos. Se fundamenta en principios de colaboración, transparencia, adaptación y la entrega continua de valor al cliente. El trabajo se organiza en iteraciones cortas llamadas "sprints", que suelen tener una duración de dos a cuatro semanas. En cada sprint, se llevan a cabo actividades como la planificación, la ejecución, la revisión y la retrospectiva, con el propósito de entregar un incremento de producto operativo al concluir cada ciclo.

Los equipos de desarrollo en SCRUM son autoorganizados y multifuncionales, lo que significa que tienen la autonomía para gestionar su trabajo y tomar decisiones relacionadas con la implementación de las tareas. Según [14] el rol del SCRUM Master consiste en facilitar el proceso y eliminar los obstáculos que puedan interferir con el equipo, mientras que el Product Owner se encarga de gestionar el backlog del producto y priorizar las funcionalidades. SCRUM se caracteriza por su enfoque iterativo e incremental, lo que permite una mayor flexibilidad para adaptarse a los cambios en los requisitos del cliente y en el entorno de desarrollo. Esta metodología promueve la colaboración cercana entre los miembros del equipo y los stakeholders, lo que ayuda a asegurar que el producto final satisfaga las necesidades del cliente de manera efectiva. La Figura 1 muestra el ciclo de vida de la metodología SCRUM.

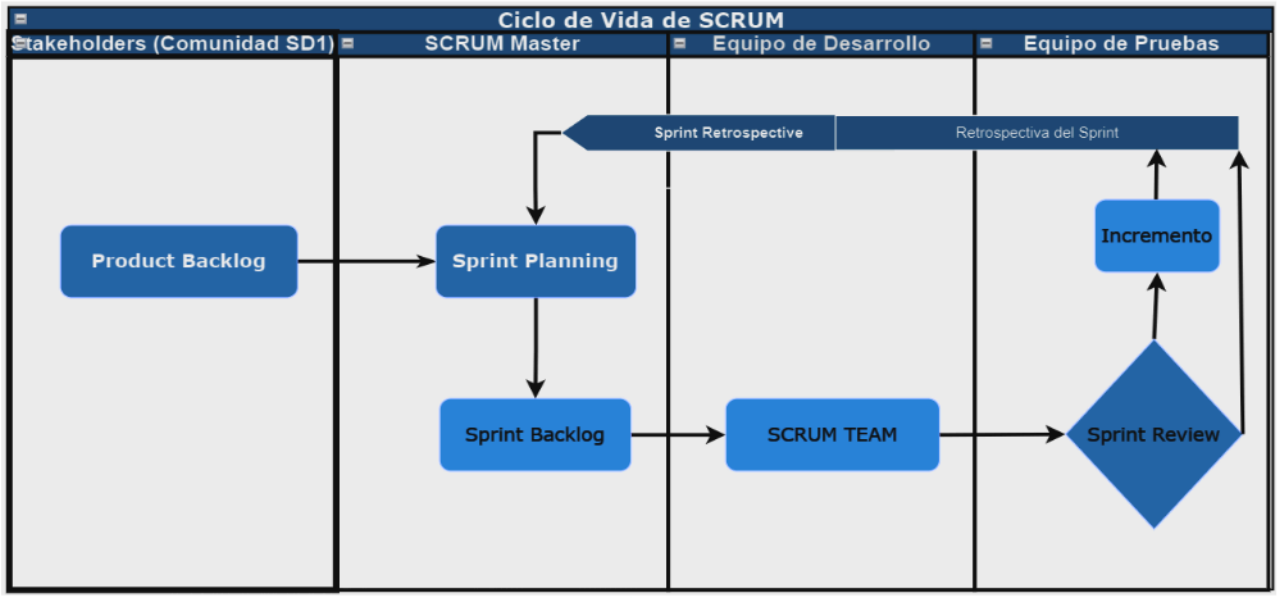


Fig. 1. Ciclo de vida - SCRUM[13]

Como se muestra en [15], el control de actividades puede llevarse a cabo mediante el uso de un tablero en Trello, la cual es una herramienta que facilita la aplicación de la metodología.

Aplicación Web

Las organizaciones están depositando una creciente confianza en la información como un recurso fundamental para mejorar las operaciones comerciales, facilitar la toma de decisiones en la gestión y desplegar estrategias de negocios[16]. Una aplicación web es un software que se ejecuta en un navegador y permite a los usuarios interactuar mediante una interfaz de usuario basada en la web. Los estudios realizados en [1], proporcionan un análisis detallado sobre la implementación exitosa de una aplicación web en el contexto de ese tipo de negocio. Las aplicaciones web se utilizan ampliamente en diversos contextos, que van desde el comercio electrónico hasta la gestión de servicios ciudadanos.

En el estudio titulado "Desarrollo de un software web para la generación de planes de gestión de riesgos de software" [17], se exhibe en la fase de resultados la implementación de una aplicación web mediante un conjunto definido de componentes y las iteraciones que se desarrollan. Este proceso implica la realización de solicitudes desde un usuario, las cuales son accedidas al servidor de aplicaciones a través de un navegador web.

En su estudio [18] dice que tanto las empresas del sector público como las del sector privado están cada vez más orientadas hacia la provisión de información y servicios mediante plataformas en línea a través de Internet u otros medios digitales. En el desarrollo de una aplicación web para la gestión de servicios ciudadanos determinados en [19] se enfoca en permitir una mayor accesibilidad y conveniencia para los usuarios, así como una optimización de los procesos internos de la organización mediante la digitalización de servicios y la automatización de tareas. En el contexto específico de la recaudación de servicios ciudadanos, una aplicación web proporciona una plataforma accesible y conveniente para que los usuarios realicen pagos, accedan a información y realicen transacciones relacionadas con los servicios ofrecidos por las autoridades locales.

El empleo de un framework de desarrollo web disminuye la carga de trabajo relacionada con el desarrollo de aplicaciones web. Un framework proporciona una estructura predefinida y un conjunto de herramientas que facilitan la creación, el mantenimiento y la escalabilidad de la aplicación. Al aprovechar las funcionalidades y las convenciones establecidas por el framework, los desarrolladores pueden enfocarse en la implementación de características específicas del negocio, reduciendo así el tiempo y los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto [20]. Las aplicaciones web pueden variar en complejidad y funcionalidad, desde simples páginas web interactivas hasta aplicaciones empresariales complejas.

Servicios Ciudadanos

Los servicios ciudadanos son aquellos servicios públicos proporcionados por las autoridades locales para satisfacer las necesidades y demandas de los ciudadanos en áreas como la salud, la educación, la vivienda, el transporte, la seguridad, suministro de agua potable, electricidad, recolección de basura, alcantarillado y transporte público. El estudio referenciado como [21] concluye que la implementación de una aplicación web conlleva una mejora significativa en la gestión de los servicios ofrecidos, lo que simplifica las tareas asociadas con la prestación de dichos servicios. La eficaz prestación de servicios ciudadanos es fundamental para el bienestar y el desarrollo de una comunidad. En el contexto de la aplicación web para la recaudación de servicios ciudadanos en la comunidad Santo Domingo N°1 del cantón Cayambe, es importante considerar las necesidades específicas de los ciudadanos y diseñar una plataforma que facilite el acceso a los servicios y mejore la experiencia del usuario.

La prestación de servicios ciudadanos está sujeta a la percepción pública, que puede variar entre positiva y negativa, como se evidencia en el estudio llevado a cabo por [22], donde se califica como buena, aunque algunos factores impiden que alcance un nivel excelente.

Metodología

El estudio se centra en la implementación de la metodología SCRUM para mejorar la gestión de recaudación de servicios ciudadanos de la Directiva de la Comunidad Santo Domingo N°1 del Cantón Cayambe. El proyecto adopta un enfoque mixto que combina elementos descriptivos, documentales y de campo para comprender a fondo los procesos existentes y proponer mejoras sustanciales. Para recopilar información relevante, se emplean herramientas como entrevistas y cuestionarios, que permiten obtener una visión completa de las necesidades y expectativas de la comunidad, así como de los desafíos enfrentados por la Directiva en la prestación de servicios ciudadanos. Este enfoque integral facilita la identificación de áreas de oportunidad y la formulación de soluciones eficaces para optimizar la gestión comunitaria.

Recolección de Requisitos y Planificación Inicial

La fase inicial del proyecto se centra en la planificación para la recolección de requisitos. En esta etapa, los stakeholders, representados por los miembros de la directiva de la comunidad (como el presidente y el tesorero), participan mediante la aplicación de una encuesta de 11 preguntas, previamente validadas. El propósito de esta encuesta es identificar los requisitos esenciales de la aplicación, estableciendo una base para la realización de entrevistas más detalladas que permitan recopilar y refinar los diversos requisitos del sistema.

Luego de un proceso de consenso entre los stakeholders, se confirma la necesidad de implementar un sistema automatizado de cobro de servicios ciudadanos en la comunidad. A continuación, se procede a la identificación y priorización de los requisitos funcionales y no funcionales para la aplicación web, asegurando que el sistema cumpla con las expectativas y necesidades de los usuarios.

En el marco de este contexto, se establece la formación del equipo y la definición de roles en SCRUM para el desarrollo de la aplicación web destinada a la recaudación de servicios ciudadanos. Este proceso se fundamenta en métricas de calidad conforme a la normativa ISO/IEC 25010, los que se detalla a continuación:

- Product Owner: Es el encargado de representar los intereses de la comunidad y definir las funcionalidades prioritarias de la aplicación. Gestiona el Product Backlog y se asegura de que los requisitos de calidad definidos por la normativa ISO/IEC 25010 se integren en el desarrollo del producto.

- SCRUM Master: Actúa como facilitador del equipo, garantizando que sigan las prácticas y principios de SCRUM. Su principal función es eliminar las dificultades que puedan afectar con el progreso del equipo y mantener un entorno de trabajo fructuoso y colaborativo.

- Equipo de Desarrollo: Está combinado por tres profesionales responsables de diseñar, desarrollar y probar la aplicación web. Trabajan en conjunto para alcanzar los objetivos de cada Sprint, integrando las métricas de calidad establecidas en la normativa ISO/IEC 25010 en todo el proceso de desarrollo.

- Stakeholders: Incluyen a la directiva de la comunidad (presidente y tesorero) Santo Domingo N°1 del Cantón Cayambe. Su rol es proporcionar retroalimentación, revisar los entregables y validar que se cumplan con los requisitos de calidad establecidos.

Según los criterios de calidad de software determinados en la norma ISO/IEC 25010 [6],[8],[11], existe varias características en las cuales nos podemos enfocar al desarrollar software.

Creación del Product Backlog.

Basado en los requisitos identificados, se elaboró un producto backlog priorizado el cual contiene todas las funcionalidades y características de la aplicación.

Backlog de la aplicación

Requisitos Funcionales:

1. Visualización de Facturas
2. Proceso de Pago en Línea
3. Generación de Informes Administrativos
4. Registro de Usuarios
5. Inicio de Sesión de Usuarios
6. Actualización de Perfil de Usuario

Requisitos No Funcionales

1. Seguridad de Datos de Usuarios
2. Interfaz de Usuario Intuitiva
3. Rendimiento Optimizado
4. Escalabilidad del Sistema
5. Compatibilidad con Dispositivos y Navegadores

A continuación, se presenta el desglose detallado del Product Backlog en la Tabla 2.

Tabla 2. Detalles del Backlog.

Detalles del Backlog	***Implementación***
Visualización de Facturas	Implementar sección de facturación detallada.
	Permitir descarga e impresión de facturas.
Proceso de Pago en Línea	Integrar pasarelas de pago seguras.
	Garantizar seguridad de datos financieros.
Generación de Informes Administrativos	Desarrollar herramientas de presentación de informes.
	Permitir exportación de informes en diferentes formatos
Registro de Usuarios	Diseñar formulario de registro con información personal.
	Implementar verificación de correo electrónico.
Inicio de Sesión de Usuarios	Crear página de inicio de sesión segura.
	Integrar recuperación de contraseña.
Actualización de Perfil de Usuario	Diseñar página de perfil para actualizar información personal.
	Habilitar opción para cambiar contraseña.
Seguridad de Datos de Usuarios	Implementar protocolos de encriptación
	Establecer medidas de seguridad contra ataques
Interfaz de Usuario Intuitiva	Diseñar interfaz limpia y fácil de usar.
	Realizar pruebas de usabilidad para corregir errores

Rendimiento Optimizado	Optimizar código y recursos para tiempos de carga.
	Realizar pruebas de carga para evaluar rendimiento del sistema
Escalabilidad del Sistema	Diseñar arquitectura para crecimiento orgánico
	Implementar tecnologías para escalabilidad.
Compatibilidad con Dispositivos y Navegadores	Probar aplicación en diferentes dispositivos y navegadores.
	Implementar diseño responsivo

3.4 Implementación.

Sprints y Planificación de Iteraciones.

El proyecto, sigue la metodología SCRUM, un sprint representa un intervalo de tiempo definido y breve durante el cual se abordan un conjunto específico de funcionalidades o tareas prioritarias. Los sprints duran entre dos y cuatro semanas, aunque esta duración puede ajustarse según las necesidades del equipo y los objetivos del proyecto. Durante cada sprint, el equipo se compromete a completar una serie de elementos del backlog del producto, que son las funcionalidades o tareas prioritarias definidas por el Product Owner.

En el transcurso del sprint, el trabajo se divide en incrementos pequeños y manejables, los cuales se pueden completar dentro del período de tiempo establecido. Al concluir cada sprint, se lleva a cabo una revisión del trabajo realizado, donde se presentan los avances al Product Owner y a otros stakeholders relevantes. Además, se realiza una retrospectiva en la que el equipo evalúa su desempeño durante el sprint y busca oportunidades para mejorar en futuras iteraciones. Los sprints nos permiten seguir un enfoque de desarrollo iterativo e incremental, como se muestra en la Figura 2, Esto facilita la adaptación a los cambios y la entrega continua de valor en el desarrollo del proyecto.

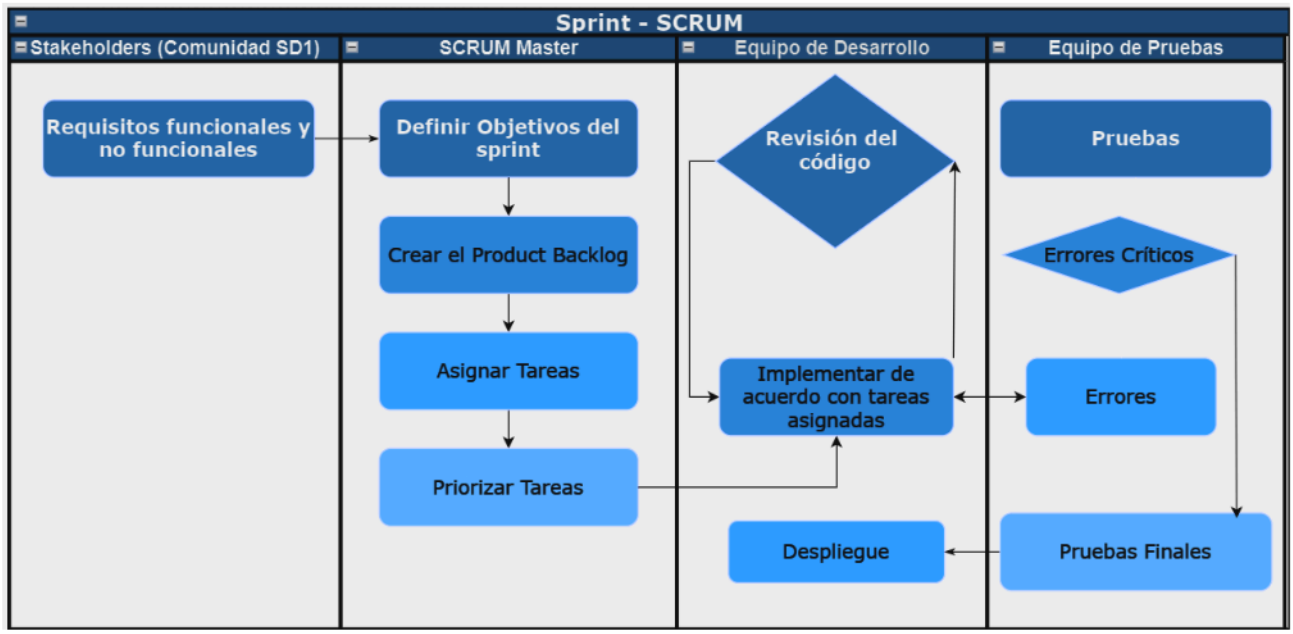


Fig. 2. Sprint en SCRUM

El desarrollo del proyecto se inicia adoptando un enfoque ágil, la cual se organiza en sprints de duración corta, esta es de 3 a 4 semanas cada uno, con un total de 5 sprints planificados. Al inicio de los sprints, se lleva a cabo una reunión de planificación en la que se seleccionan y planifican las tareas que se abordarán durante ese período específico. Durante la fase inicial de cada sprint, se realiza el levantamiento de información para identificar y priorizar los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación. Para esta tarea, se utiliza Trello como herramienta de organización y seguimiento del proyecto, como se ilustra en la Figura 3. Trello presenta tres columnas: "Lista de tareas", donde se detallan todas las actividades a realizar, incluyendo el backlog asignado a los miembros del equipo con información como nombre, descripción, asignación de miembros, etiquetas, checklist, fechas y archivos adjuntos; "En Proceso", que muestra las tareas que están en desarrollo y son monitoreadas por el SCRUM Master para asegurar su

avance sin retrasos; y finalmente, "Hecho", que contiene las actividades terminadas. Este enfoque agiliza el proceso de desarrollo y garantiza un seguimiento eficiente del progreso de las tareas.

Se llevan a cabo reuniones breves diarias con el propósito de identificar posibles obstáculos que puedan dificultar el progreso de las tareas planificadas. Estas reuniones tienen como objetivo facilitar el avance efectivo del proyecto y prevenir que los miembros del equipo se vean detenidos en alguna tarea debido a la falta de información.

Cada miembro del equipo es responsable de revisar todas las tareas asignadas y avanzar de manera progresiva en sus responsabilidades. El Product Owner colabora estrechamente con los usuarios finales y miembros del equipo, actuando como un enlace entre el equipo de desarrollo y las partes interesadas. Esta colaboración garantiza que el producto final satisfaga los requerimientos del usuario y esté alineado con los objetivos de la comunidad.

Cada sprint implica una revisión y validación de las tareas realizadas. En caso de que una tarea no pase la validación, se devuelve a la columna "En Proceso" para su corrección. En la Figura 3, se muestra una captura de las actividades planificadas, para la aplicación web de cobro de servicios ciudadanos de la comunidad Santo Domingo N°1. (appCSC-SD1).

Para los requisitos funcionales se asigna a dos programadores, con un total de 720 horas. Entre estos, el Proceso de Pago en Línea es el que más tiempo demanda (400 horas), seguido de la Generación de Informes Administrativos (160 horas). Los requisitos relacionados con el registro, inicio de sesión y actualización de perfil son más simples, con tiempos de entre 20 y 30 horas cada uno.

En los requisitos no funcionales, se asigna un programador, con un total de 232 horas. Los aspectos de Seguridad de Datos e Interfaz de Usuario Intuitiva son los que requieren más atención (80 horas cada uno). Los requisitos de Escalabilidad y Compatibilidad con Dispositivos y Navegadores requieren menos tiempo (16 horas cada uno).

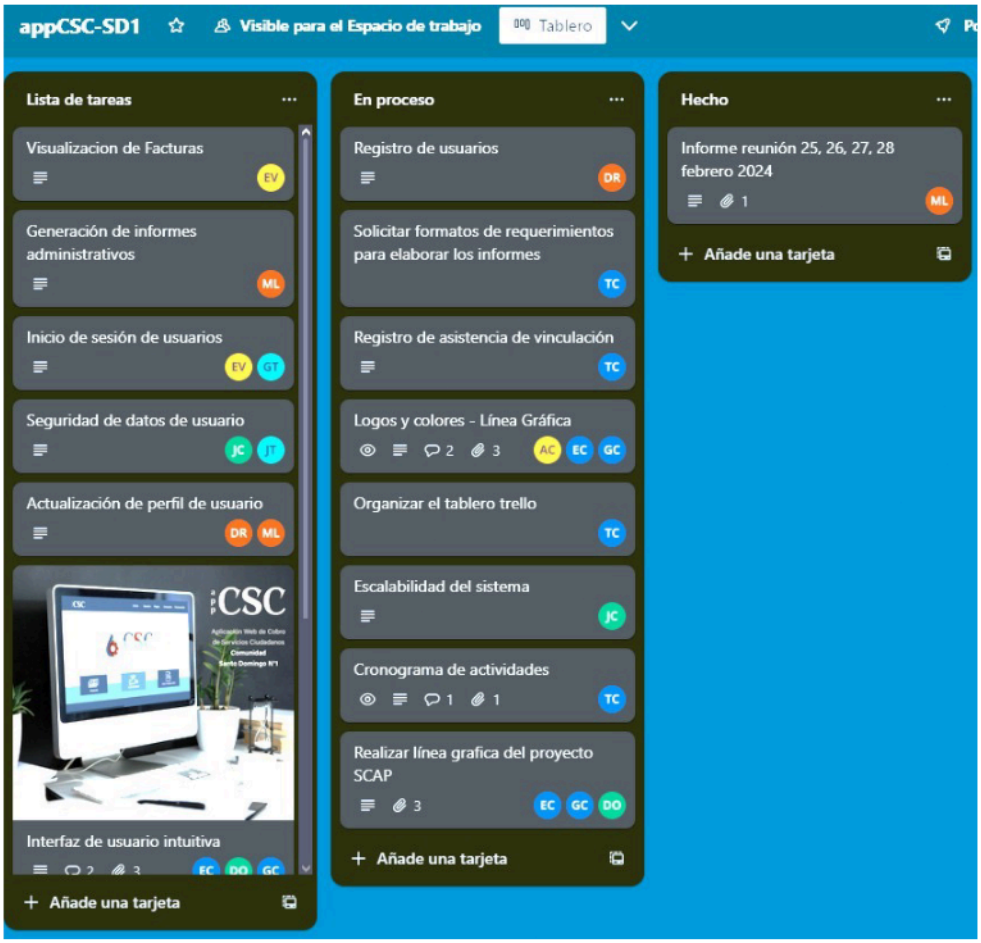


Fig. 3. Tablero Trello de la aplicación appCSC-SD1.

El modelo relacional de la base de datos se construye de manera iterativa, integrando los elementos del backlog, los principios SCRUM y los criterios de calidad de la norma ISO/IEC 25010. En cada sprint, se priorizan los requisitos de gestión de datos, traduciéndolos en entidades, atributos y relaciones del modelo de datos. Se emplean técnicas de modelado para garantizar que los requisitos funcionales y no funcionales del sistema queden reflejados con precisión. Revisiones periódicas con el equipo de desarrollo y

stakeholders aseguran que el modelo esté alineado con las necesidades del proyecto y los estándares de calidad. Este enfoque iterativo y colaborativo genera un modelo robusto y adaptable para la aplicación web de recaudación ciudadana.

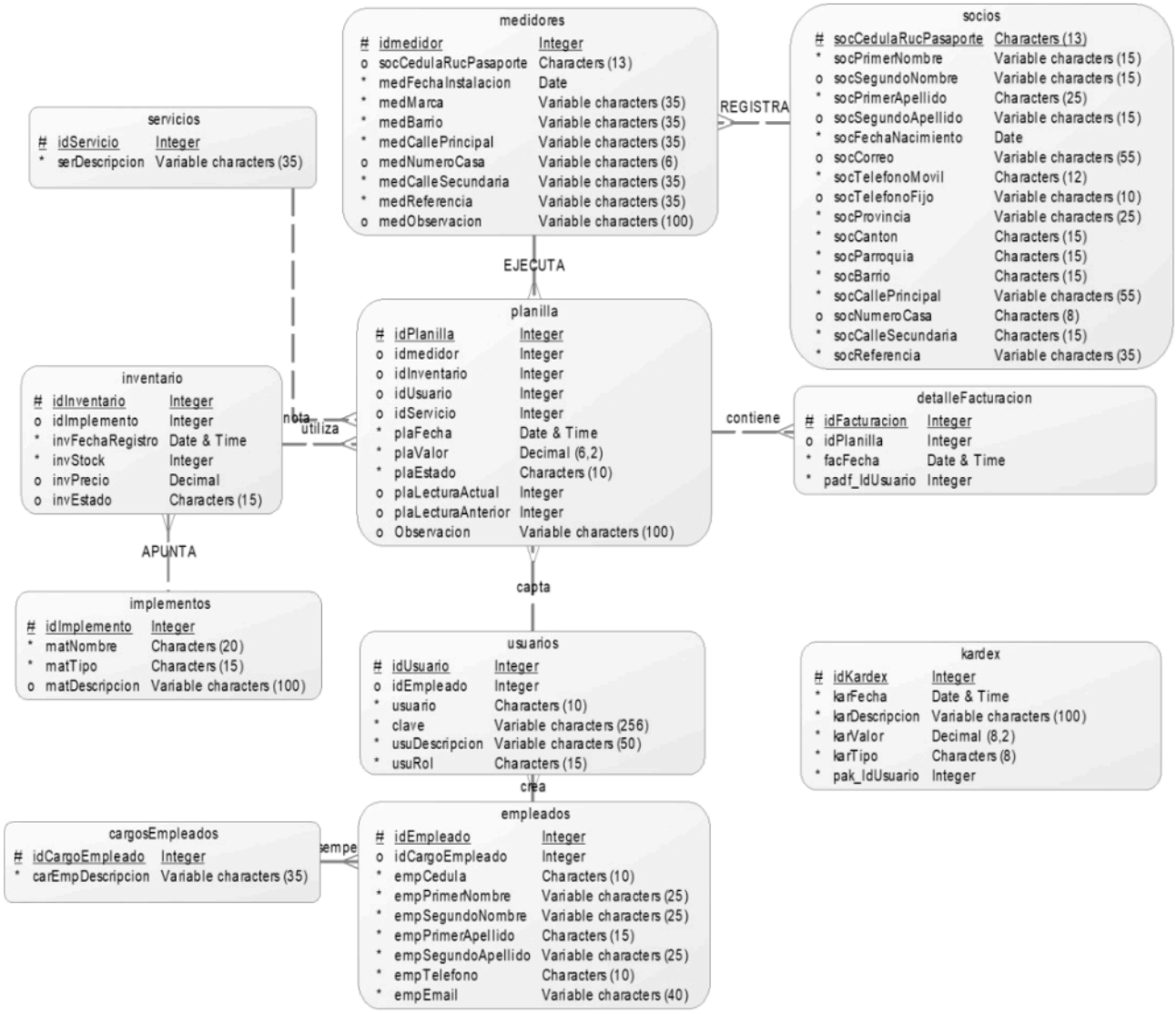


Fig. 4. Modelo Relacional - appCSC-SD1.

La Figura 5 ilustra la arquitectura de software de la aplicación, destacando la interacción del usuario con el sistema. La arquitectura contempla un servidor con un nombre de dominio accesible a través de una IP pública mediante un navegador web. El data center alberga el servidor web, que mantiene una comunicación directa tanto con el servidor de base de datos como con el message queue. La gestión y supervisión del sistema se efectúan a través de un centro de monitorización, el cual permite realizar reportes de logueo, automatización de procesos y análisis de métricas. Este centro asegura una administración eficiente y la capacidad de detectar y responder a eventos operativos en tiempo real.

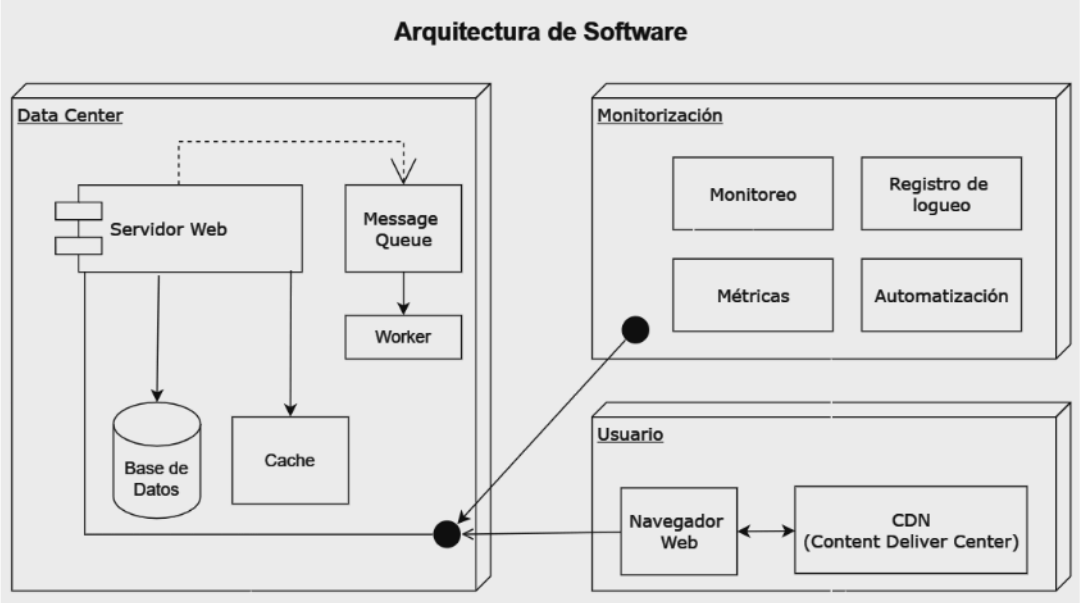


Fig. 5. Arquitectura de software

ANALISIS DE RESULTADOS

Revisión y Retrospectiva.

Al concluir cada sprint, se organiza una revisión con los stakeholders con el propósito de exhibir las funcionalidades completadas y recabar retroalimentación. A continuación, se realiza una retrospectiva del sprint con el equipo de desarrollo para identificar áreas de mejora y ajustar el proceso según sea necesario. En la Figura 6 se presenta el diagrama de componentes, el cual ofrece una vista general de la arquitectura de la aplicación web. Este diagrama permite documentar la organización de los componentes del sistema, así como sus relaciones y dependencias, proporcionando una visión clara de la interacción entre las distintas partes que conforman la aplicación.

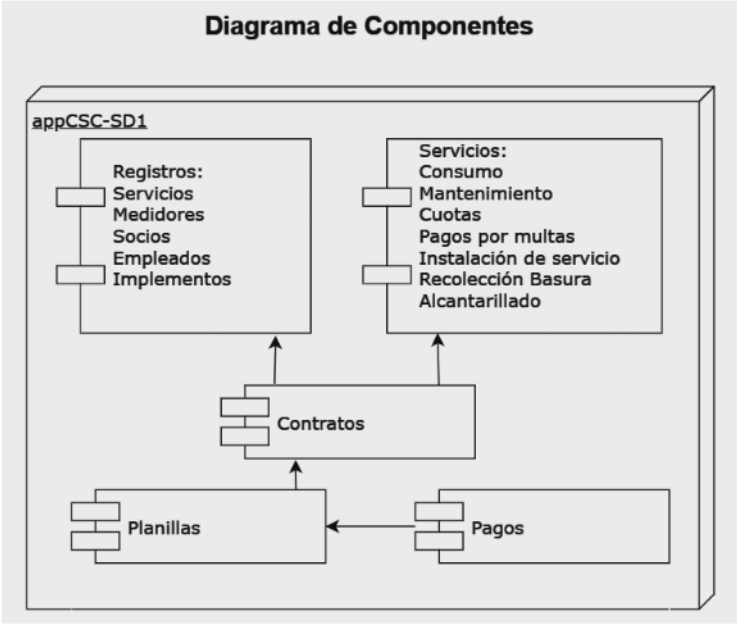


Fig. 6. Diagrama de componentes appCSC-SD1

Evaluación

Pruebas y Validación.

Con el objetivo de llevar a cabo las pruebas unitarias, de integración y de aceptación para garantizar el correcto funcionamiento y la calidad de la aplicación web, la Tabla 3 detalla las subcaracterísticas de Usabilidad evaluadas en el sistema. Cada subcaracterística está definida según los criterios establecidos en la norma ISO/IEC 25010, proporcionando una visión integral de los aspectos clave relacionados con la adecuación reconocible, la facilidad de aprendizaje, la operabilidad, la protección frente a errores de usuario, la estética de la GUI y la accesibilidad.

Tabla 3. Tabla de Usabilidad (ISO/IEC 25010) para la evaluación de la appCSC-SD1.

Subcaracterística	Descripción
Adecuación reconocible	El sistema permite que los usuarios identifiquen fácilmente las funcionalidades para cumplir con sus objetivos.
Facilidad de aprendizaje	Facilidad con la que los nuevos usuarios pueden aprender a utilizar el sistema.
Operabilidad	Grado en que el sistema permite a los usuarios operar con eficacia y eficiencia.
Protección frente a errores de usuario	Capacidad del sistema para prevenir, detectar y corregir errores de usuario.
Estética de la GUI	La presentación visual de la interfaz gráfica de usuario (GUI) es atractiva y agradable para los usuarios.
Accesibilidad	El sistema es accesible para usuarios con diferentes capacidades, incluyendo aquellos con discapacidades.

La Tabla 4 muestra la relación entre las subcaracterísticas de Usabilidad y los indicadores, preguntas y métricas aplicadas para su evaluación. Esta tabla detalla cómo cada subcaracterística se vincula con los aspectos específicos evaluados, proporcionando una visión clara de los criterios utilizados para medir el rendimiento del sistema en función de las métricas establecidas.

Tabla 4. Relación de las subcaracterísticas con los indicadores, preguntas y métricas que se aplican para la evaluación

Subcaracterística / Indicadores	Pregunta	Métrica (Selección Múltiple)
Adecuación Reconocible / I_{AR1} = Pregunta 1 I_{AR2} = Pregunta 2	1. ¿Pudo identificar fácilmente las funcionalidades principales para cumplir con sus objetivos?	Sí / No
	2. ¿Las etiquetas y menús del sistema fueron intuitivos y claros para usted?	Totalmente de acuerdo / De acuerdo / Neutral / En desacuerdo / Totalmente en desacuerdo
Facilidad de Aprendizaje / I_{CA1} = Pregunta 3 I_{CA2} = Pregunta 4	3. ¿Cuánto tiempo le tomó aprender a usar el sistema para realizar tareas comunes?	Menos de 10 minutos / 10-30 minutos / Más de 30 minutos
	4. ¿El sistema provee ayudas o tutoriales efectivos para nuevos usuarios?	Sí / No

Operabilidad / I_{O1} = Pregunta 5 I_{O2} = Pregunta 6	5. ¿Pudo realizar las tareas de forma eficiente y sin complicaciones?	Siempre / A veces / Nunca
	6. ¿El sistema responde de manera adecuada a sus interacciones?	Totalmente de acuerdo / De acuerdo / Neutral / En desacuerdo / Totalmente en desacuerdo
Protección frente a Errores de Usuario / I_{PEU1} = Pregunta 7 I_{PEU2} = Pregunta 8	7. ¿El sistema previene errores comunes o le permite corregirlos fácilmente?	Sí / No
	8. ¿Recibió mensajes claros y útiles cuando cometió un error?	Siempre / A veces / Nunca
Estética de la GUI / I_{EIG1} = Pregunta 9 I_{EIG2} = Pregunta 10	9. ¿La interfaz gráfica de usuario le resulta atractiva y agradable?	Totalmente de acuerdo / De acuerdo / Neutral / En desacuerdo / Totalmente en desacuerdo
	10. ¿Los elementos visuales (colores, fuentes, disposición) son apropiados y facilitan la interacción?	Totalmente de acuerdo / De acuerdo / Neutral / En desacuerdo / Totalmente en desacuerdo
Accesibilidad / I_{A1} = Pregunta 11 I_{A2} = Pregunta 12	11. ¿El sistema es accesible y fácil de usar para personas con diferentes capacidades (incluyendo discapacidades)?	Totalmente accesible / Accesible con dificultades / No accesible
	12. ¿El sistema ofrece opciones para personalizar la interfaz según sus necesidades?	Sí / No

Discusión de resultados

La Tabla 5 presenta los resultados de la evaluación de calidad basados en el criterio de Usabilidad, conforme a la norma ISO/IEC 25010. Estos datos se obtuvieron a través de una encuesta aplicada mediante Google Formularios, que constaba de 12 preguntas, distribuidas equitativamente entre las diferentes subcategorías

de usabilidad, con 2 preguntas específicas para cada una. Las subcategorías evaluadas incluyeron operatividad, accesibilidad, estética, comprensibilidad y facilidad de aprendizaje. Los resultados reflejan el promedio de las respuestas proporcionadas por los miembros de la directiva de la comunidad (presidente, tesorero y vocal), junto con dos representantes del equipo de desarrollo, lo que permitió analizar el desempeño del sistema en términos de usabilidad bajo los estándares de calidad establecidos.

Tabla 5. Resultados de la evaluación de calidad según el criterio de Usabilidad de la ISO/IEC 25010

Adecuación Reconocible				**Protección frente a Errores de Usuario**			
Métricas (* Mejor Valor)	Indicadores		Porcentaje obtenido por subcaracterística de Usabilidad	Métricas (* Mejor Valor)	Indicadores		Porcentaje obtenido por subcaracterística de Usabilidad
	lAR1	lAR2			lPEU1	lPEU2	
*1	100%	20%	60%	*1	100%	80%	90%
2	0%	80%	40%	2	0%	20%	10%
3	-	0%	0%	3	-	0%	0%
4	-	0%	0%	4	-	-	-
5	-	0%	0%	5	-	-	-

Facilidad de Aprendizaje				**Estética de la GUI**			
Métricas (* Mejor Valor)	Indicadores		Porcentaje obtenido por subcaracterística de Usabilidad	Métricas (* Mejor Valor)	Indicadores		Porcentaje obtenido por subcaracterística de Usabilidad
	lFA1	lFA2			lEIG1	lEIG2	
*1	40%	40%	40%	*1	20%	40%	30%
2	60%	60%	60%	2	60%	40%	50%
3	0%	-	0%	3	20%	20%	20%
4	-	-	-	4	0%	0%	0%
5	-	-	-	5	0%	0%	0%

Operabilidad				**Accesibilidad**			
Métricas (* Mejor Valor)	Indicadores		Porcentaje obtenido por subcaracterística de Usabilidad	Métricas (* Mejor Valor)	Indicadores		Porcentaje obtenido por subcaracterística de Usabilidad
	lO1	lO2			lA1	lA2	
*1	80%	20%	50%	*1	80%	60%	70%
2	20%	60%	40%	2	0%	40%	20%
3	0%	20%	10%	3	20%	-	20%
4	-	0%	0%	4	-	-	-
5	-	0%	0%	5	-	-	-

La Tabla 6 presenta el promedio de evaluación por subcaracterística bajo el criterio de Usabilidad según la norma ISO/IEC 25010, donde 1 representa la calificación óptima y 5 la calificación más baja. Esta tabla resume el desempeño del sistema en diferentes subcaracterísticas de usabilidad, proporcionando una visión general de su efectividad en cada área evaluada.

Se observa que, en promedio, el sistema obtiene una calificación del 57% en la categoría de calificación óptima, un 37% en calificación media alta, un 6% en calificación media, y no recibe puntuaciones en las categorías de calificación media baja y calificación baja. Desde una perspectiva general, estos resultados indican una evaluación positiva del sistema, con un predominio de calificaciones óptimas y media alta.

Tabla 6. Promedio de evaluación por subcaracterística bajo el criterio de Usabilidad de la ISO/IEC 25010

Subcaracterísticas de Usabilidad	Promedio de Evaluación 1 Más alta, 5 más baja				
	1	2	3	4	5
Adecuación Reconocible	60%	40%	0%	0%	0%
Facilidad de Aprendizaje	40%	60%	0%	-	-
Operabilidad	50%	40%	10%	0%	0%
Protección frente a Errores de Usuario	90%	10%	0%	-	-
Estética de la GUI	30%	50%	20%	0%	0%
Accesibilidad	70%	20%	10%	-	-
Promedio	57%	37%	6%	0%	0%

La Fig. 7 presenta las líneas correspondientes al promedio obtenido para cada una de las series evaluadas. La Serie 1 representa la valoración óptima, basada en los puntajes más altos en las subcategorías de usabilidad definidas por la norma ISO/IEC 25010. La Serie 2 refleja una valoración media alta, mientras que la Serie 3 muestra una calificación media en las mismas subcategorías. Estas series permiten comparar el rendimiento del sistema en relación con los criterios de usabilidad y evidencian las diferencias en la percepción de los usuarios según los distintos niveles de evaluación.

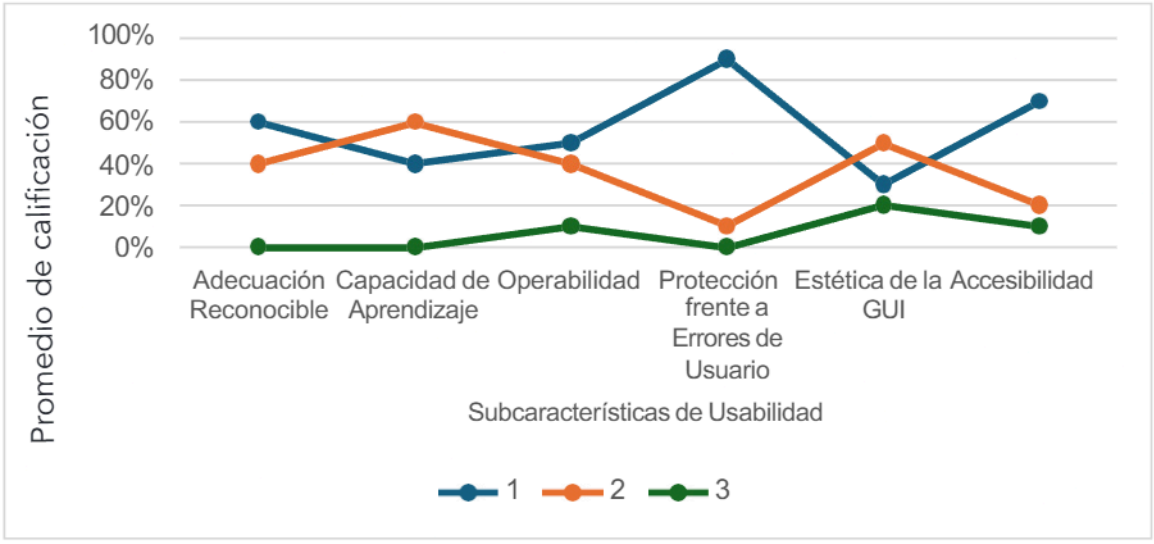


Fig. 7 Promedio obtenido para cada una de las subcategorías evaluadas dentro del marco de la norma ISO/ IEC 25010.

La Fig. 8 presenta los resultados de la evaluación de Adecuación Reconocible mediante los indicadores IAR1 e IAR2 en su nivel óptimo. El indicador IAR1 alcanza un 100%, lo que sugiere que los usuarios pudieron identificar fácilmente las funcionalidades principales del sistema para cumplir con sus objetivos, cumpliendo así de manera óptima con este criterio. En contraste, el indicador IAR2 obtiene solo un 20% en su calificación óptima, lo que indica que los usuarios experimentaron dificultades al identificar las etiquetas y menús del sistema, afectando negativamente la claridad de la interfaz en este aspecto.

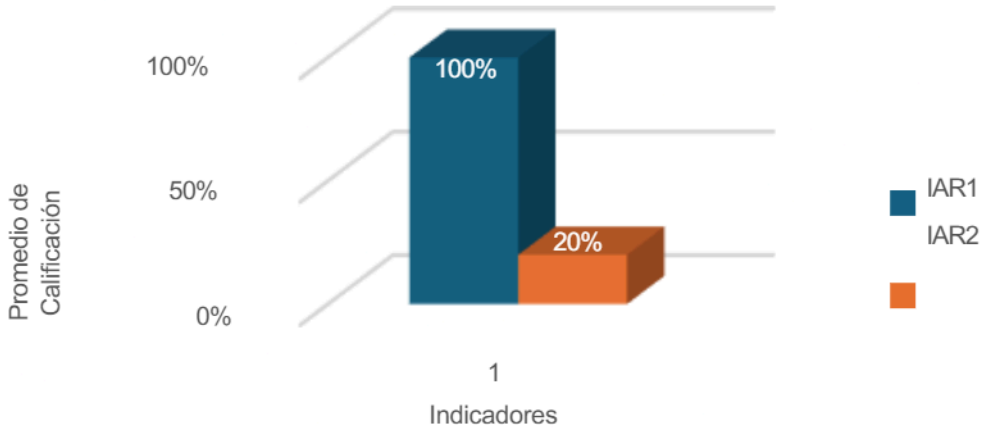


Fig. 8 Resultados de Adecuación Reconocible con los indicadores IAR1 e IAR2 en su calificación optima. 0%

La Fig. 9 presenta los resultados de la Facilidad de Aprendizaje, evaluada a través de los indicadores IFA1 y IFA2. Ambos indicadores muestran un puntaje del 40%, lo que sugiere que los usuarios enfrentan dificultades para aprender a utilizar el sistema en tareas comunes. Este resultado también indica una falta de asistencia adecuada o tutoriales efectivos para nuevos usuarios.

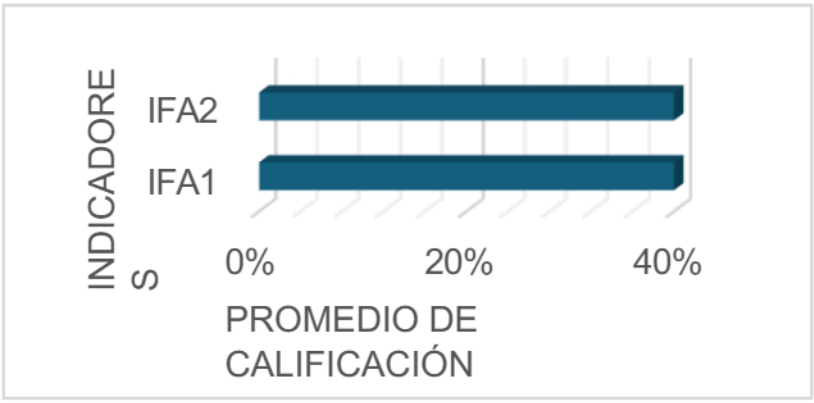


Fig. 9 Resultados de Facilidad de aprendizaje en los indicadores IFA1 y IFA2 en su calificación optima.

La Fig. 10 presenta los resultados de Operatividad, evaluados mediante los indicadores IO1 e IO2. El indicador IO1 alcanza una calificación del 80%, lo que sugiere que las tareas se pueden realizar de manera eficiente y sin complicaciones. En contraste, el indicador IO2 solo alcanza el 20%, indicando que el sistema no responde de manera adecuada a sus interacciones.

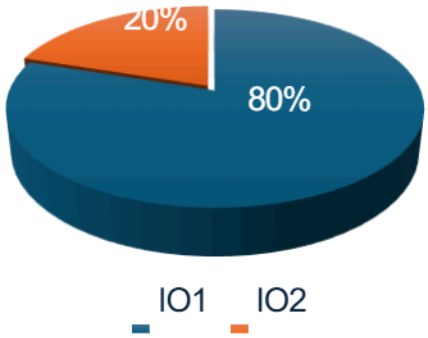


Fig. 10 Resultados de Operatividad con sus indicadores IO1 e IO2 en su calificación optima.

La Fig. 11 muestra los resultados de Protección frente a Errores de Usuario, evaluados mediante los indicadores IPEU1 e IPEU2. El indicador IPEU1 alcanza una calificación del 100%, lo que indica que el sistema previene de manera efectiva los errores comunes y facilita su corrección. Por otro lado, el indicador IPEU2 obtiene un 80%, sugiriendo que el sistema proporciona mensajes claros y útiles a los usuarios cuando se producen errores, aunque aún puede haber oportunidades para mejorar la comunicación en algunos casos.

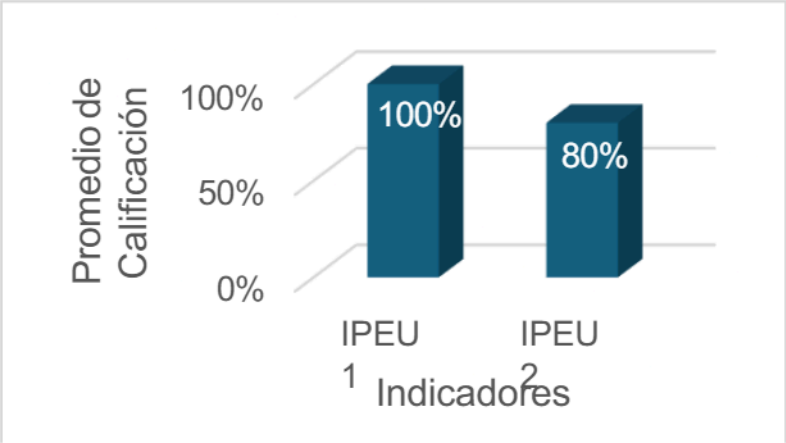


Fig. 11 Resultados obtenidos en la evaluación de Protección frente a Errores de Usuario, en su calificación optima.

La Fig. 12 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la Estética de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI), a través de los indicadores IEIG1 e IEG2. El indicador IEIG1, con una calificación óptima del 20%, sugiere que hay margen para mejorar la interfaz gráfica de usuario. Además, el 60% de las evaluaciones otorgan una calificación media alta para este indicador. El indicador IEG2 presenta un 40% en calificación óptima y un 40% en calificación media alta, lo que indica que existen áreas específicas en los elementos visuales del sistema que requieren mejoras para optimizar la experiencia del usuario.

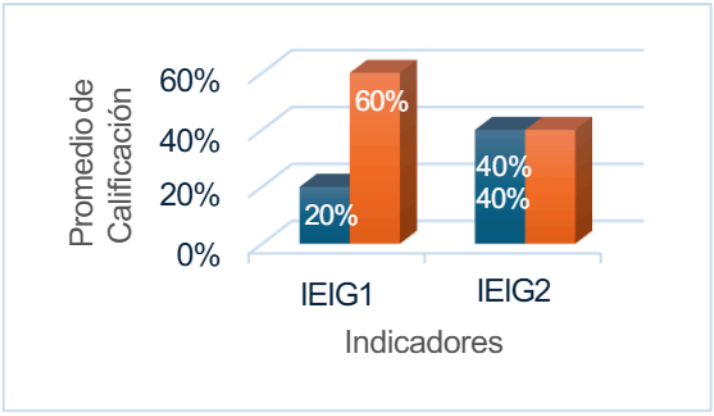


Fig. 12 Resultados obtenidos en la evaluación de Estética de la GUI

La Fig. 13 presenta los resultados obtenidos en la evaluación de la subcaracterística de Accesibilidad. El indicador IA1 obtiene una calificación del 80%, lo que sugiere que el sistema es accesible y fácil de usar para personas con diferentes capacidades. En contraste, el indicador IA2 alcanza un 60%, indicando que el sistema ofrece opciones para personalizar la interfaz según las necesidades de los usuarios, aunque hay oportunidades para mejorar en esta área.

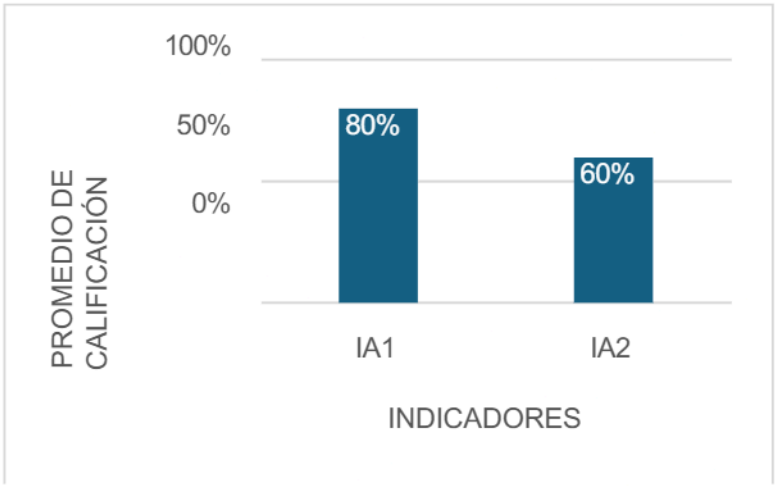


Fig. 13 Resultados obtenidos de Accesibilidad, en su calificación optima.

Conclusiones

La evaluación promedio del sistema bajo el criterio de Usabilidad, según la norma ISO/ IEC 25010, muestra una distribución favorable de las calificaciones. Con un 57% en la categoría de calificación óptima y un 37% en calificación media alta, el sistema demuestra un desempeño general positivo en las subcaracterísticas de usabilidad evaluadas. La ausencia de puntuaciones en las categorías de calificación media baja y calificación baja refuerza la percepción de que el sistema cumple adecuadamente con los requisitos de usabilidad. Estos resultados sugieren que el sistema es eficaz en términos de usabilidad, con predominancia en calificaciones óptimas y media alta, lo que indica una experiencia de usuario satisfactoria en general.

La evaluación de la Adecuación Reconocible, como se muestra en la Fig. 8, revela una discrepancia significativa en el desempeño del sistema según los indicadores IAR1 e IAR2. El indicador IAR1, con una calificación óptima del 100%, indica que los usuarios lograron identificar fácilmente las funcionalidades principales del sistema, cumpliendo de manera óptima con este criterio. Sin embargo, el indicador IAR2 presenta una calificación óptima de solo el 20%, sugiriendo que los usuarios enfrentaron dificultades para identificar las etiquetas y menús del sistema, lo que impacta negativamente la claridad de la interfaz en este aspecto. Estos resultados indican que, aunque el sistema es efectivo en la identificación de funcionalidades principales, se requiere mejorar la claridad y la usabilidad de las etiquetas y menús para optimizar la experiencia del usuario.

La evaluación de Protección frente a Errores de Usuario, como se muestra en la Fig. 11, revela que el sistema maneja de manera excepcional los errores comunes. El indicador IPEU1, con una calificación del 100%, demuestra que el sistema previene eficazmente los errores y facilita su corrección. Sin embargo, el indicador IPEU2, con una calificación del 80%, sugiere que, aunque el sistema ofrece mensajes claros y útiles a los usuarios en caso de errores, aún existen oportunidades para mejorar la comunicación en algunos aspectos. 0%

La evaluación de la Estética de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI), presentada en la Fig. 12, revela que aunque el sistema muestra áreas de fortaleza, también hay significativas oportunidades de mejora. El indicador IEIG1 obtiene una calificación óptima del 20%, lo que sugiere que aún hay margen para mejorar la interfaz gráfica de usuario. Sin embargo, un 60% de las evaluaciones asigna una calificación media alta a este indicador, indicando una percepción relativamente positiva, pero con espacio para mejoras. Por otro lado, el indicador IEG2 muestra un 40% en calificación óptima y un 40% en calificación media alta, lo que señala que mientras el sistema cumple adecuadamente en algunas áreas, también presenta aspectos específicos en los elementos visuales que necesitan ser optimizados para mejorar la experiencia del usuario. En general, los resultados sugieren que, aunque la interfaz gráfica tiene una base sólida, se deben realizar ajustes en el diseño visual para alcanzar un nivel de estética más consistente y satisfactorio.

La plataforma establecida para la comunidad Santo Domingo N°1 del cantón Cayambe demuestra un alto nivel de accesibilidad y transparencia, facilitando a los ciudadanos el acceso a información detallada sobre los servicios disponibles y sus costos asociados. Las interfaces intuitivas y fáciles de usar permiten a los usuarios navegar por la aplicación web de manera sencilla y realizar transacciones con comodidad, sin importar su nivel de conocimiento tecnológico. Este enfoque en la accesibilidad y la usabilidad garantiza una experiencia positiva para todos los usuarios, contribuyendo a una mayor eficacia en la gestión de servicios y en la interacción con la plataforma.

Referencias

[1]. Díaz-Vásquez et al. - 2023 - Control de historias clínicas clasificadas por pat.pdf. Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/ric/v102/1028-9933-ric-102-e4314.pdf

[2]. Andino et al. - 2020 - aplicación del desarrollo guiado por pruebas como .pdf. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14579/1/per_n23_v1-06.pdf

[3]. Avilés Matute et al. - 2020 - Desarrollo de sistema Web basado en los frameworks.pdf.

[4]. Mex-Alvarez et al. - 2019 - Análisis de usabilidad web a través de métricas es.pdf.

[5]. Reglamento de la Comunidad Santo Domingo N.1.pdf.

[6]. Ruata Avilés - 2022 - Evaluación de software contable de aplicación, par.pdf. Accedido: 3 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v14n5/2218-3620-rus-14-05-611.pdf

[7]. ISO 25010. Accedido: 3 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010

[8]. ISO 25010. Accedido: 3 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010

[9]. Choto Maza et al. - 2020 - Desarrollo de una aplicación móvil utilizando el f.pdf. Accedido: 3 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://journals.gdeon.org/index.php/esj/article/download/74/58

[10]. Molina Hernández et al. - 2020 - Estrategia de desarrollo de requisitos no funciona. pdf. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/rcim/v12n1/1684-1859-rcim-12-01-92.pdf

[11]. Reyes et al. - 2015 - Análisis comparativo de modelos y estándares para .pdf. Accedido: 14 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/download/411/pdf

[12]. Gandur et al. - Guía De Aplicación De La Metodología Scrum En Proy.pdf. Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/12913/Figueroa%20Oscar2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[13]. Ortega - 2023 - Implementación de SCRUM Como Estrategia De Gestión.pdf. Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://revistascientificas.cuc.edu.co/RVCDM/article/download/4350/4969

[14]. Cababie y Troilo - Metodologías ágiles en equipos de operaciones del .pdf.

[15]. García y García - Desarrollo De Comportamientos Dinámicos Aplicado A.pdf. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/23081/2022-23-ETSII-A-2321-2321050-i.rodriguezg.2018-memoria.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

[16]. Pozo-Durango et al. - 2023 - Algoritmos de seguridad para aplicaciones web un .pdf. Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/download/124/184

[17]. Castro-Rivera et al. - 2020 - Desarrollo de un software web para la generación d.pdf. Accedido: 10 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v31n3/0718-0764-infotec-31-03-135.pdf

[18]. Ocaña - 2023 - Web Para La Evaluación De Costos En Organismos Gub.pdf.

[19]. Arevalo y Meneses - 2023 - Aplicación web como soporte tecnológico en la gest.pdf. Accedido: 13 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/download/3247/3776

[20]. Lombris - Desarrollo de una Aplicación Web para la gestión d.pdf. Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/14863/Soto%20Lombris%2c%20Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[21]. Arevalo y Meneses - 2023 - Aplicación web como soporte tecnológico en la gest.pdf. Accedido: 13 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/download/3247/3776

[22]. Cuenca et al. - 2021 - Percepción social de la calidad y servicio de agua. pdf. Accedido: 3 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Kimberly-Gallardo/publication/348990853_Percepcion_social_de_la_calidad_y_servicio_de_agua_potable_en_la_ciudad_de_El_Coca_Orellana_-Ecuador_Social_perception_of_the_quality_and_service_of_drinking_water_in_El_Coca_city_Orellana_-Ecuador/links/601a1c8e45851589397a50a9/Percepcion-social-de-la-calidad-y-servicio-de-agua-potable-en-la-ciudad-de-El-Coca-Orellana-Ecuador-Social-perception-of-the-quality-and-service-of-drinking-water-in-El-Coca-city-Orellana-Ecuador.pdf

[23]. Rosero et al. - 2021 - Sistema remoto para la medición y visualización de.pdf. Accedido: 26 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas/article/download/554/519

[24]. Yépez et al. - 2021 - Aplicación basada en la metodología steam Un jueg.pdf. Accedido: 26 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas/article/download/623/568

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Análisis tribológico de un motor MEP en las ciudades de Quito y Santo Domingo con diferentes grados de viscosidad de aceite

Tribological Analysis of an ICE Engine in the Cities of Quito and Santo Domingo with Different Oil Viscosity Grades

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.948

Ignacio Benavides[1], Nury Moncayo[1], Víctor Hidalgo[2], Carlos Mafla[1], Paúl Hernández[1]
[1] Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
[2] Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
[1]{ibbenavides, nrmoncayot, cnmafla, ephernandez}@utn.edu.ec, [2]victor.hidalgo@epn.edu.ec

Fecha de envío, agosto 8/2023 - Fecha de aceptación, mayo 20/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: El objetivo de este estudio es analizar el desgaste de motores MEP con aceites de diferente viscosidad en las ciudades de Quito (2850 m.s.n.m) y Santo Domingo (655 m.s.n.m), con el propósito de identificar el desgaste de los elementos internos del motor mediante pruebas tribológicas. Para ello se empleó un vehículo Nissan Sentra B15 año 2002 y gasolina extra de 87 octanos, varios filtros de aceite para cada ensayo, lubricantes con grados de viscosidad SAE 10W30 y 20W50. De esta manera, se realizaron mediciones a diferentes regímenes del motor, como es 1500 y 2500 rpm. Los datos obtenidos de los gases contaminantes permitieron observar que, el aceite 10W30 genera mayores emisiones contaminantes y mayores costes de mantenimiento. En conclusión, los resultados de las pruebas tribológicas demuestran que aceites con la misma especificación, pero diferente presión atmosférica y grado de viscosidad, generan diferentes niveles de desgastes en los componentes internos de motores MEP.

Palabras Clave: Tribología, desgaste, motor MEP, lubricantes, viscosidad.

Abstract: The objective of this study is to analyze the wear of MEP engines with oils of different viscosities in the cities of Quito (2850 m.a.s.l.) and Santo Domingo (655 m.a.s.l.), with the purpose of identifying the wear of the internal elements of the engine through tribological tests. . For this, a 2002 Nissan Sentra B15 vehicle was used and extra 87 octane gasoline, several oil filters for each test, and lubricants with SAE 10W30 and 20W50 viscosity grades. In this way, measurements were made at different engine speeds, such as 1500 and 2500 rpm. The data obtained from the polluting gases allowed us to observe that 10W30 oil generates higher polluting emissions and higher maintenance costs. In conclusion, the results of the tribological tests demonstrate that oils with the same specification, but different atmospheric pressure and viscosity grade, generate different levels of wear in the internal components of MEP.

Key words: Tribology, wear, SI engine, lubricants, viscosity.

Autor de correspondencia:
Ignacio Benavides, ibbenavides@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

En la industria automotriz actual, hay una variedad de lubricantes para motores de encendido provocado (MEP), que están disponibles con características y propiedades distintas, que no solo mitigan el desgaste de los elementos internos, sino también, limpian y evitan la corrosión. La tribología es la ciencia que estudia las áreas de los componentes en desplazamiento y en contacto. El propósito del lubricante es actuar como un agente lubricador entre dos componentes móviles, lo que permite reducir la temperatura y el desgaste de los elementos internos del motor [1],[2].

El desgaste representa un fenómeno muy importante en la industria automotriz. Por esta razón, en este campo, los motores han experimentado mejoras constantemente a lo largo de los años, enfocadas en optimizar la eficiencia de los procesos, reducir las emisiones y disminuir el consumo de combustible [3],[4]. En este sentido, se analiza el desgaste y las propiedades de lubricidad de los aceites en el correcto funcionamiento del motor con diferentes índices de viscosidad y a distintas alturas geográficas, con el fin de determinar las concentraciones de partículas presentes en el lubricante, y así generar un registro exacto de los elementos con mayor o menor grado de desgaste.

Las muestras de aceites tomadas se utilizaron para determinar el estado de los componentes internos y qué pueden causar problemas operativos a corto o largo plazo si no son reemplazadas a tiempo. El uso adecuado del lubricante permite alargar la vida útil del motor y de sus elementos internos, evitando el desgaste prematuro de las partes fijas y móviles del vehículo y así, reducir la contaminación del aire.

En el ámbito de la tribología se abordan elementos rodantes o deslizantes comunes, como cojinetes de rodillos, cojinetes lisos, engranajes, levas, frenos y sellos. Estos componentes de propósito general se aplican en una amplia variedad de maquinarias que tienen movimiento relativo y requieren deslizamiento o rotación. Este enfoque inicial de mejorar la rentabilidad y la vida útil de la maquinaria industrial se ha expandido a muchas otras aplicaciones altamente efectivas [5].

El análisis de aceite se considera una técnica importante en el campo de la industria automotriz, puesto que permite saber qué sucede en el motor, ayuda a identificar y corregir en el menor tiempo posible los problemas existentes que están relacionados con el desgaste de los elementos internos del motor y la contaminación del aceite lubricante. El número de concentración de partículas presentes en el aceite muestra si el desgaste de los elementos del motor es normal, progresivo o acelerado. Por lo general, el método de análisis de aceite debe complementarse con una serie de análisis periódicos y continuos para determinar la tendencia de desgaste de los elementos [4]-[6].

Bajo esa premisa, es vital determinar el aceite que contribuye con un menor desgaste de las piezas o elementos, menores emisiones y consecuentemente menores costes de mantenimiento, todo ello aprovechando las diferentes localidades y por ende variaciones de presión atmosférica presentes en el Ecuador.

Este artículo compara la investigación tribológica del comportamiento de diferentes aceites utilizados en los motores de ciclo Otto expuestos a diferentes condiciones ambientales en las ciudades de Quito y Santo Domingo. El análisis tribológico de los aceites API SN 10W30 y 20W50 proporciona una base objetiva para el desgaste del motor con cada lubricante, estimando así la tasa de desgaste de los componentes del motor.

El análisis tribológico del aceite usado permite predecir el estado de los componentes y partes de los motores de combustión interna. Los resultados del comportamiento del motor MEP se obtienen a partir del análisis tribológico de aceites, realizados en un laboratorio químico certificado, que cuantifican el número de partículas presentes en muestras de diferentes tipos de lubricantes. Dicho estudio puede realizarse con muestras de aceites, obtenidas en diferentes alturas geográficas, con el fin de analizar el aumento o no de partículas metálicas presentes en las muestras de los lubricantes, en su mayoría provenientes de componentes sometidos a mayores esfuerzos [7].

Posteriormente se procede a diagnosticar la condición de los componentes del motor de combustión interna y el consumo de aceite, por ser este un tema de controversia entre los usuarios y el servicio, debido a las propiedades y comportamiento de los aceites con diferentes grados de viscosidad, especialmente en áreas con altitudes elevadas. Elegir el aceite de motor adecuado es de gran importancia para extender la vida útil de sus componentes y del vehículo, el alcance y el grado de desgaste dependen de la naturaleza y el procesamiento de las piezas, los materiales intermedios, las influencias ambientales y las condiciones de funcionamiento [8].

Según la condición del motor y las variaciones de lubricante existentes, se puede determinar qué aceite es el más adecuado para disminuir costos de mantenimiento, además de alargar la vida útil y reducir las emisiones contaminantes de acuerdo con las reglamentaciones vigentes del país [9].

La tribología incluye los procesos de fricción, desgaste y lubricación de los elementos de contacto, fenómenos de tensión que han sido analizados por separado en la práctica de la ingeniería y que recientemente han hecho una contribución significativa al desarrollo de sistemas mecánicos. El sistema tribológico consiste en las áreas de dos elementos móviles que están en contacto entre sí y con el medio ambiente [4].

Materiales y Métodos

Se empleó una metodología experimental, caracterizada por permitir la manipulación y control de las variables de estudio, el objetivo principal fue investigar las relaciones dentro del método científico. En este sistema se seleccionaron valores para comparar varias medidas de comportamiento de un conjunto, con los resultados de un grupo experimental. Tal como detalla la figura 1, se inició con la inspección del motor del vehículo en cuestión, la selección de los lubricantes, elección de las rutas, la toma de muestras, para posteriormente realizar los ensayos en un laboratorio certificado, analizar y comparar los resultados.

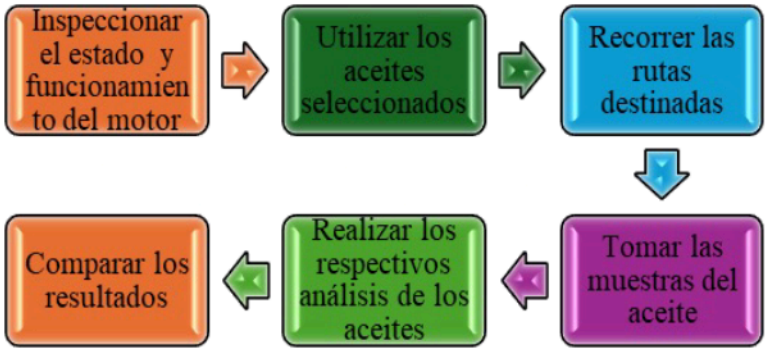


Fig. 1. Proceso de desarrollo.

El propósito del estudio fue examinar qué tipo de aceite es el adecuado para un motor con una vida útil determinada, que mantenga un funcionamiento óptimo y permita alargar el tiempo de vida prolongada para disminuir el desgaste entre sus componentes fijos y móviles, y así disminuir las emisiones de gases contaminantes.

Las pruebas se realizaron en un vehículo Nissan Sentra B15 de 1769 cm3 de cilindrada del año 2002, con un kilometraje de 317920 km, el cual fue utilizado para las pruebas de trayecto con gasolina Extra de 89 octanos. La primera prueba se realizó en la ciudad de Quito, se encuentra a una altura de 2850 m s. n. m. y temperaturas promedio entre 10 y 25 °C. La segunda ruta fue trazada en la ciudad de Santo Domingo a una altura de 655 m s. n m. y temperatura promedio de 22,9 °C. En las dos ciudades se empleó dos tipos de aceite 10W30 y 20W50, con cada aceite se recorrió un trayecto de 2 000 kilómetros.

Una vez alcanzado el kilometraje propuesto, se procedió a extraer el aceite, para posteriormente enviar a un laboratorio certificado y realizar el respectivo análisis tribológico de los lubricantes.

Se realizó el cambio de lubricante a temperatura de operación, mientras se drena el aceite a través del tapón del cárter, se tomó una muestra de aceite para su posterior análisis en un recipiente de 100 ml completamente limpio según la especificación del laboratorio.

Tomada la primera muestra de aceite se procedió a ejecutar las determinadas trayectorias con el siguiente aceite lubricante en la ciudad de Quito y luego realizar lo mismo en la ciudad de Santo Domingo con los dos lubricantes mencionados.

Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo procedimientos estandarizados y metodologías reconocidas en la industria. (Contenido de partículas ASTM-D6595 y conteo de partículas ISO 4406), que se siguieron para garantizar la consistencia y fiabilidad de los resultados [10] [11] [12]. Se implementaron estrictos controles de calidad durante todo el proceso experimental. Esto incluye el manejo cuidadoso del aceite antes, durante y después de las pruebas para evitar la contaminación. Se llevó a cabo un exhaustivo registro de todas las actividades ejecutadas durante los ensayos, desde el manejo de los aceites, sus propiedades se detallan en la Tabla 1. Además, se registraron todas las incidencias que pudieran haber afectado la integridad del proceso. Este enfoque garantiza una trazabilidad completa de los procedimientos, lo que facilita la identificación y resolución de posibles problemas de contaminación.

Tabla 1. Especificación del aceite.

Especificaciones		**SAE 10W30**	**SAE 20W50**
Prueba	**Unidad**	**Valor Típico**	
Viscosidad @ 100 °C	cSt	10.5	18
Viscosidad @ 40 °C	cSt	70	170
Punto de escurrimiento	°C Max	-39	-36
Punto de inflamación PMCC	°C min	215	235
Densidad relativa @ 15 °C	kg/l	0,85	0,87

Resultados y Discusión

Todos los análisis de aceites usados de un motor revelan la presencia de partículas, provenientes de los materiales de desgaste. Según Viteri y Jaramillo [6] la cantidad o acumulación de moléculas metálicas en suspensión (concentración) en el aceite lubricante determinará si el desgaste en el motor es normal, progresivo o acelerado. No obstante, el proceso de estudio de los distintos tipos de lubricantes debe soportar la zona del motor donde se pueda identificar el crecimiento del desgaste y registrar de manera estadística el desgaste generado.

Por lo general, los desperfectos relacionados con el aceite son causados por contaminación, desgaste del motor o la falta de lubricación en algunos componentes. El objetivo primordial del aceite del motor como composición de aceite base y aditivos químicos, es lubricar las piezas móviles para reducir la fricción y el desgaste, además de prevenir la corrosión. En la tabla 2 se detallan los materiales presentes en los lubricantes con diferentes grados de viscosidad, los cuales fueron sometidos a diferentes cargas y regímenes durante un recorrido de 2000 kilómetros.

Considerando que los aceites usados pueden contener una gran variedad de elementos como Plata; Aluminio; Boro; Bario; Calcio; Cromo; Cobre; Hierro; Potasio; Litio; Magnesio; Manganeso; Molibdeno; Sodio; Níquel; Fósforo; Plomo; Antimonio; Silicio; Estaño; Titanio; Vanadio y Zinc, resulta evidente la importancia de analizar el contenido de estos componentes en los aceites usados en las ciudades de Quito y Santo Domingo. En cuanto a la Plata, Bario, Cadmio y Estaño el análisis realizado, revela que, tanto para el aceite nuevo como para los aceites usados, los valores en contenidos de estos materiales son de 0 mg/kg, para las tres muestras. Es relevante destacar que la mayoría de los motores no tienen partes o elementos compuestos por Plata, Bario, Cadmio y Estaño, lo que muestra que el motor se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, lo que sugiere que, la potencia y el torque no se ven afectados y las emisiones están dentro de los límites establecidos.

Tabla 2. Materiales presentes en los lubricantes.

Item	10W30 (0 km)	10W30 Quito (2000 km)	10W30 Sto. Dgo. (2000 km)	20W50 (0 km)	20W50 Quito (2000 km)	20W50 Sto. Dgo. (2000 km)
			mg/kg			
Plata	0	0	0	0	0	0
Aluminio	0,71	1,42	1,55	3,47	1,61	1,54
Boro	98,77	69,9	36,41	2,81	64,21	49,06
Bario	0	0	0	0,55	0,15	1,57
Calcio	445,62	426,64	1432	2791	491,76	434,94
Cadmio	0	0	0	0	0	0
Cromo	0	0,11	0,25	0	0,3	0
Cobre	0,12	0,4	0,58	0,03	0,43	0,55
Hierro	1,73	6,68	4,98	1,39	8,04	4,55
Potasio	0,11	0,21	1,5	2,85	0,58	0,47
Litio	0	0	0,39	0	0	0
Magnesio	749,25	573,42	164,4	27,86	444,36	491,53

Manganeso	0,57	0,43	0,53	0,56	0,66	0,99
Molibdeno	55,67	39,15	10,06	0	33,53	38,22
Sodio	1,19	3,34	8,36	2,57	4,53	4,95
Níquel	0,24	0,41	0,65	0,09	0,59	0,36
Fósforo	597,83	538,96	656,09	1041	527,57	486,55
Plomo	0,7	1,17	1,12	0,36	0,29	0
Antimonio	0	0	0,18	0	0,25	0
Silicio	0	0	0,35	5,74	0	0
Estaño	1,45	0,44	0,15	0	0,98	0,95
Titanio	0	0	0	0	0	0
Vanadio	14,02	12,87	0,31	0,29	11,77	0,19
Zinc	866,98	876,05	804,3	1207	839,13	803,26

Elementos presentes en las muestras

A continuación, se presentan los elementos que más prevalecen dentro del análisis del aceite:

Cobre

Las muestras de aceite 10W30 y 20W50 con 2000 km de recorrido evidencian un aumento de la presencia de cobre con respecto al aceite nuevo, esto debido al desgaste de ciertos elementos como cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo de que el aceite está contaminado, o es de baja calidad y este empieza a carbonizarse, causando el aumento de cobre en los análisis y alto consumo de aceite.

La figura 2 muestra los porcentajes de cobre presente en las diferentes muestras y en las dos ciudades.

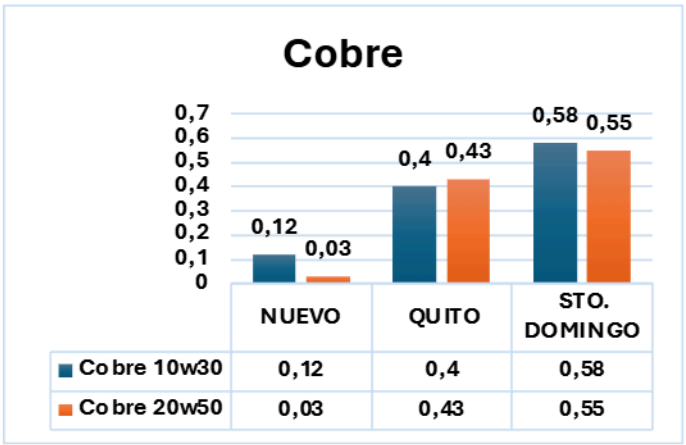


Fig. 2. Presencia del Cobre.

Estaño

La presencia de estaño en los análisis de aceite proviene de las aleaciones de metales en los cojinetes y bujes y volandas de empuje, los cuales dependen 100% de la lubricación hidrodinámica. Este tipo de desgaste surge de la degradación de la viscosidad del aceite debido a su uso, lo que resulta una reducción de lubricación hidrodinámica para proporcionar una lubricación límite, es un aviso de que el aceite está contaminado y que no está generando su respectiva función, que es la correcta lubricación del motor.

Sin embargo, los resultados muestran que el aceite 10W30 presentó mayor porcentaje en relación con el 20W50, evidenciando así que el motor en cuestión alcanza una mejor lubricación hidrodinámica con el aceite con mayor grado de viscosidad, debido al kilometraje que presenta el motor. La figura 3 muestra los porcentajes de estaño presente en las diferentes muestras en las dos ciudades.

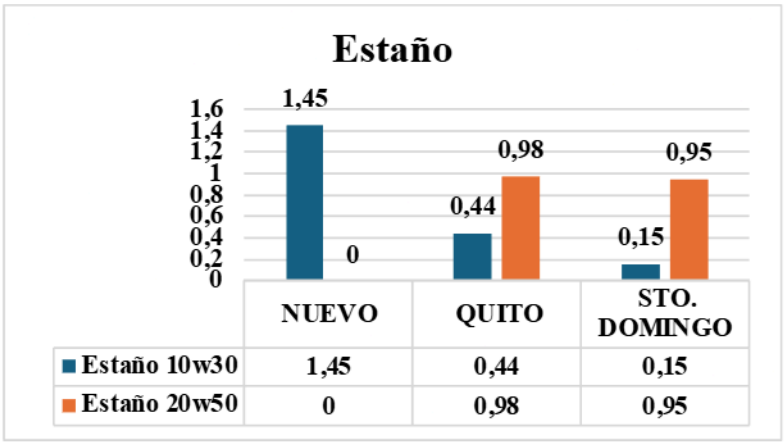


Fig. 3. Presencia del Estaño.

Hierro

El contenido de hierro en el análisis de aceite proviene de la fricción entre las paredes de los cilindros, anillos, árbol de levas, cigüeñal, válvulas, cojinetes, bomba de aceite, engranajes de la cadenilla, guías de válvulas o bielas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo de que el aceite está impuro debido a su uso, además se considera que el kilometraje recorrido no es tan amplio para obtener desgastes significativos de los materiales y elementos que componen el motor del vehículo.

La figura 4 muestra los porcentajes de hierro presente en las diferentes muestras y en las dos ciudades.

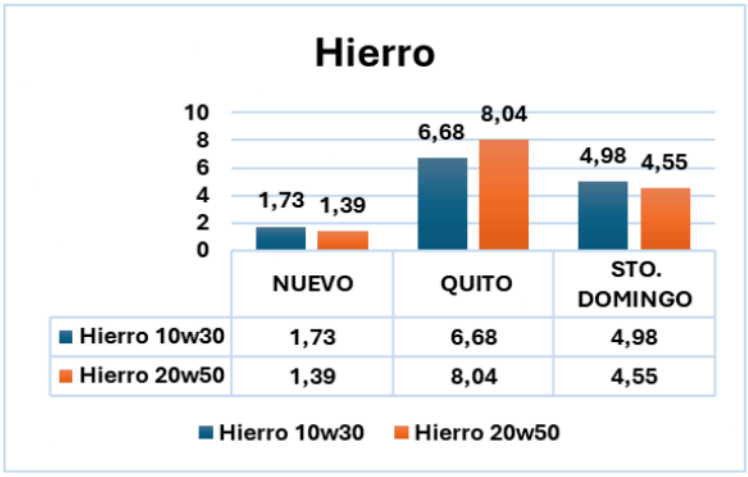


Fig. 4. Presencia del Hierro.

Níquel

Las muestras de aceite 10W30 y 20W50 para las ciudades de Quito y Santo Domingo muestran un aumento de la presencia de Níquel con respecto al aceite nuevo, esto debido al desgaste de ciertos elementos como cojinetes y tren de válvulas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo que el aceite está impuro debido a su uso y la pérdida de las características que componen el lubricante.

La figura 5 muestra los porcentajes de níquel presente en las diferentes muestras y en las dos ciudades.

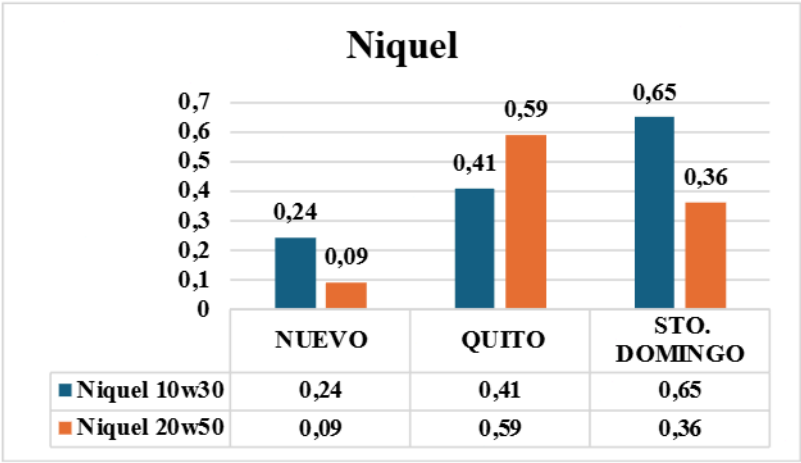


Fig. 5. Presencia del Níquel.

Aluminio

La presencia de aluminio puede presentarse por la existencia de impurezas, contaminado por el aceite anterior y debido a la presencia de desgaste de pistones, bielas, cojinetes de biela, cojinetes de árbol de levas y bancada, o también por la entrada de aire contaminado por suciedad y polvo que se introduce en el motor a través del sistema de admisión de aire. El aceite 20W50 muestra una reducción en comparación con el contenido presente en la muestra del aceite nuevo, lo que se atribuye al deterioro de la viscosidad de este elemento, producto de su uso, lo que resulta en una disminución del contenido de materiales en el lubricante.

Boro

El contenido de boro en la muestra de aceite 10W30 para las dos ciudades, determinó que existe un aumento de la presencia de este elemento, no se debe precisamente al desgaste de componentes del motor, sino que ejecuta como un aditivo antidesgaste y modificador de fricción. Existen también aceites con formulaciones sin Boro, pero frecuentemente son utilizados para mejorar los aceites básicos y de esa manera cumplir con las normas, por lo que, el aceite nuevo tiene mayor presencia de boro, según recorre el vehículo, este se desgasta. Y para la muestra de aceite 20W50 existe un aumento, debido al funcionamiento del motor por la presencia de aditivos en el aceite lubricante.

Calcio

El Calcio es un elemento utilizado para combatir el hollín y mantener las impurezas y lodos flotantes hasta llegar al filtro, previniendo que se aglomeren o se unan a las superficies metálicas. Para el aceite con grado de viscosidad 20W50 indica una disminución con respecto a la muestra de referencia debido al uso y deterioro del aceite y las propiedades que están conformados los aceites lubricantes.

Cromo

El contenido de Cromo en el lubricante puede presentarse por la existencia de impurezas del anterior aceite y el segundo por la presencia de desgaste de camisas, válvulas de escape, anillos y cojinetes. Su presencia normalmente se origina como un indicador de suciedad en el lubricante, la proporción de moléculas de Cromo en el aceite, por lo general no presenta gravedad, pero en el caso de que exista exceso de contaminación el motor puede presentar ciertos problemas como ralentí irregular, disminución de presión de aceite, consumo excesivo de aceite, aceleración deficiente, pérdida de potencia del motor y luz de advertencia en el tablero indicando que el lubricante está deteriorado y no cumple con su debida función.

Potasio

La presencia de este elemento en el aceite lubricante está relacionado con el aditivo del refrigerante; el potasio a veces puede ingresar al motor a través de la humedad del aire, pero más comúnmente es agua residual que puede entrar por algún tipo de junta o empaquetadura “soplada”, bloque perforado, o simplemente lavando el motor con agua a alta presión; también puede ingresar por la varilla de medición de aceite.

Magnesio

El magnesio está presente en los aditivos detergentes/dispersantes. Es utilizado para combatir el hollín, mantener las impurezas y lodos flotantes hasta llegar al filtro, previniendo que se aglomeren o se unan a las superficies metálicas. La presencia de magnesio baja su porcentaje a mayor recorrido del motor, a cuanto más ácido se produzca debido a la condición del combustible, la baja temperatura del motor o la combustión incompleta, con mayor ligereza se degradará el detergente/dispersante. Estos aditivos funcionan bien para este propósito, pero el Magnesio deja un 45% más de cenizas de sulfato cuando se quema, lo que causa problemas en las válvulas y el motor. por este motivo, se recomienda sólo calcio o una mezcla de hasta un 30% de magnesio/dispersante detergente.

Manganeso

El contenido de manganeso en el lubricante se debe al desgaste de ciertos componentes como los cojinetes, bujes, arandelas de presión y tubos enfriadores de aceite. En el momento que existen partículas en el aceite, se perjudica por completo el funcionamiento del motor, por ejemplo, los ruidos, producidos por la deficiencia de lubricación en el motor, a causa de ello se origina además una baja potencia y torque del motor; no obstante, mientras los valores estén dentro de lo permisible el motor estará en perfectas condiciones de operación.

Fósforo

El fósforo junto con el zinc se incorpora en el lubricante para desempeñar ciertas funciones antidesgastantes y su concentración depende del tipo de fabricante, uso y aplicación. Los niveles de fósforo que se indican en las muestras de referencia pueden atribuirse al uso y aditivos del aceite nuevo, sin embargo, ciertas combinaciones de zinc y fósforo residen en áreas críticas del motor para ser gastados durante lubricación límite cuando falla la lubricación hidrodinámica y no cumple con los requisitos de fricción y presión.

Plomo

La presencia de plomo se debe a la corrosión en los cojinetes del motor, generalmente cuando ha estado almacenado durante un mes o más con aceite parcialmente usado o contaminado. Este tipo de desgaste surge de la degradación de la viscosidad del aceite debido a su uso, lo que resulta en una reducción de la lubricación hidrodinámica para proporcionar una lubricación límite, es un aviso de que el aceite está contaminado y que no está generando su respectiva función que es la correcta lubricación del motor, generando reducción de potencia a altas temperaturas en el motor, por otra parte, el resultado de las emisiones está dentro del límite.

Antimonio

La muestra de aceites nuevos 10w30 y 20w50 como se indica que no existe partículas de antimonio, pero en las muestras del aceite usado ya existen partículas de este elemento debido al desgaste de ciertos elementos como cojinetes, bujes, enfriador de aceite, guías de válvulas y bujes de bielas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo que el aceite esta sucio debido a su uso, también se debe considerar que el kilometraje recorrido no es tan amplio para obtener desgastes significativos de los materiales y elementos que componen el motor del vehículo.

Análisis de gases en las ciudades de Quito y Santo Domingo

Dióxido de Carbono (CO)

La tabla 3 muestra valores para el aceite 10W30, los cuales se encuentran dentro del límite de referencia para las ciudades de Quito y Santo Domingo, en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí); los parámetros para vehículos del año 2000 en adelante es de 1% en contenido CO y cumplen con los límites máximos establecidos para las emisiones de gases para este grado de viscosidad, al igual que el aceite 20W50, se evidencia que los valores también se encuentran dentro del límite de referencia para las dos ciudades.

Tabla 3. Valores del CO aceite 10W30 y 20W50.

	SAE 10W30		SAE 20W50	
CO (%)	**Quito**	**Sto. Dgo.**	**Quito**	**Sto. Dgo.**
2500 rpm	0,71	0,76	0,8	0,74
Ralentí	0,27	0,6	0,39	0,55

Dióxido de carbono (CO2)

Las emisiones CO2 con el aceite 10W30 constituyen un indicador de la eficacia de la combustión, valores entre un 12% y el 15% reflejan un correcto funcionamiento del motor. En este sentido, en la tabla 4 se evidencia que los valores se encuentran por debajo del 12%, para la ciudad de Quito en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí). Por su parte la ciudad de Santo Domingo en ralentí, pero en altas (2500) un valor de 13,2%Vol lo que indica que está dentro de los límites máximos establecidos para emisiones de gases. Valores por debajo del 12% indican un mal proceso de combustión, lo que señala una mala combustión o un encendido defectuoso. Para las emisiones CO2, con el aceite 20W50 evidencia que los valores se encuentran por encima del 12%, para la ciudad de Quito en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí) y la ciudad de Santo Domingo en ralentí, se observan valores de 11,8%Vol y 11,7%Vol para altas (2500 rpm) y bajas (ralentí) lo que indica que está fuera de los valores límites, dando como resultado fallas en la combustión o una mezcla pobre.

Normalmente, los resultados bajos desencadenan el proceso de combustión deficiente o un encendido defectuoso.

Tabla 4. Valores del CO2 aceites10W30 y 20W50.

	SAE 10W30		SAE 20W50	
CO2	**Quito**	**STO DGO**	**Quito**	**STO DGO**
2500 rpm	10,9	13,2	15,3	11,8
Ralentí	11,7	11,4	15,8	11,7

Oxígeno (O2)

Respecto a las emisiones de O2, con el aceite 10W30 constituyen un indicador de aire sobre el proceso de combustión, normalmente ubicado por debajo del 2%, valor que indica que el motor funciona correctamente. De tal manera como se muestra en la tabla 5, se puede evidenciar que los resultados se encuentran por encima del 2%, para la ciudad de Quito en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí) y la ciudad de Santo Domingo en ralentí, pero en altas (2500) un valor de 0,89%Vol, lo que indica que está dentro de los límites máximos establecidos para emisiones de gases, en cambio los valores que son mayores al 2%, indican una mezcla pobre, sin combustión o un escape agrietado. La lectura de O2 con el aceite 20W50 muestra el 0%, significa que se ha utilizado todo el oxígeno.

Tabla 5. Valores del O2 aceites 10W30 y 20W50.

	SAE 10W30		SAE 20W50	
O2	**Quito**	**STO DGO**	**Quito**	**STO DGO**
2500 rpm	3,05	0,89	3,05	1,5
Ralentí	3,48	3,68	3,48	2,13

Los resultados anteriormente descritos en las diferentes tablas permiten deducir que el aceite lubricante que genera menores gases contaminantes es el 20W50, aspecto que se evidencia con los valores del carbono dentro del límite de referencia, para las dos ciudades.

El presente estudio se realizó en ciudades de altura, las cuales presentan condiciones únicas que afectan el rendimiento de los motores, como la reducción en la densidad del aire y la presión atmosférica. Estas condiciones pueden influir significativamente en la operación y eficiencia de los motores de combustión interna, lo que hace importante estudiar cómo estos factores interactúan con la viscosidad del aceite. Esto es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y duradero en una variedad de situaciones.

En consecuencia, el estudio contribuye a la literatura científica, la investigación en motores de encendido provocado y lubricantes en condiciones de altura puede llenar un vacío en el conocimiento científico actual. Al ampliar esta área, la investigación actual podría representar una contribución significativa tanto para la comunidad académica como para la industria automotriz, debido a la falta de resultados o estudios similares con los cuales contrastar los hallazgos obtenidos.

Asimismo, se podría considerar como una oportunidad para la mejora del diseño y rendimiento de los motores; al estudiar el comportamiento de los motores y los lubricantes en condiciones de altura, se pueden identificar áreas de mejora en el diseño y ajuste de estos motores para optimizar su rendimiento y eficiencia en condiciones desafiantes.

Conclusiones

La Tribología es una rama de la tecnología que se centra en el análisis de la fricción, desgaste y lubricación de diferentes materiales en contacto. En cuanto al aceite lubricante utilizado en motores de vehículos, es cierto que, a pesar de tener una misma especificación entre diferentes marcas, su composición puede cambiar debido a la presencia de contaminantes y metales pesados, lo que puede afectar el rendimiento del motor y causar desgastes en sus componentes internos. Sin embargo, existen medidas como el cambio regular del aceite y el uso de filtros de alta calidad para minimizar estos efectos negativos y maximizar la vida útil del motor.

Las cantidades presentes en las muestras de calcio, cadmio, magnesio, silicio, sodio, zinc y fósforo son combinaciones de aditivos que se añaden para mejorar las características fisicoquímicas de los aceites. El aluminio, hierro, cobre, cromo, estaño y plomo en las muestras analizadas interpretan el desgaste en los cilindros, camisas, cojinetes, cigüeñal, árbol de levas, pistón, bujes, anillos de pistón, tren de válvulas, guías de válvulas, bielas y de la herrumbre. Se observó que el lubricante 10W30 para la ciudad de Santo Domingo, presenta un mayor porcentaje de contaminación con respecto a la ciudad de Quito, debido a las condiciones climáticas y presión atmosférica, dado que la temperatura de esta ciudad es alta, lo que produce humedad y oxidación dentro del motor, que deterioran y aceleran reacciones químicas del lubricante.

El uso eficiente de la tecnología de análisis de aceite para determinar el proceder de todos los mecanismos internos del motor y localizar posibles fallas en los componentes, evita gastos elevados de mantenimientos. Además, puede monitorear la presencia de impurezas externas, que no deberían estar en los lubricantes. Consecuentemente para el aceite 20W50, en la ciudad de Santo Domingo con los valores obtenidos de CO, se logró una menor emisión con un valor de 0,27% Vol en ralentí, para un aceite 10w30 a una altura

de 655 m.s.n.m y 0,94 atm, obteniendo una mejor combustión para el vehículo utilizado en las pruebas.

Las revoluciones y la altitud inciden significativamente en la variable de los valores del CO2, de acuerdo con las condiciones climáticas, con un aceite de viscosidad 20W50 se obtiene valores de 15,3% Vol y 15,8% Vol en altas (2500rpm) y bajas, respectivamente, lo que indica un excelente indicador de la eficiencia de la combustión a una altura de 2850 m.s.n.m y 0,71 atm de presión atmosférica. Para el aceite 10W30 se obtiene valores de 10,9% Vol y 11,7% Vol en altas(2500rpm) y bajas. En resumen, los valores bajos muestran un mal proceso de combustión, es decir, una mala mezcla o mal encendido.

La altura a la que trabaja el motor ejerce un impacto considerable en las emisiones de oxígeno (O2), con un valor medido en 0,89 %V a una altitud de 655 m.sn.m. utilizando el lubricante con viscosidad SAE 10W30. Según la normativa ecuatoriana sobre emisiones de escape, el porcentaje de oxígeno debe mantenerse por debajo del 2%. Sin embargo, en términos de costos de mantenimiento, incluso con una mínima diferencia se observa al utilizar un lubricante con una viscosidad SAE 20W50.

Referencias

[1]. Granizo, J.: La Tribología y sus aplicaciones en la industria. Revista Ciencia Unemi, vol. 3, n° 4, pp. 64-71, (2010)

[2]. Puente, E.; Remache, A.; Aulestia R.; Noroa M.: Análisis tribológico en un motor de gasolina con dos marcas de lubricantes y la misma especificación. INNOVA Research Journal , vol. 2, n° 3, pp. 150-166, (2017)

[3]. Barrera, A.; Nieves, C.: Análisis tribológico entre segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5L, mediante el método de arrastre para determinar su eficiencia energética. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21172. Accedido el 14 de Octubre 2023

[4]. Rojas, D.: Evaluación de desgaste adhesivo para AISI /SAE 1045, 4140 y O1 con diferentes tratamientos térmicos, según la Norma ASTM G99. Séneca Repositorio Insitucional. https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/c9229ac1-4d51-4cef-acd4-a6662264a47c. Accedido el 14 de Octubre 2023

[5]. Martínez, F.: La Tribología Ciencia y Técnica para el Mantenimiento. Limusa S.A. México, pp. 101-134 (2002)

[6]. Viteri, L.; Jaramillo, J.: Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del Ilustre Municipio del Cantón Archidona. DSpace ESPOCH. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/947. Accedido el 14 de Octubre 2023

[7]. Silva, L.; Quintana, C.: Análisis comparativo del comportamiento de un motor Honda Civic con diferentes grados de viscosidad de aceite a determinados regímenes de funcionamiento. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10995. Accedido el 14 de Octubre 2023

[8]. Castillo, W.; Toapanta, O.: Principios de la Tribología Aplicados a la Ingeniería Mecánica. 3ciencias Área de innovación y desarrollo, S.L. (2019)

[9]. Bonet, C.; Martínez, F.: Diagnóstico a través del aceite a motores de combsutión interna. Sitio oficial de la Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría. Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/public/descargas/Diagnostico.pdf . Accedido el 14 de Octubre 2023

[10]. Arias, Y.: Monitoreo de la degradación de un aceite lubricante gearbox 320 en un motorreductor. DSpsce ESPOCH. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/19203/1/15T00865.pdf. Accedido el 14 de Octubre 2023

[11]. Mideros, A.: Diseño de un laboratorio de análisis de aceites lubricantes en la ESPOL para sustentar programas de mantenimiento predictivo. DSpace en ESPOL. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89761/D-79784.pdf. Accedido el 14 de Octubre 2023

[12]. Noria Latín América. La importancia del análisis de aceite y el conteo de particulas. Noria. https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/la-importancia-del-analisis-de-aceite-y-el-conteo-de-particulas/. Accedido el 14 de Octubre 2023

VOL. 7 Nº1- 2025

IBARRA - ECUADOR

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

IDEAS

Implementación de tecnologías limpias como estrategia para mejorar la sostenibilidad ambiental en plantas industriales

Implementation of Clean Technologies as a Strategy to Improve Environmental Sustainability in Industrial Plants

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.985

Luis E. Argüello [1], Bárbara G. Cruz[1], Juan C. Díaz[2], Aldo G. Parrales[1]

[1] Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Av. Las Aguas y Av. Juan Tanca Marengo, s/n 090501 Guayaquil, Ecuador

[2] Facultad de Jurisprudencia, Universidad de Guayaquil, Ciudadela Universitaria, Av. Delta 090602, Guayaquil, Ecuador

[1,2]{luis.arguelloc, barbara.cruzv, juan.diazn, aldo.parralesl}@ug.edu.ec

Fecha de envío, junio 14/2024 - Fecha de aceptación, julio 4/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: Este estudio explora cómo la integración de tecnologías limpias en las instalaciones industriales puede reforzar la sostenibilidad ambiental. Profundiza en estudios de casos de empresas que han adoptado tecnologías limpias como la energía renovable, la gestión eficiente de residuos y la reducción de emisiones contaminantes. El análisis de estos casos revela que la adopción de tecnologías limpias ha llevado a una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y al uso más eficiente de los recursos naturales en los entornos industriales examinados. Además, destaca mejoras en los procesos productivos y reducciones en los costos operativos. Estos hallazgos subrayan la importancia de adoptar tecnologías limpias en el ámbito industrial para fomentar prácticas de producción sostenibles. Más allá de los beneficios ambientales, la integración exitosa de tecnologías limpias puede generar ahorros económicos y mejorar la imagen corporativa de una empresa.

Palabras Clave: Sostenibilidad Ambiental, Plantas Industriales, Tecnologías Limpias, Producción Sostenible.

Abstract: This studio explores how integrating clean technologies into industrial facilities can bolster environmental sustainability. It delves into case studies of companies that have embraced clean technologies like renewable energy, efficient waste management, and cutting down on pollutant emissions. The analysis of these cases reveals that the adoption of clean technologies has led to a decrease in greenhouse gas emissions and the more efficient use of natural resources in the examined industrial settings. Additionally, it highlights improvements in production processes and reductions in operational costs. These findings underscore the significance of embracing clean technologies in the industrial realm to foster sustainable production practices. Beyond environmental benefits, successful integration of clean technologies can result in economic savings and enhance a company's corporate image.

Kaywords: Environmental Sustainability, Industrial Plants, Clean Technologies, Sustainable Production.

Autor de correspondencia:

Aldo G. Parrales, aldo.parralesl@ug.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

Hoy en día, la sostenibilidad ambiental se ha convertido en una preocupación global de gran relevancia. Con el incremento de la conciencia sobre el cambio climático, la escasez de recursos naturales y la degradación del medio ambiente, surge la necesidad de abordar los efectos negativos de las actividades humanas, especialmente en el ámbito industrial. Las instalaciones industriales, al ser centros de producción y fabricación, suelen generar una variedad de impactos negativos en el entorno natural debido a sus procesos y operaciones. Estos impactos pueden abarcar desde emisiones de gases de efecto invernadero hasta contaminación del aire, agua y suelo, así como la producción de desechos peligrosos. Lo que, no solo representan riesgos para la salud humana y el bienestar de los ecosistemas, sino que también plantean desafíos para el desarrollo sostenible a largo plazo.[1]

Para hacer frente a este desafío, se ha promovido la adopción de tecnologías limpias en las plantas industriales. Estas tecnologías, también conocidas como tecnologías verdes o ecoeficientes, están diseñadas para mitigar o eliminar los impactos ambientales negativos de las actividades industriales, al tiempo que fomentan la eficiencia y la sostenibilidad. Su objetivo principal es minimizar el uso de recursos naturales, reducir las emisiones contaminantes y fomentar la reutilización y el reciclaje de materiales. La integración de tecnologías limpias en las instalaciones industriales conlleva una serie de ventajas importantes. En primer lugar, contribuye a disminuir la huella ambiental de las operaciones industriales, lo que resulta en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, así como del consumo de recursos naturales. Esto, a su vez, puede ayudar a las empresas a cumplir con normativas ambientales cada vez más rigurosas y mejorar su imagen y reputación corporativa. [1,2].

Además, la adopción de tecnología limpia puede generar beneficios económicos significativos para extensas zonas industriales. Se pueden reducir los costos operativos y optimizar los procesos de producción mediante el uso más eficiente de recursos como la energía y el agua. Igualmente, la integración de tecnologías limpias puede estimular la innovación, la investigación y el desarrollo en el sector industrial, impulsar la creación de nuevas empresas y fomentar un crecimiento económico sostenible. La mejora de la sostenibilidad ambiental en las instalaciones industriales se ha vuelto un tema de suma relevancia en la actualidad, dada la creciente conciencia sobre los efectos adversos de la actividad industrial en el medio ambiente. La sostenibilidad ambiental se refiere a la capacidad que tiene una industria para operar de manera sostenible, lo que reduce al mínimo su impacto sobre los recursos naturales, disminuye la generación de residuos y emisiones contaminantes, y por lo tanto una preservación de la diversidad biológica. [2].

Con el fin de alcanzar niveles altos de sostenibilidad ambiental, numerosas empresas industriales han iniciado la adopción y el desarrollo de tecnologías limpias. Estas tecnologías tienen como objetivo reducir o eliminar el impacto ambiental negativo al tiempo que fomentan la eficiencia y la productividad. La implementación de tecnologías limpias implica la adopción de procesos y métodos que reduzcan al mínimo el consumo de energía, la utilización de recursos naturales y la generación de residuos. [3].

El término "tecnologías limpias" engloba una diversidad de enfoques y soluciones que abarcan desde la incorporación de tecnología altamente eficiente y avanzada en los procesos industriales, como el empleo de energías renovables, hasta la mejora de la gestión de residuos y la disminución de emisiones contaminantes. Asimismo, implica la adopción de métodos de producción más sostenibles, tales como el reciclaje, la reutilización de materiales y el desarrollo de productos más amigables con el medio ambiente. [4].

La utilización de tecnología limpia en instalaciones industriales conlleva múltiples beneficios. En primer lugar, contribuye a disminuir el impacto ambiental de las actividades industriales al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación del agua y del aire, así como la generación de residuos peligrosos. Estos esfuerzos ayudan a mitigar el cambio climático, preservar los recursos naturales y salvaguardar la salud humana y los ecosistemas. [5].

Por otro lado, la adopción de tecnología limpia puede generar ahorros significativos a largo plazo para las plantas industriales. Al mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de recursos, puede reducir los costos operativos, como los relacionados con el consumo de energía y agua, así como la gestión de residuos. Además, el uso de tecnologías limpias puede mejorar la imagen de las empresas, reforzar su reputación y contribuir a su diferenciación en el mercado. A pesar de estas ventajas, la implementación de tecnologías limpias en plantas industriales también conlleva desafíos. Estos pueden incluir obstáculos económicos, como los altos costos iniciales de inversión en tecnologías más limpias, así como la falta de incentivos financieros y políticas adecuadas. Asimismo, pueden surgir desafíos tecnológicos y operativos, como la necesidad de adaptar los procesos existentes, capacitar al personal y garantizar la viabilidad técnica de las tecnologías limpias. [6].

La relevancia de la sostenibilidad ambiental en el ámbito industrial reside en la necesidad de enfrentar los desafíos ambientales y fomentar un desarrollo económico sostenible. Conforme ha aumentado la conciencia sobre el impacto de las acciones humanas en el medio ambiente, las industrias han asumido la responsabilidad de adoptar prácticas más sostenibles, con el fin de reducir su impacto ambiental y preservar los recursos naturales para las próximas generaciones. [7].

Metodología

En esta propuesta de metodología de investigación sobre el uso de tecnologías limpias, se inicia con una introducción que contextualiza el problema, justifica la investigación y establece objetivos claros. La revisión de literatura aborda el estado actual de las tecnologías limpias, explorando tanto éxitos como desafíos en su implementación, así como su impacto ambiental y beneficios económicos. Este análisis crítico sienta las bases para el marco teórico, que incluye la definición y clasificación de tecnologías limpias, así como un marco conceptual para evaluar su eficacia.

La revisión bibliográfica, que constituye el componente cualitativo de la investigación, se centrará en la recopilación y análisis de información procedente de una variedad de fuentes. Esto incluye artículos científicos, normativas legales y estudios de caso, proporcionando un marco teórico amplio y profundo, y una perspectiva contextual del tema. Este enfoque cualitativo es esencial para entender las tendencias existentes, las perspectivas teóricas y los antecedentes del tema de estudio. Se siguió un proceso basado en el método Delphi. Este proceso incluyó una revisión preliminar de la literatura. Además, se aplicó las pautas

PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para la revisión sistemática de la literatura relevante en la investigación, garantizando así un proceso riguroso y transparente en la selección y presentación de los estudios incluidos en esta revisión.

La selección de estudios se hizo siguiendo criterios de inclusión/exclusión claros, lo que permitió identificar los estudios que cumplían con los objetivos de la investigación. Cabe destacar que solo se incluyeron documentos con una antigüedad de hasta 5 años, a menos que se tratara de temas excepcionales como conceptos altamente relevantes a nivel académico. Para la búsqueda de artículos científicos, se utilizaron diversas fuentes, incluyendo Google Académico (Google Scholar), Dialnet, Redalyc, Scielo y Scopus. Estas fuentes brindaron acceso a una amplia gama de artículos científicos que enriquecieron esta revisión de la literatura.

La información recolectada se trató y analizó mediante herramientas especializadas: Metafor para el metaanálisis, Revman para la revisión sistemática y Mendeley para gestionar las referencias bibliográficas.

Siguiendo la metodología PRISMA, se evaluó inicialmente, 117 estudios a través de bases de datos pertinentes. Se aplicó un proceso de cribado exhaustivo para asegurar la pertinencia y calidad, lo que resultó en 37 estudios tras aplicar los parámetros de cribado. Posteriormente, con criterios de elegibilidad más específicos, se seleccionó 19 estudios. Finalmente, estableciendo parámetros de inclusión rigurosos, permitió identificar 8 estudios clave para la investigación, como se indica en la figura 1.

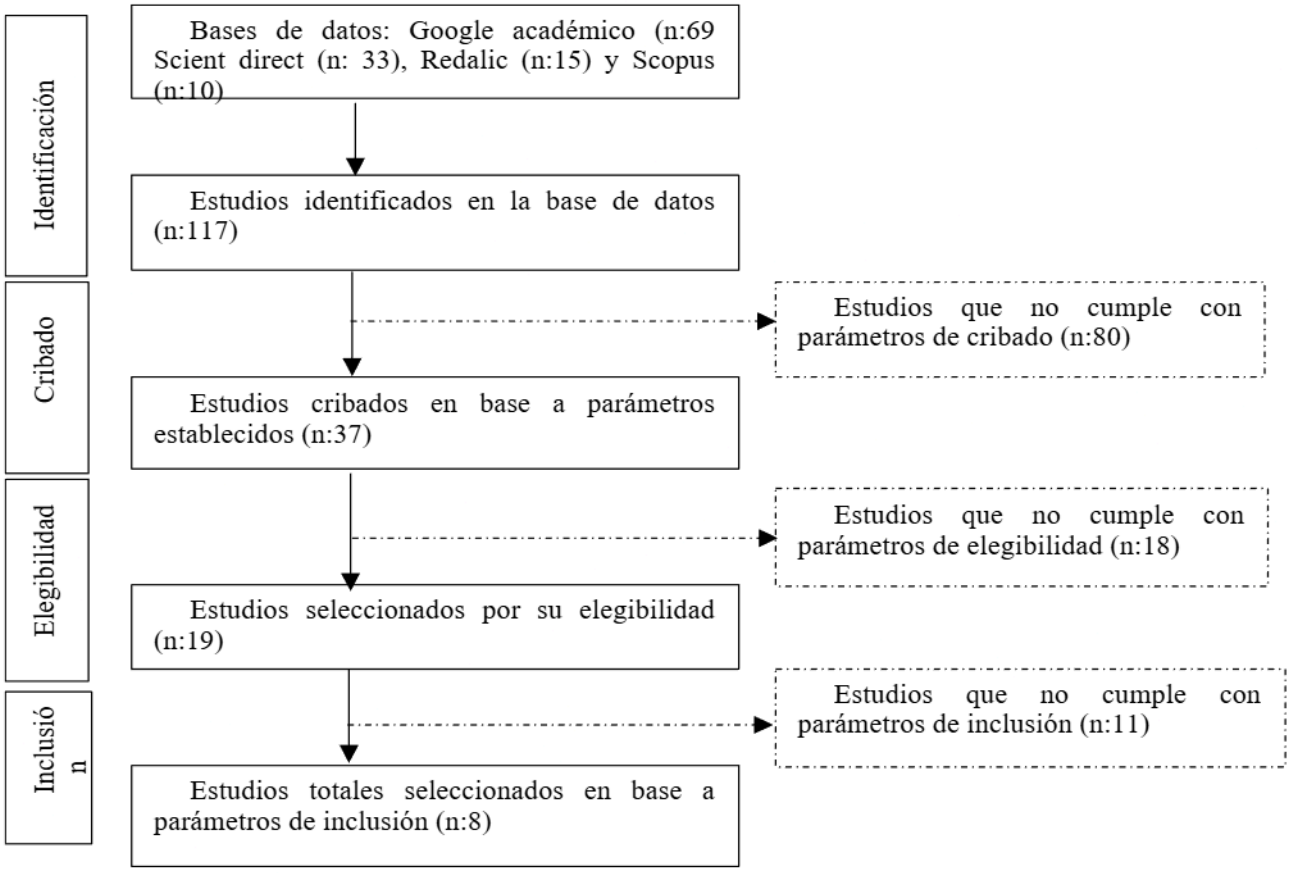


Figura 1. Filtraje de bibliografía.

El análisis de estas 8 investigaciones revelaron dimensiones claves: ahorro de energía, optimización del uso de recursos, acceso a mercados y oportunidades comerciales, cumplimiento de requisitos de licitación y contratación, conservación de los recursos naturales, atenuación de cambio climático, reducción de la contaminación; y mejora de la imagen corporativa.

Desarrollo

A continuación, se presentan los aspectos claves que resaltan el valor de prácticas sostenibles a nivel ambiental en empresas industriales, respecto a la adopción de tecnologías limpias en términos de reducción de la contaminación, ahorro de energía y recursos, y fortalecimiento de la imagen corporativa:

Ahorro de energía: La introducción de tecnologías limpias, como mejorar la eficiencia energética y emplear fuentes de energía renovable, puede resultar en un ahorro sustancial de energía. Al optimizar los procesos industriales, mejorar la eficiencia de los equipos y adoptar sistemas de gestión energética, se logra reducir el consumo de energía y, por ende, los costos operativos. Además, al disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, se contribuye a la estabilidad energética y se mitiga el impacto del cambio climático. [8].

Optimización del uso de recursos: Las tecnologías limpias fomentan la eficiencia en el uso de recursos naturales. Al aplicar métodos de gestión de residuos, como el reciclaje y la reutilización, se reduce la necesidad de obtener y procesar nuevos materiales, lo que disminuye la demanda de recursos no renovables. Esto conlleva a la reducción de costos asociados con la obtención de nuevos materiales y también a la minimización del impacto ambiental de la extracción y producción de recursos. [9].

También conlleva a una mayor eficiencia en las operaciones y ahorro de costos. Las mejoras en la eficiencia energética y en el uso de recursos resultan en una reducción de los costos operativos a largo plazo. Por ejemplo, al instalar equipos más eficientes se reduce el consumo de energía y, por ende, se disminuyen los costos asociados. Asimismo, al optimizar los procesos de producción y manejar adecuadamente los residuos, se puede incrementar la productividad y reducir los costos de eliminación y tratamiento de residuos. [10].

Acceso a mercados y oportunidades comerciales: La introducción de tecnologías limpias también puede abrir puertas a nuevos mercados y oportunidades comerciales. En varios sectores, los consumidores muestran un creciente interés en productos y servicios sostenibles. Las empresas que demuestran un compromiso sólido con la sostenibilidad ambiental y emplean tecnologías limpias pueden atraer a estos consumidores conscientes y aprovechar las oportunidades comerciales emergentes en nichos de mercado especializados. [11].

Cumplimiento de requisitos de licitación y contratación: En algunos casos, la implementación de tecnologías limpias puede ser un requisito para participar en licitaciones o contrataciones públicas. Las organizaciones gubernamentales y otras instituciones pueden priorizar proveedores que cumplan con criterios específicos de sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, la adopción de tecnologías limpias puede aumentar las posibilidades de ganar contratos y licitaciones, lo que a su vez puede generar beneficios económicos significativos para las empresas. [11].

Conservación de los recursos naturales: Las industrias dependen significativamente de los recursos naturales, tales como el agua, los combustibles fósiles, los minerales y las materias primas. La sostenibilidad ambiental requiere un uso responsable y eficiente de estos recursos, evitando su agotamiento y garantizando su disponibilidad para el futuro. [12].

Atenuación de cambio climático: Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades industriales son una de las causas principales del cambio climático. Al implementar prácticas sostenibles y tecnologías limpias, las industrias pueden disminuir sus emisiones, contribuyendo así a mitigar el cambio climático y estabilizar el clima global. [13].

Reducción de la contaminación: Uno de los resultados más notables de las tecnologías limpias es la disminución de la contaminación. Al implementar prácticas y tecnologías más amigables con el medio ambiente, las industrias pueden reducir la emisión de gases de efecto invernadero, contaminantes atmosféricos y el vertido de sustancias tóxicas en cuerpos de agua y suelos. Esto ayuda a mantener la calidad del aire, proteger los ecosistemas acuáticos y preservar la salud humana [14].

Las industrias pueden ser una fuente importante de contaminación del aire, agua y suelo. Adoptar tecnologías limpias y prácticas sostenibles ayuda a reducir la liberación de contaminantes peligrosos, protegiendo la calidad del aire y del agua, así como la biodiversidad. Cumplir con las normativas y regulaciones ambientales: En muchos países, las leyes ambientales se han vuelto más estrictas, exigiendo que las industrias operen de manera sostenible y minimicen su impacto ambiental. Cumplir con estas regulaciones es esencial para evitar multas, sanciones y daños a la reputación de las empresas [15].

Mejora de la imagen corporativa: Adoptar tecnologías limpias y comprometerse con la sostenibilidad ambiental puede mejorar la imagen de una empresa. En un entorno donde los consumidores y las partes interesadas valoran cada vez más las prácticas responsables y sostenibles, las empresas que implementan tecnologías limpias pueden obtener una ventaja competitiva y fortalecer su reputación. Esto puede llevar a un aumento en la confianza del consumidor, una mayor lealtad hacia la marca y la atracción de nuevos clientes que valoran la sostenibilidad [16].

La sostenibilidad ambiental se ha transformado en un elemento crucial de la responsabilidad social corporativa (RSC). Las empresas que implementan prácticas sostenibles y minimizan su impacto ambiental pueden mejorar su imagen pública, fortalecer su reputación y atraer a consumidores y empleados comprometidos con la sostenibilidad [17].

Innovación y ventaja competitiva: La adopción de prácticas sostenibles y tecnologías limpias pueden impulsar la innovación en las industrias. Las empresas que se destacan en sostenibilidad ambiental acceden a nuevos mercados y mejoran la eficiencia operativa, lo que puede resultar en beneficios económicos [17].

Al buscar soluciones más eficaces y respetuosas con el medio ambiente, las empresas impulsan la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y enfoques. Esto puede dar lugar a avances tecnológicos importantes, no solo en la industria, sino también en otros campos, contribuyendo al avance científico y tecnológico en general [18].

Resiliencia y gestión de riesgos: La sostenibilidad ambiental permite a las industrias gestionar los riesgos relacionados con el cambio climático, la escasez de recursos y las regulaciones ambientales cambiantes. Diversificar las fuentes de energía, optimizar el uso de recursos y gestionar adecuadamente los residuos puede mejorar la resiliencia empresarial frente a estos desafíos [19].

Cumplimiento normativo: La adopción de tecnologías limpias asiste a las empresas en la observancia de las regulaciones ambientales y estándares de cumplimiento. Con el aumento en la rigurosidad de las leyes y regulaciones ambientales, las empresas que integran tecnologías limpias se encuentran en una posición más sólida para cumplir con los estándares ambientales y evitar las sanciones y multas vinculadas al incumplimiento [20].

Las tecnologías limpias son cruciales para mejorar la sostenibilidad ambiental en las plantas industriales. Estas tecnologías proporcionan enfoques innovadores y soluciones prácticas para minimizar el impacto negativo de las actividades industriales en el medio ambiente [21]. Al adoptar tecnologías limpias, las plantas industriales pueden aumentar la eficiencia en el uso de recursos, disminuir las emisiones contaminantes y optimizar la gestión de residuos. A continuación, se examinan algunas de las tecnologías limpias más comunes y su aplicabilidad en las plantas industriales:

Eficiencia energética: Mejorar la eficiencia energética es un pilar fundamental de las tecnologías limpias en las plantas industriales. Esto conlleva la adopción de equipos y sistemas más eficientes en el uso de energía, como motores de alta eficiencia, iluminación LED, sistemas de gestión energética y optimización de procesos. Implementar medidas de eficiencia energética puede disminuir considerablemente el consumo de energía en las operaciones industriales, resultando en ahorros económicos y una menor huella ambiental. [22].

Energías renovables: La incorporación de fuentes de energía renovable en las plantas industriales es otra tecnología limpia crucial. Esto puede implicar la instalación de paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas o sistemas de biomasa. Al utilizar fuentes de energía renovable, las plantas industriales pueden reducir su dependencia de los combustibles fósiles, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la producción de energía más limpia y sostenible [23].

Gestión de residuos: Una gestión adecuada de los residuos es crucial para mejorar la sostenibilidad ambiental en las plantas industriales. Las tecnologías limpias en este campo abarcan la implementación de sistemas de reciclaje y reutilización de materiales, así como la adopción de prácticas para minimizar residuos. Esto puede incluir la optimización de los procesos de producción, el diseño de productos más sostenibles y la colaboración con proveedores para reducir el uso de materiales no renovables [24].

Reducción de emisiones contaminantes: Las tecnologías limpias tienen como objetivo principal reducir las emisiones contaminantes en las plantas industriales. Esto se puede alcanzar mediante la implementación de sistemas de control de la contaminación, como filtros de aire, catalizadores y tecnologías de captura de carbono. Estas soluciones contribuyen a reducir la liberación de contaminantes al aire y a cumplir con las normativas ambientales vigentes [25].

Tecnologías de tratamiento de aguas: La gestión responsable del agua es esencial para mejorar la sostenibilidad ambiental en las plantas industriales. Las tecnologías limpias en este campo incluyen actividades de procesamiento de aguas negras, técnicas para reutilización del agua y medidas de conservación del agua. Estas tecnologías permiten disminuir el uso y contaminación del agua; y, preservar los recursos hídricos [26].

La incorporación de tecnologías limpias en los procesos industriales trae consigo una serie de ventajas tanto ambientales como económicas. Estas tecnologías, diseñadas para disminuir la contaminación, mejoran la eficiencia energética y optimizar el uso de recursos, proporcionan una solución rentable y sostenible para las empresas. A su vez, esto conlleva una serie de ventajas tanto ambientales como económicas. Estas tecnologías posibilitan la reducción de la contaminación, el ahorro de energía y recursos, la mejora de la imagen corporativa, el cumplimiento de regulaciones, la eficiencia y disminución de costos, el acceso a nuevos mercados y oportunidades comerciales, la satisfacción de requisitos de licitación y contratación, la estimulación de la innovación y el desarrollo tecnológico. Estos beneficios no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también generan importantes ventajas económicas y comerciales para las empresas que las adoptan [18]

Recientemente, ha habido un notable incremento en la aplicación de normativas y leyes ambientales más rigurosas a nivel global. Los gobiernos y las entidades reguladoras están priorizando la promoción de la sostenibilidad ambiental y la disminución del impacto adverso de las actividades industriales en el entorno natural. Esto ha llevado a que el cumplimiento normativo y las regulaciones ambientales se vuelvan aspectos esenciales para las empresas, especialmente en el sector industrial [27].

El acatamiento de las regulaciones y leyes ambientales resulta crucial para las industrias, dado que conlleva una variedad de ventajas y previene repercusiones adversas tanto para el medio ambiente como para las empresas mismas. Algunos de los aspectos esenciales asociados con el cumplimiento normativo y las regulaciones ambientales abarcan:

Evitar sanciones y multas: Cumplir regulaciones ambientales permite a empresas evitar multas y sanciones económicas impuestas por los organismos reguladores. Las autoridades gubernamentales tienen el poder de imponer sanciones significativas a las empresas que no cumplan con las normativas establecidas. Estas multas pueden ser costosas y afectar negativamente la rentabilidad y el rendimiento financiero de la empresa [28].

Preservar la reputación corporativa: Cumplir con las regulaciones ambientales también es crucial para preservar la reputación corporativa. Las empresas que no cumplen con las normativas pueden sufrir daños significativos a su imagen y reputación. Esto puede afectar negativamente las relaciones con los clientes, los inversores y otras partes interesadas, lo que a su vez puede llevar a la pérdida de oportunidades comerciales y financieras [29].

Fomentar confianza en el consumidor: Los consumidores muestran creciente interés en el impacto ambiental de las empresas, prefiriendo productos y servicios sostenibles. El cumplimiento de regulaciones ambientales refleja el compromiso de una empresa con la responsabilidad ambiental, generando confianza entre los consumidores. Aquellas empresas que cumplen con las normativas pueden utilizar esta confianza para atraer y mantener a consumidores preocupados por el medio ambiente [30].

Mejorar la gestión ambiental: Las regulaciones ambientales también promueven una mejor gestión ambiental dentro de las empresas. El cumplimiento normativo requiere que las empresas evalúen y monitoreen su impacto ambiental, implementen medidas de mitigación y adopten prácticas más sostenibles. Esto conduce a una mejora en administrar recursos naturales, reducción de emisiones y minimización de riesgos ambientales [31].

Estimular la innovación y la competitividad: El cumplimiento de las regulaciones ambientales puede estimular competitividad e innovación en empresas. La necesidad de cumplir con las normativas impulsa a las empresas a buscar soluciones tecnológicas y prácticas más eficientes y sostenibles. Esto puede llevar al desarrollo de servicios, productos y nuevas tecnologías para generar ventajas competitivas y abran oportunidades comerciales en el mercado [31].

LEYES:

En Ecuador, el cumplimiento normativo y las regulaciones ambientales son de suma importancia para promover el mejoramiento de la sostenibilidad ambiental en las plantas industriales a través de la implementación de tecnologías limpias. A continuación, planteamos leyes en el contexto ecuatoriano [16],respecto a gestión ambiental:

Constitución de la República del Ecuador (2008): Plantea el derecho a un ambiente ecológicamente equilibrado y sano, así como al Estado y su responsabilidad, igualmente al de las personas para proteger y preservar la naturaleza. Esto proporciona una base legal para la implementación de tecnologías limpias en las plantas industriales y la búsqueda de la sostenibilidad ambiental.

Ley Orgánica del Ambiente (2000): Esta ley tiene como finalidad regular y asegurar el derecho de personas a convivir en un ambiente equilibrado y saludable. Define las normas y principios para la protección, conservación, mejoramiento y recuperación del medio ambiente. Además, enfatiza la necesidad de emplear tecnologías limpias y fomentar la eficiencia en el uso de recursos naturales.

Reglamento para el Control Ambiental (2015): Este reglamento, emitido por el Ministerio del Ambiente, establece los procedimientos y requisitos para la evaluación y control ambiental de las actividades productivas. Clasifica los proyectos y actividades que necesitan una evaluación de impacto ambiental y especifica los criterios para la adopción de tecnologías limpias y la reducción de emisiones contaminantes.

Norma Ecuatoriana de Calidad Ambiental del Aire (2010): Esta norma define límites máximos de contaminantes atmosféricos en Ecuador. Especifica los criterios para la medición y control de emisiones y fomenta el uso de tecnologías limpias para reducir las emisiones.

La adopción y la implementación exitosa de tecnologías limpias en plantas industriales son fundamentales para lograr una mayor sostenibilidad ambiental. Sin embargo, existen diversos factores que pueden facilitar o dificultar este proceso. En esta investigación, exploraremos los factores facilitadores y las estrategias que promueven la adopción y la implementación exitosa de tecnologías limpias en plantas industriales, centrándonos en políticas de apoyo, incentivos financieros, colaboración entre diferentes actores y capacidad técnica. [27, 28].

Políticas de apoyo: Las políticas ambientales y los marcos regulatorios son importantes para la difusión de tecnologías limpias en plantas industriales. El establecimiento de normas y estándares ambientales claros y exigentes brinda una base sólida para adoptar tecnologías limpias. Además, desarrollar políticas de apoyo, como incentivos fiscales, exenciones arancelarias o subsidios, puede estimular a las empresas a invertir en tecnologías limpias al hacerlas más asequibles y rentables. [32,33].

Incentivos financieros: Los incentivos financieros inciden en la decisión para adoptar tecnologías limpias. Esto puede incluir programas de financiamiento preferencial, préstamos a tasas de interés reducidas, subsidios para la inversión en tecnologías limpias y programas de bonificación para la eficiencia energética. Estos incentivos financieros pueden reducir los costos iniciales de inversión y mejorar el retorno de lo inversión en un plazo largo, lo que aumenta la viabilidad económica para implementar tecnologías limpias. [34].

Colaboración entre diferentes actores: La colaboración entre diversos actores, incluidos el gobierno, las empresas, las organizaciones no gubernamentales y la academia, es fundamental para fomentar la implementación exitosa de tecnologías limpias en las plantas industriales. [35].

El diálogo y la cooperación entre estos actores facilitan el intercambio de recursos, conocimientos y mejores prácticas. Además, esta colaboración puede dar lugar al establecimiento de redes de apoyo y a la formación de asociaciones privado-públicos, promoviendo así la adopción de tecnologías limpias. [36].

Capacidad técnica: La capacidad técnica y el conocimiento especializado son factores clave para la implementación exitosa de tecnologías limpias. Es importante que las empresas cuenten con personal capacitado y calificado que comprenda los principios y las prácticas de las tecnologías limpias. Esto implica proporcionar capacitación y desarrollo profesional para garantizar que los empleados estén actualizados sobre las últimas tecnologías y mejores prácticas. Además, la colaboración con expertos externos, consultores y universidades puede fortalecer la capacidad técnica de las empresas. [37].

Conclusiones

La implementación eficaz de tecnologías limpias demanda un enfoque integral que aborda aspectos clave como el uso de energía con eficiencia, el procesamiento eficaz de residuos y adoptar fuentes de energía renovable. Este enfoque holístico asegura mejoras sostenibles en la sostenibilidad ambiental.

Aunque la incorporación de tecnologías limpias a menudo conlleva inversiones considerables, su creciente relevancia en la industria radica en sus múltiples beneficios tanto para el entorno natural como para el ámbito empresarial. Estas tecnologías, diseñadas para atenuar el impacto negativo de actividades industriales en la salud humana y en recursos naturales, promueven simultáneamente eficiencia y sostenibilidad.

La habilidad de las tecnologías limpias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, vertidos de sustancias tóxicas y residuos peligrosos, contribuye notablemente a la protección de la calidad del aire, agua y suelo; a la mitigación del cambio climático; así como, a la conservación de la biodiversidad. Además, la adopción de tecnologías limpias resulta en ahorros significativos en costos operativos para empresas. La eficiencia energética, componente clave en muchas tecnologías limpias, no solo reduce el consumo

de energía, sino que también mejora la competitividad en el mercado al permitir precios más competitivos.

La investigación, desarrollo e innovación en la industria son estimuladas por las tecnologías limpias, impulsadas por la necesidad de encontrar soluciones más sostenibles. Este impulso favorece la generación de empleo y el mejoramiento económico en sectores como la gestión de residuos, la energía renovable y la eficiencia energética; impulsando oportunidades comerciales y diversificación económica.

Otro beneficio relevante es la mejora de la imagen corporativa. Empresas que adoptan tecnologías limpias pueden destacarse como impulsores en responsabilidad social corporativa y sostenibilidad, generando confianza y lealtad entre partes interesadas inversores y consumidores. Este impacto positivo en la reputación puede traducirse en beneficios financieros.

Asimismo, las tecnologías limpias facilitan a las empresas cumplir con estándares de sostenibilidad y acatar con regulaciones ambientales, cada vez más estrictos, evitando posibles problemas legales y sanciones; además de, demostrar compromiso con la protección del medio ambiente.

Por último, las tecnologías limpias contribuyen con la salud y seguridad de trabajadores en distintos sectores productivos. Al reducir exposiciones a sustancias peligrosas y mejorar las condiciones laborales mediante la automatización y tecnologías más seguras, se previenen accidentes y enfermedades laborales, generando un entorno de trabajo más productivo y satisfactorio.

Recomendaciones

Es esencial investigar la sostenibilidad ambiental en plantas industriales debido a la reducción de recursos naturales, la necesidad de adoptar prácticas empresariales sostenibles y el creciente interés en enfrentar el cambio climático. La implementación de tecnologías limpias en estas instalaciones se presenta como una estrategia eficaz para mitigar el impacto ambiental. Investigaciones futuras deben enfocarse en identificar y promover soluciones que mejoren la sostenibilidad ambiental en plantas industriales. Se recomienda estudiar y documentar las mejores prácticas y tecnologías efectivas para reducir las emisiones contaminantes, minimizar el consumo de recursos naturales y fomentar una producción más sostenible.

Ha aumentado el interés global por enfrentar los desafíos ambientales y promover un desarrollo sostenible. Dado que el sector industrial es uno de los principales responsables de la degradación ambiental debido a sus procesos de producción y emisiones contaminantes, se hace evidente la necesidad crucial de implementar estrategias que fomenten la sostenibilidad ambiental en plantas industriales. Se recomienda realizar investigaciones científicas para desarrollar y evaluar estrategias efectivas que promuevan la sostenibilidad en el ámbito industrial, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia de los recursos utilizados en los procesos de producción.

Se debe abordar los impactos ambientales negativos generados por las plantas industriales, tales como la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación del aire, agua y suelo, y la producción de desechos peligrosos. Estos problemas tienen consecuencias significativas para la salud humana y los ecosistemas circundantes. Dada la urgencia de

minimizar estos impactos debido a la escasez de recursos naturales y al cambio climático, es crucial desarrollar estrategias y tecnologías que reduzcan eficazmente la huella ambiental de las plantas industriales.

La implementación de tecnologías limpias se ha destacado como una solución eficaz para mejorar la sostenibilidad ambiental en plantas industriales frente a los desafíos actuales. Conocidas también como tecnologías verdes o ecoeficientes, estas innovaciones están diseñadas para reducir o eliminar los impactos ambientales negativos de las actividades industriales, al tiempo que fomentan la eficiencia y la sostenibilidad. Se recomienda que futuras investigaciones científicas se enfoquen en analizar y evaluar de manera rigurosa el impacto y la efectividad de estas tecnologías en la minimización del consumo de recursos naturales, la reducción de emisiones contaminantes y la promoción de la reutilización y el reciclaje de materiales en el contexto industrial.

Es crucial explorar y analizar en profundidad los beneficios del empleo de tecnologías limpias en plantas industriales. Estos beneficios incluyen la reducción significativa de la huella ambiental de las operaciones industriales, reflejada en una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, así como del consumo de recursos naturales. Además, se espera que estas tecnologías ayuden a las empresas a cumplir con estándares y regulaciones ambientales cada vez más estrictos, lo que podría tener un impacto positivo en su imagen y reputación corporativa. Por lo tanto, se recomienda que futuras investigaciones se centren en evaluar de manera detallada cómo la implementación de tecnologías limpias contribuye a estos beneficios y cómo estas contribuciones pueden variar según el contexto industrial y las condiciones ambientales específicas.

Se sugiere investigar a fondo el potencial de ahorros económicos a largo plazo derivados de la implementación de tecnologías limpias en plantas industriales. Aunque la inversión inicial puede ser significativa, es importante explorar cómo estas tecnologías se vuelven más accesibles y cómo se optimizan los procesos a lo largo del tiempo, lo que puede resultar en una reducción de los costos operativos. Por ejemplo, la eficiencia energética puede llevar a una disminución de los gastos de energía, mientras que la gestión eficiente de residuos puede reducir los costos asociados con su eliminación. Estos ahorros económicos no solo impactan positivamente a las empresas, sino que también contribuyen al desarrollo sostenible y a la viabilidad a largo plazo de las operaciones industriales. Por ende, se recomienda que futuras investigaciones se centren en evaluar de manera detallada y cuantitativa estos ahorros económicos y su impacto en la sostenibilidad financiera de las plantas industriales.

Se hace urgente adoptar prácticas empresariales sostenibles en el sector industrial mediante la implementación de tecnologías limpias. Su objetivo es crear conciencia sobre la importancia de estas prácticas y ofrecer recomendaciones fundamentadas en la evidencia y el análisis de casos de estudio. Se recomienda que futuras investigaciones se centren en desarrollar herramientas prácticas para implementar tecnologías limpias y mejorar el desempeño ambiental de las empresas. Es importante establecer un análisis detallado de soluciones y su impacto en la sostenibilidad ambiental en las plantas industriales. De esta manera, se contribuirá significativamente al entendimiento del tema y se proporcionarán recomendaciones prácticas basadas en la investigación y el análisis de casos de estudio.

Referencias

[1]. O. E. Ángeles and F. Guillermo, "La relación capital-trabajo en la industria 4.0," ICONOS 73, vol. 16, pp. 163-165, 2022. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8423702.pdf

[2]. Angulo and J. García-Zubía, "Aprendizaje de plataformas embebidas heterogéneas para responder a las nuevas necesidades computacionales de la Industria 4.0," XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, pp. 217-223, 2019. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8062506.pdf

[3]. V. G. Baquero and M. A. Tafur, "Respuesta de la industria 4.0 a las necesidades de una sociedad cada vez más conectada," Creative Commons, vol. 17, pp. 1-8, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7855030.pdf

[4]. G. Bolormaa and T. D. Fernández, "Recomendaciones para mejorar el nivel de preparación para la industria 4.0 en Mongolia," Escuela Superior de Cuadros, del Estado y del Gobierno, vol. 7, pp. 1-17, 2023. doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.7658809

[5]. J. C. Canto-Esquivel, J. Mul-Encalada, and R. N. Ojeda-López, "Importancia de las competencias digitales directivas para la formación," Cultura, Educación y Sociedad, vol. 13, pp. 177-192, 2022. doi: http://dx.doi.org/10.17981/culteduso c.13.1.2022.11

[6]. P. A. Carlos, P. M. Bernardo, R. V. Luis, and R. T. Bernabé, "La formación del personal de mantenimiento para la industria 4.0," Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT), vol. 5, pp. 407-418, 2022. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8723901.pdf

[7]. M. A. Edison, "Tecnologías de industria 4.0 aplicables para el desarrollo de pymes," CienciAmérica, vol. 9, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7746460.pdf

[8]. K. Y. Palomino, "Estado de avance de la industria 4.0 en la maquiladora: efectos en el empleo en Mexicali, México," Revista de Tecnología y Sociedad, pp. 1-27, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8130876.pdf

[9]. K. G. Parrales, E. A. Lino, and M. M. Hernández, "Impresión 3D como eje de desarrollo en la industria 4.0," Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, vol. 14, pp. 151-160, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8590504.pdf

[10]. P. A. Rivero and M. d. Mota, "Evolución de las habilidades laborales en la industria 4.0 y su impacto financiero," Innova, vol. 6, pp. 106-119, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7964706.pdf

[11]. M. L. Rodríguez, R. E. Calderón, and L. F. Loaiza, "Aplicación industria 4.0 en logística de Rappi 'zona T', de Bogotá D.C., Colombia," Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, vol. 21, pp. 32-38, 2021. doi: https://doi.org/10.19053/1900771X.v21.n1.2021.13512

[12]. G. Foladori and Á. Ortiz-Espinoza, "De las nanotecnologías a la industria 4.0: una evolución de términos," Nómadas, pp. 63-73, 2021. doi: https://doi.org/10.30578/nomadas.n55a4

[13]. J. A. Franco, "Horizonte de la seguridad informática en la era de la industria 4.0," Creativecommons, vol. 7, pp. 59-75, 2020. doi: http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2020.v7.n14.a84

[14]. M. A. Martínez, S. R. Hernández, R. V. Salinas, and G. E. Cadena, "Aplicación móvil 'AppIndustria 4.0': una herramienta para la evaluación de las organizaciones en industria 4.0," Tecnológico Nacional de México, vol. 32, pp. 53-64, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8030563

[15]. J. P. Gamboa, "Tecnologías, competencias y formación de la industria 4.0 y su influencia en la servitización de empresas industriales," Orkestra-Fundación Deusto, pp. 61–67, 2019. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8368750;orden=0;info=link

[16]. J. T. Paul and L. M. Zhinin, "Transformación del mercado laboral en nuevas visiones de formas de empleo debido al desarrollo de la Industria 4.0 y los desafíos normativos en el Ecuador," Polo del conocimiento, vol. 6, pp. 307–336, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8219330.pdf

[17]. G. Garcés and C. Peña, "Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio," Revista de Estudios y Experiencias en Educación, vol. 19, pp. 129–148, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7527593.pdf

[18]. L. R. Rodríguez-Alegre, G. Trujillo-Valdiviezo, and M. J. Egusquiza-Rodríguez, "Revolución industrial 4.0: La brecha digital en Latinoamérica," Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, vol. 6, pp. 1–11, 2021. doi: https://doi.org/10.35381/r.k.v6i11.1219

[19]. R. T. Gutiérrez, "La fabricación abierta: ¿un camino alternativo a la industria 4.0?" Revista CTS, no. 41, vol. 14, pp. 263–285, 2019. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6999194.pdf

[20]. G. H. René and A. Mon, "Niveles de productos software en la industria 4.0," International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies, vol. 5, pp. 53–62, 2018. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6739292.pdf

[21]. E. C. Jácome, A. d. Cárdenas, and P. L. Rivera, "La Industria 4.0 y los negocios frente a la emergencia sanitaria por Covid-19," Digital publisher, vol. 6, pp. 18–29, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7897399.pdf

[22]. J. L. M. Jennifer, F. T. Francisco, and E. M. Adolfo, "Desafíos de las universidades ante la tendencia mundial de la Industria 4.0," Revista de ciencias sociales, vol. 27, pp. 306–318, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8145523.pdf

[23]. L. R. Leal, L. O. Alba, and A. R. Conrado, "Desarrollo, tendencias, aplicaciones y herramientas de la industria 4.0 en el sector textil," Boletín de Innovación, Logística y Operacione, vol. 2, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8931394;orden=0;info=link

[24]. M. Llanes-Font and E. Lorenzo-Llanes, "La cuarta revolución industrial y una nueva aliada: calidad 4.0," Ciencias Holguín, vol. 27, pp. 66–74, 2021. Available: https://www.redalyc.org/journal/1815/181566671006/

[25]. R. A. Loya, "Inflexiones del Estado moderno a partir de las implicaciones ético-laborales, generadas por la," Revista de ciencias sociales y humanidades, vol. 4, pp. 98–105, 2019. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8274250.pdf

[26]. M. Luna-López, M. Hernández-Lozano, R. Aldana-Franco, E. Álvarez-Sánchez, J. G. Leyva-Retureta, F. Ricaño-Herrera, and F. Aldana-Franco, "Sistema inteligente de monitoreo para condiciones ambientales en Industria 4.0," Científica, vol. 25, pp. 1–10, 2021. Available: https://www.redalyc.org/journal/614/61466617007/

[27]. G. Rozo-García, "Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0," Revista UIS Ingenierías, vol. 19, pp. 177–191, 2020. Available: https://www.redalyc.org/journal/5537/553768132019/

[28]. J. L. Sampietro, "Transformación Digital de la Industria 4.0," Polo del conocimiento, vol. 5, pp. 1346–1348, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7554338.pdf

[29]. V. H. Sánchez Arizo and J. Fernández Sastre, "El efecto de los paquetes tecnológicos en la productividad del maíz en Ecuador," Problemas del desarrollo, vol. 51, pp. 85–110, 2020. Available: https://www.redalyc.org/journal/118/11865534004/

[30]. K. A. Sánchez, "Teoría de juegos aplicada a la competencia," Revista Activos, vol. 18, pp. 91–110, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8895149&orden=0&info=link

[31]. S. P. Rey Sánchez, F. Garivay Torres De Salinas, J. P. Jacha Rojas, and J. N. Malpartida Gutiérrez, "Industria 4.0 y gestión de calidad empresarial," Revista Venezolana de Gerencia, vol. 27, no. 97, pp. 289–298, 2022. doi: https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.97.20

[32]. A. N. Macho and F. J. Martínez, "Evidencias e incertidumbres de la industria 4.0 en España," Panorama Social, pp. 105–121, 2021. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8258028;orden=0;info=link

[33]. C. C. Sebastián and J. A. León, "Tecnología 5G y su monetización empresarial," Polo del conocimiento, vol. 5, pp. 482–502, 2020. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7659356.pdf

[34]. S. Sergio and D. Mamani, "Marco de referencia para la incorporación de Cobots en," Universidad Espíritu Santo, pp. 159–180, 2020. doi: http://dx.doi.org/10.31095/podium.202

[35]. G. D. Ussa, E. L. Álvarez-Aros, and F. C. Miranda, "La industria 4.0 y sus aplicaciones en el ámbito militar: oportunidad estratégica para Latinoamérica," Revista Científica General José María Córdova, vol. 20, pp. 717–736, 2022. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8693052&orden=0&info=link

[36]. [36] C. Valdiviezo-Abad and T. Bonini, "Automatización inteligente en la gestión de la comunicación," doxa.comunicación, vol. 29, pp. 169–196, 2019. doi: https://doi.org/10.31921/doxacom.n29a9

[37]. [37] M. X. Velásquez and A. E. Sarmiento, "Industria 4.0 impacta las pequeñas y medianas empresas," loginn, vol. 6, pp. 1–26, 2022. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8738609&orden=0&info=link

VOL. 7 Nº1- 2025

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Diseño e implementación de una plataforma modular portable para la enseñanza de microcontroladores.

Design and Implementation of a Portable Modular Platform for Microcontroller Education

http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.1119

[1]Juan Pablo Vásquez, [1]Iván Iglesias Navarro, [1]Luz M. Tobar Subía Contento, [1]Ana C. Umaquinga Criollo, [2]Cristian A. Tasiguano Pozo

[1]Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

[2]Instituto Tecnológico San Antonio

[1]{jpvasquezl; iiglesias; lmtobarsubia; acumaquinga}@utn.edu.ec; [2]ctasiguano@itsa.edu.ec

Fecha de envío, junio 5/2024 - Fecha de aceptación, diciembre 3/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: La investigación se centra en el diseño y la construcción de una plataforma didáctica modular para los laboratorios de microcontroladores y sistemas embebidos en una universidad. La plataforma consta de 20 módulos con se-rigrafía en componentes, puertos de comunicación y alimentación. Se co-munica con el PC a través de un puerto USB, procesando la información de toda la plataforma modular. El diseño y los componentes utilizados se se-leccionaron en respuesta a las necesidades reales de profesores y estudian-tes, recopiladas a través de encuestas. Además, la plataforma permite la inte-gración de estas asignaturas en la simulación de procesos tecnológicos y el control inteligente de una vivienda. Los resultados muestran que la plata-forma modular ha mejorado el proceso de enseñanza-aprendizaje, aplicando conceptos teóricos en entornos reales. Funciona con el software Arduino IDE y hardware libre. Su diseño es ergonómico y didáctico para cada esta-ción del prototipo de cada circuito. Sus dimensiones son 555 mm de largo por 355 mm de ancho, lo que facilita su movilización. La alimentación de las placas está incluida y se indica con un voltaje de 5 V y 3.3 V. Es óptimo en el tiempo de desarrollo de prácticas, diseño de circuitos y reducción de gastos innecesarios para los estudiantes. La efectividad del proyecto se eva-luó a través de pruebas de rendimiento, encuestas de satisfacción y desarro-llo de guías de laboratorio en áreas como automatización, control y poten-cia.

Palabras Claves: Arduino, Didáctica, Herramienta, Microcontrolador, Pla-taforma modular, Portable.

Abstract: The research focuses on the design and construction of a modular didactic platform for microcontroller and embedded system laboratories at a university. The platform consists of 20 modules with screen printing on components, communication ports, and power supply. It communicates with the PC via a USB port, processing information from the entire modular platform.

The design and components used were selected in response to the real needs of teachers and students, collected through surveys. In addition, the plat-form allows the integration of these subjects in the simulation of techno-logical processes and the intelligent control of a home.

The results show that the modular platform has improved the teaching-learning process, applying theoretical concepts in real environments. It works with the Arduino IDE software and open-source hardware. Its design is ergonomic and didactic for each station of the prototype of each circuit. Its dimensions are 555 mm long by 355 mm wide, which facilitates its mo-bilization.

The power supply of the boards is included and is indicated with a voltage of 5 V and 3.3 V. It is optimal in the development time of practices, circuit design, and reduction of unnecessary expenses for students. The effective-ness of the project was evaluated through performance tests, satisfaction surveys, and the development of laboratory guides in areas such as automa-tion, control, and power.

Keywords: Arduino, Didactics, Modular Platform, Tool, Microcontroller, Portable.

Autor de correspondencia:
Juan Pablo Vásquez, jpvasquezl@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

La experimentación y desarrollo de laboratorios en microcontroladores promueven la participación e interacción directa del estudiante, transformando su perspectiva [1]. El objetivo principal es aplicar los conocimientos teóricos en prácticas reales [2]. Según [7], las prácticas de Automatización, Domótica y Potencia mejoran la metodo-logía pedagógica. La herramienta proporcionada incorpora los implementos adecuados y un diseño estructurado para facilitar la retroalimentación de las clases teóricas a las prácticas. La metodología propuesta integra experiencias teóricas y prácticas, enfocada en el aprendizaje basado en proyectos para desarrollar habilidades de programación y diseño. [2]. Investigaciones en diferentes centros universitarios han revelado altos niveles de reprobación en asignaturas técnicas y prácticas. Por ejemplo, en la Univer-sidad Nacional de Colombia, 14 estudiantes no aprobaron la asignatura de Física de Semiconductores y 49 no aprobaron Fundamentos de Electricidad y Magnetismo en el primer semestre de 2010 [4]. En la Universidad Politécnica Salesiana, las asignaturas con mayor número de reprobados fueron Entornos Virtuales de Aprendizaje y Diplo-mado E-Learning [5].

En la Universidad Técnica del Norte, se ha evidenciado reincidencia en materias como Administración y Gestión de Redes, Comunicación Inalámbrica y Redes de Nueva Generación en el período académico septiembre 2018 - febrero 2019 [6]. La falta de recursos económicos entre los estudiantes limita la adquisición de elementos necesarios para los laboratorios. Sin embargo, este tipo de propuestas no solo abordan la problemática financiera, sino que también fomentan el desarrollo de habilidades blandas, como la organización en equipos y la igualdad de oportunidades en cada práctica [3]. Estas experiencias fortalecen el enfoque constructivista en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Según [7] y [12], las placas entrenadoras de microcontroladores o circuitos integra-dos programables PICs (Programmable Integrated Circuit, por sus siglas en inglés) sirven como retroalimentación de las temáticas vistas en clase. No obstante, estas placas poseen instrumentos limitados para satisfacer los requerimientos del beneficia-rio [11]. La implementación de un enfoque de aprendizaje combinado para enseñar conceptos de microcontroladores a estudiantes universitarios a través de la plataforma Arduino destaca la eficacia del aprendizaje colaborativo y experiencial, especialmente en educación remota durante la pandemia. [7].

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la asignatura de microcontroladores y sistemas embebidos. Se propone una interacción más rápida mediante una herramienta didáctica que contenga los mate-riales adecuados. Este artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 1 presen-ta la introducción; la sección 2 expone la metodología para el desarrollo de la plata-forma propuesta, así como la determinación de requerimientos; la sección 3 muestra los resultados de la evaluación del funcionamiento de la plataforma. Finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones y los hallazgos relacionados con el aprendizaje de la materia de microcontroladores y sistemas embebidos.

Metodología

En esta sección, se presenta una descripción detallada de la arquitectura, el desarrollo y la operación de la plataforma modular propuesta. Esta plataforma, diseñada para ser portátil, facilita la enseñanza de microcontroladores y es compatible con aplicaciones que utilizan hardware y software de código abierto. La transferencia de datos se lleva a cabo a través de una interfaz que conecta el microcontrolador con varios sensores, actuadores y periféricos. Como se ilustra en la Fig. 1, esta interfaz permite una comu-nicación bidireccional, facilitando tanto la entrada como la salida de datos. La Fig. 1 proporciona una representación visual de cómo se interconectan estos componentes, ilustrando el flujo de información y destacando los sistemas involucrados en el proce-so. Esta representación gráfica sirve para aclarar la funcionalidad y la operación de la plataforma modular.

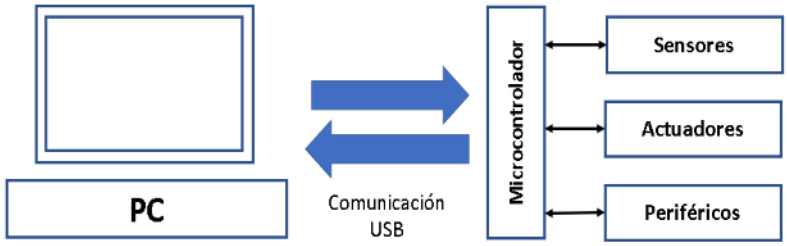


Fig. 1. Flujo de información y los sistemas involucrados de la plataforma modular

La Fig. 2 ilustra los temas fundamentales que se han considerado durante el desa-rrollo de la plataforma. Además, se destaca la interrelación entre estos temas, propor-cionando una visión integral de los factores que han influido en la concepción y evo-lución de esta.

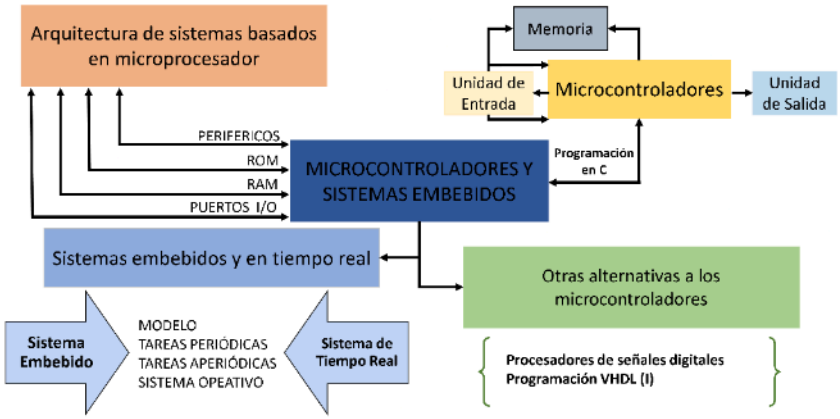


Fig. 2. Diagrama de bloques de los contenidos y su relación entre ellos para el desarrollo de la plataforma propuesta.

Cuestionario

El análisis de los requerimientos garantiza el diseño de circuitos precisos, tanto en aspectos técnicos y físicos. Con el fin de obtener datos cuantitativos o cualitativos que puedan ser analizados, se aplicó un cuestionario a 41 personas: 37 estudiantes matriculados en el ciclo académico: abril - agosto 2022, 4 profesores que pertenecen al área de electrónica y control [7], con el fin de determinar los requerimientos y especi-ficaciones en el diseño de la estructura. En la Tabla 1 se determinan los principales.

Tabla 1. Requerimientos obtenidos de la encuesta

Requerimientos	ID	Total	%
Implementación Entorno de Arduino	1	41	100%
Lenguaje de Programación C++	2	32	78,8%
Portable	3	41	100%
Didáctico	4	41	100%
Elementos adecuados para prácticas de laboratorio	5	36	87,8%
Serigrafía de acuerdo con norma	6	41	100%
Modular	7	33	80,5%

Por lo tanto, se crea una herramienta portátil y didáctica, para mejorar el proceso de aprendizaje de la asignatura de Microcontroladores y Sistemas Embebidos, siendo una referencia para el aprendizaje de la asignatura. Además, como segunda parte de la encuesta se definen los elementos más utilizados en los laboratorios, siendo los si-guientes: diodos emisores de luz, pulsadores, potenciómetros, palancas de mando, teclado matricial, zumbador, relé, displays, sensores de temperatura, servomotores, sensores infrarrojos, sensor de distancia, fotoresistencias, microcontrolador Atme-ga328p con conexiones adicionales, Arduino Due, placa de pruebas, puente H y un módulo de comunicación Bluetooth; destacan más (ver Fig. 3).

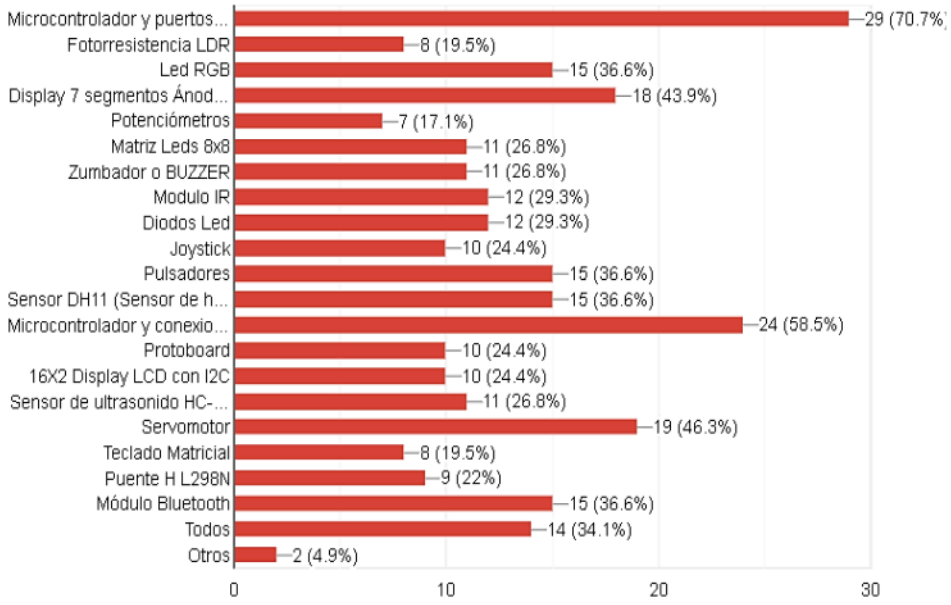


Fig. 3 Elementos principales de la plataforma modular

Módulos

La plataforma permite el desarrollo de prácticas de laboratorio, referentes a: control, automatización y potencia. Los recursos implementados son recapitulados en los años de experiencia de docentes como estudiantes que cursaron la materia de "Microcontro-ladores y Sistemas Embebidos", o afines. La implementación del dispositivo para las prácticas permite el contacto directo del estudiante al llevar los sistemas simulados a modelos reales. Para el desarrollo del prototipo y simulaciones se empleó programas de código abierto para su software y hardware como: arduino, fritzing, circuitmaker y componentes de arduino.

El entrenador de microcontroladores está dividido en 20 módulos individuales. Los módulos están ubicados de manera estratégica, para un correcto uso y distribuciones en las conexiones de pines de estos (ver Tabla 2).

Tabla 2. Distribución estratégica de componentes.

#	Componentes	#	Componentes
20	Bluetooth	8	Sensor infrarrojo
16	Sensor de ultrasonido HC-SR04	6	Zumbador
14	Protoboard	2	Led RGB
12	Sensor DHT11	9	Diodos led
15	LCD Display 16x2 conI2C	5	Matriz led 8x8
13	Microcontrolador y conexiones	7	Arduino Due
17	Servomotores	3	Display 7segmentos ánodo común
11	Pulsadores	1	Fotorresistencia LDR
19	Puente H L2298N	4	Potenciómetros
18	Teclado matricial 4X4	10	Joystick

Diseño

El diseño esquemático de cada módulo se realizó a través del software para la creación de Placas de Circuitos Impresos (PCBs), así se establece la ubicación idónea de cada elemento, se define el ancho del camino, el ruteo, serigrafía de cada componente y la visualización en 3D de cada módulo. Así, al ser cada módulo independiente plug and play, permite la reparación individual y corrección de fallas de éste. Las señales de envío y recepción de información con su respectiva alimentación son acondicionadas por el módulo 13 denominado "MICROCONTROLADOR y CONEXIONES ADICIONALES". El mismo, procesa la información que contiene el microcontrolador Atmega328p. Adicionalmente, en caso de ser necesario un mayor procesamiento, se puede utilizar el módulo 7 denominado "Arduino Due", que incorpora el Arduino Due, con el microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 de 32 bits a 84 MHz. Dependiendo del tipo de componentes que se vayan a utilizar, la alimentación y comunicación del microcontrolador varía. Como primera opción se puede utilizar el conversor USB a TTL Ch340, que suministra 5 VDC. Asimismo, como segunda opción, se cuenta con el plug para conectar una fuente externa, Fig. 4. De esta manera, no sobrepasan los voltajes que se especifican en [7].

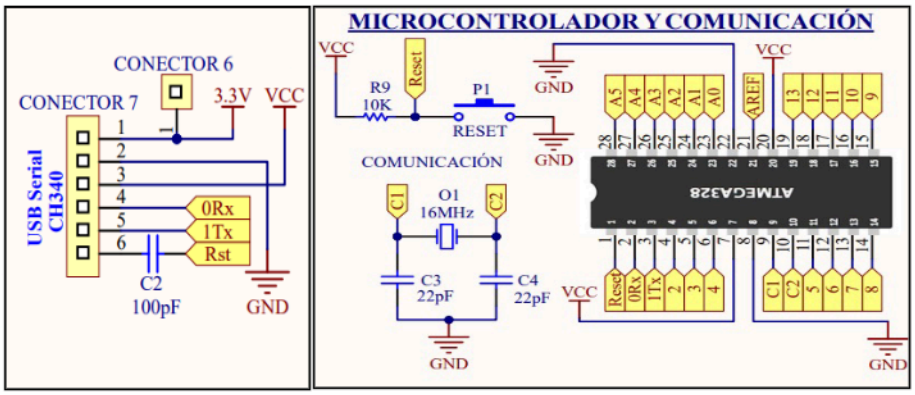


Fig. 4. Diagrama de configuración del microcontrolador Atmega328p

Para la identificación y ubicación de los componentes como los puertos de conexión de entrada, salida, y señales de alimentación (digitales, analógicas, voltaje y tierra), la serigrafía ayuda a los usuarios, tanto principiantes como avanzados, a utilizar y traba-jar con las distintas placas que hay en el mercado de manera más eficiente. Se basó en las normas: IPC 600, IPC 610 e IPC 2221 [8].

En el diseño de la serigrafía, se tomó en cuenta los criterios de las normas: IPC 600, IPC 610 e IPC 2221 [8]. Esto permitió establecer los criterios para la ubicación de los componentes como los puertos de conexión de entrada y salida, y señales de alimentación (digitales, analógicas, voltaje y tierra), Fig. 5.

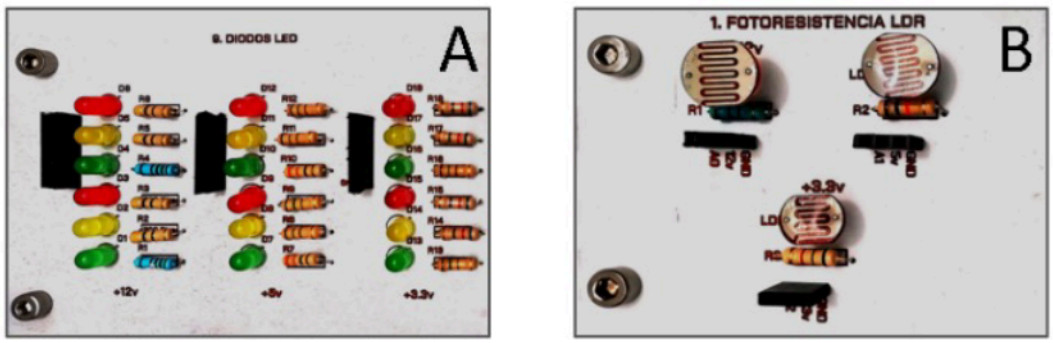


Fig. 5. Serigrafía de cada circuito Impreso

Nota. A =Serigrafía del módulo 9 "DIODOS LED". B= Serigrafía del módulo "1. FOTORESISTENCIA".

Con el fin de tener características como: facilidad de uso, amplia documentación, versatilidad y amplia compatibilidad, se conservó la similitud al Arduino UNO, Fig. 6. El orden de pines proporciona flexibilidad de conexión, configuración digital o analógica, compatibilidad con diferentes voltajes, facilidad de programación y dispo-nibilidad de numerosos pines para la conexión de componentes.

Además, la información de serigrafía es libre y está disponible desde la página ofi-cial de Arduino como: diagrama de distribución de pines, archivos Eagle en .zip, esquemas en .pdf, tamaño de tableros en .dxf y la hoja de datos técnicos [9].

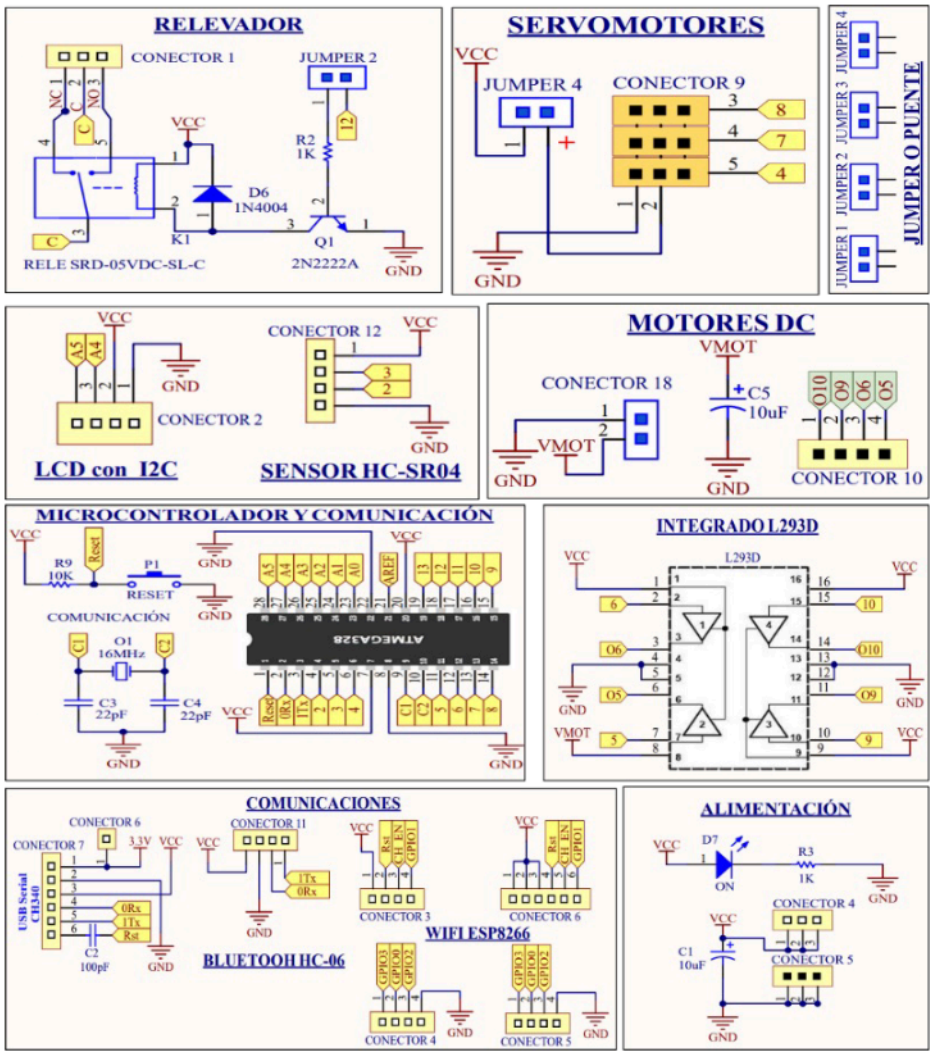


Fig. 6. Esquemáticos y distribuciones de pines según Arduino UNO HCR3 y adaptación del autor.

Construcción

Para la construcción se utilizó materiales de prototipado rápido como: FMD (Fibra de Madera de Densidad Media), acrílico y PETG. Además, se utilizó accesorios de fija-ción para unir las diferentes partes de la plataforma modular de manera permanente o temporal como: tornillos, tuercas y arandelas. Adicionalmente el diseño y construc-ción de la plataforma es adaptable a los laboratorios, y se convierte en una herramienta de trabajo en el desarrollo de proyectos. Es importante destacar que, cada módulo puede ser reubicado o complementado según las necesidades específicas de la práctica. El ensamblaje es sobre una estructura de prototipado rápido a través de un sistema de tornillos y tuercas. Los módulos desarrollados se los implementó bajo los requeri-mientos de los estudiantes y docentes como se indica en la sección 2.1. En la Tabla 3 se presentan los módulos con su descripción.

Tabla 3. Descripción de módulos

#	Módulo	Descripción de los módulos
1	LDR Fotorresistencia	- El resistor que tiene permite el aumento o disminución de la luz.
2	Led RGB	- El encapsulado del led RGB sirve para variar la luz con los colores primarios.
3	Display 7segmentos ánodo común	- Son 7 diodos que es posible todos los leds al mismo tiempo o por separado encender o apagar.
4	Potenciómetro	- Permite el paso o cierre de la intensidad eléctrica
5	Matriz de leds 8x8	- Comprendido por 64 luces en 8 columnas y 8 filas con un integrado Max7219.
6	Zumbador	- Indicador acústico que varía su sonido dependiendo a su programación.
7	Arduino Due	- Herramienta que incorpora para mayor procesamiento de información.
8	Sensor infrarrojo (IR)	- Sensor que mide la proximidad a través del infrarrojo y receptor.
9	Leds	- Indicador luminoso o emisor de luz, que la energía eléctrica lamina.
10	Joystick	- Control analógico que permite ubicar en dos posiciones X e Y.
11	Pulsadores	- Controla la variedad de dos estados lógicos 0 a 1.
12	Sensor Temperatura -Humedad	- Sensor digital que permite mediciones de humedad y temperatura.
13	Microcontrolador y conexiones adicionales	- Módulo principal de programación y ensamble de circuitos eléctricos con el módulo al incorporar el microcontrolador Atmega328p.
14	Protoboard	- Placa para ampliar conexiones y pruebas de componentes.
15	LCD Display 16x2 con I2C	- Pantalla de cristal líquido que integra: 2 filas y 16 columnas.
16	Sensor de ultrasonido	- Sensor que mide la distancia con ondas de envío y recepción de ultrasonido.
17	Servomotor	- Actuadores giratorios que se puede controlar velocidad y posición angular.
18	Teclado matricial	- Pulsadores de 4X4, que controlan de forma individual.
19	Módulo Puente H	- Circuito Integrado para el control y protección de motores con cargas más altas de energía.
20	Módulo Bluetooth	- Dispositivo para realizar la comunicación inalámbrica.

Normas de validación de los circuitos

La validación de los circuitos se realiza mediante las normas del Instituto de Circuitos Impresos (IPC) y simulaciones previas del montaje de componentes [1] y [2].

Normativas IPC 2221. La normativa IPC 2221, es una norma genérica que hace referencia al diseño de PCB y recomendaciones para la manufactura [10]. La misma se usa junto con la IPC 7351, la IPC T 50 y la IPC D 325.

Para conducir la corriente y el voltaje adecuado en cada pista, se debe considerar factores adicionales como: temperatura, humedad, espaciamiento eléctrico, la velocidad de la señal, inductancia y capacitancia. En las Tablas 4 y 5 se encuentran parámetros que fueron determinantes para definir las características y especificaciones de las placas de circuito impreso.

Tabla 4. Voltaje y Distancia

Voltaje (DC)	Distancia
0-15	0.2 mm
15-50	0.4mm-1mm
50-120	8-10 mm o más

Para garantizar el flujo de corriente, se define el tamaño del ancho de las pistas de acuerdo con la norma IPC-2221. A continuación, en la Tabla 5 se indica el ancho de pista en relación con la corriente.

Tabla 5. Ancho de pista y Corriente

Ancho de pistas (mm)	Corriente (Amperios)
0.25	0.3 mA
0.38	0.4 mA
0.5	0.7 mA
0.8	1A

Normativa IPC 610: Esta norma se centra en la aceptación de ensambles electrónicos, que indican la manera correcta de mejorar prototipos de diseños con normas de calidad de cada circuito impreso [8]. Se utiliza para comprobar la conexión de componentes, flujo de soldadura, continuidad en pistas, agujeros pasantes y la creación de un buen punto de soldadura con el fin de aliviar el estrés térmico.

Evaluación del proceso de aprendizaje práctico en ingeniería

En la educación, las herramientas que apoyan el proceso de aprendizaje son esenciales para facilitar resultados efectivos de enseñanza y aprendizaje. Al integrar plataformas de código abierto como Arduino y FreeRTOS, se facilita la enseñanza de sistemas integrados en tiempo real (RTES), sin necesidad de recursos físicos complejos. Utili-zando herramientas como el simulador SimSo, los estudiantes pueden experimentar con conceptos clave de RTES, como la programación de tareas y la gestión de recur-sos, a través de una programación práctica y en tiempo real. [1]. Al integrar un enfo-que de aprendizaje combinado que mezcla teoría y práctica, el estudio demuestra cómo el uso de la plataforma Arduino facilita el aprendizaje basado en proyectos, permitien-do a los estudiantes desarrollar habilidades tanto en programación como en diseño. [7]. El potencial de una herramienta como apoyo en el proceso de aprendizaje se puede medir en función de varios factores. Un factor crucial es la alineación de la herramien-ta con los objetivos de aprendizaje esperados. Antes de que los educadores puedan determinar el potencial de una herramienta para apoyar el proceso de aprendizaje, pri-mero deben identificar y establecer metas de aprendizaje claras.

El estudio se centra en la evaluación del aprendizaje práctico en ingeniería en la ense-ñanza de sistemas integrados en la educación secundaria profesional en Eslovaquia, destacando la importancia de plataformas accesibles como Arduino. El uso de micro-controladores no solo desarrolla habilidades técnicas, sino que también mejora la comprensión de los sistemas integrados y su aplicación a problemas reales. El enfo-que basado en proyectos prepara a los estudiantes para futuros empleos en campos técnicos, alineados con estándares de la industria. La investigación resalta cómo el diseño de plataformas como Arduino puede optimizar la educación en ingeniería [12].

Resultados y Discusión

Se presenta el prototipo final, compuesto por diversos módulos individuales. Este diseño modular mejora la usabilidad y accesibilidad de la plataforma, facilitando su comprensión y optimizando su aplicación en el ámbito educativo, tanto para estudian-tes como para docentes.

Prototipo

La plataforma contiene 20 módulos, los cuales contienen los componentes más utili-zados en los laboratorios de microcontroladores, Tabla 6.

Tabla 6. Módulos de la plataforma modular

#	Módulo
1	LDR Fotoresistencia
2	Led RGB
3	Display 7segmentos ánodo común
4	Potenciómetro
5	Matriz de leds 8x8
6	Zumbador
7	Arduino Due
8	Sensor infrarrojo (IR)
9	Leds
10	Joystick
11	Pulsadores
12	Sensor Temperatura -Humedad
13	Microcontrolador y conexiones adicionales
14	Protoboard
15	LCD Display 16x2 con I2C
16	Sensor de ultrasonido
17	Servomotor
18	Teclado matricial
19	Módulo Puente H
20	Módulo Bluetooth

Los módulos se encuentran ubicados en relación con la disposición de pines de los componentes al microcontrolador, distribuyendo adecuadamente el número de entradas como de salidas para optimizar el número de cables en la conexión directa de los elementos (Fig. 7).

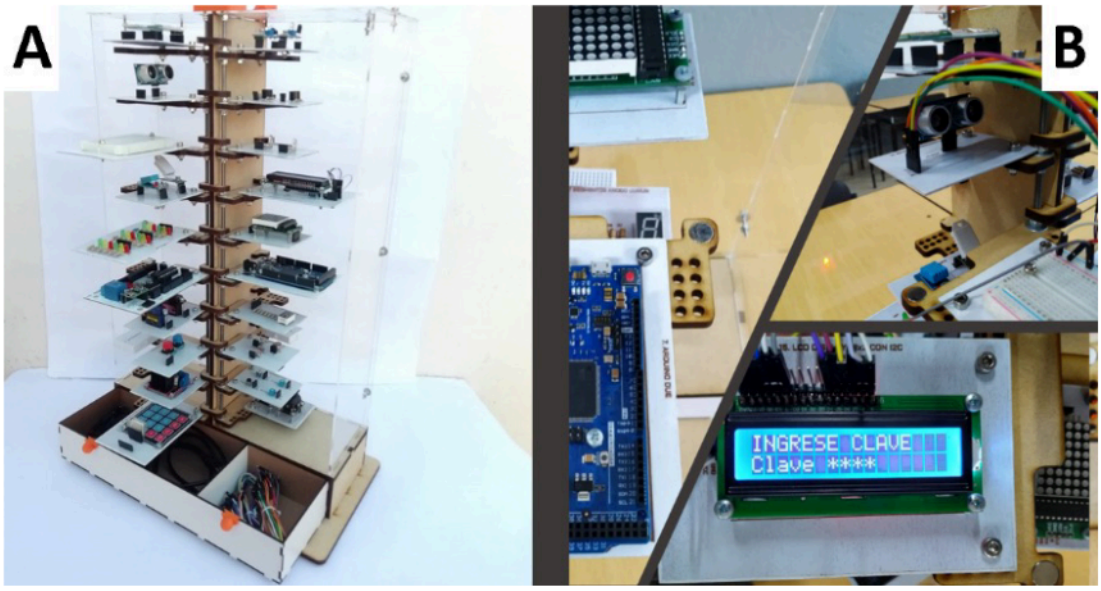


Fig. 7. Distribución de los módulos en la plataforma

Nota: A) Plataforma Modular, B) Elementos principales de la plataforma modular.

Pruebas del dispositivo

Las pruebas realizadas en los módulos y componentes abarcan: funcionamiento indi-vidual, comunicación entre módulos, recepción o envío de información desde la computadora a la plataforma portátil modular para la enseñanza de microcontroladores, en el entorno de Arduino y de alimentación con una fuente externa.

Pruebas: Se elaboraron tres laboratorios basados en los resultados de aprendizaje del sílabo de la materia de Microcontroladores y Sistemas Embebidos, que menciona: "Seleccionar la arquitectura deseada para implementar y programar sistemas basados en microprocesadores en función de las necesidades como requerimientos de la aplica-ción" [11]. Las guías para la validación del proyecto se desarrollaron según el trabajo de grado [7].

En el laboratorio (1) titulado "Automatización", el objetivo de la práctica es com-prender el funcionamiento de indicadores (LEDs), sensores y actuadores que intervie-nen en procesos tecnológicos. Los módulos utilizados en la práctica son: M1 Fotore-sistencia LDR, M9 Diodos led, M17 Servomotores, M13 Microcontroladores & Co-nexiones adicionales y finalmente, M14 Protoboard.

En el laboratorio (2) titulado "Domótica", el objetivo de la práctica es transmitir información para el control inteligente de una vivienda con interacción del usuario. Los módulos utilizados en la práctica son: M9 Diodos led, M17 Servomotores, M13 Microcontroladores & Conexiones Adicionales, M14 Protoboard, M18 Teclado ma-tricial 4x4, M15 LCD Display 16x2 con I2C y finalmente, M4 Potenciómetros.

En el laboratorio (3) titulado "Potencia", el objetivo de la práctica es diseñar e implementar sistemas de potencia con Arduino. Los módulos utilizados en la práctica son: M13 Microcontroladores & Conexiones adicionales, M14 Protoboard, M15 LCD Display 16x2 con I2C, M12 Sensor DHT11, M4 Potenciómetros y finalmente, se utiliza un motor que utiliza 120VAC para su funcionamiento.

Con el fin de validar la respuesta de los estudiantes respecto a la plataforma modu-lar, se aplica una encuesta a los estudiantes del ciclo académico (Octubre 2022 - Fe-brero 2023) de la asignatura de Microcontroladores y Sistemas Embebidos. Por lo tanto, la encuesta mide variables como: tiempo, conocimientos en relación con la plataforma modular, importancia del estudio, utilidad y productos similares. La in-formación se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Preguntas de la encuesta

Preguntas	Tipo de Respuestas	Escala
A. ¿Considera que el tiempo asignado para la realización de prácticas es insuficiente dentro de las horas académicas designadas?	Si-No	
B. ¿Las prácticas de laboratorio son fundamentales durante los estudios universitarios con la implementación de Arduino?	Si-No	
C. Después de realizar la práctica con la plataforma modular de microcontroladores, elija la opción que mejor refleje su criterio: ¿contribuyó a mejorar sus conocimientos o no?"		X
D. Califique el uso de la plataforma modular de microcontroladores, 1 la nota más baja y 5 la más alta.		X
E. ¿Considera usted que la plataforma modular de microcontroladores, presentado en la clase demostrativa serviría para sus estudios?	Si-No	
F. ¿La plataforma modular de microcontroladores sería de utilidad en las clases de microcontroladores y sistemas Embebidos?	Si-No	
G. ¿Sería conveniente incorporar componentes adicionales utilizados en la materia de microcontroladores a la plataforma	Si-No	
H. ¿Has visto un producto similar?	Si-No	
I. ¿Recomendaría la plataforma: 1 nada probable, 5 muy probable?		X
J. ¿Qué es lo que más le gustó la plataforma modular?	Libre	

Resultados

La implementación de la plataforma modular portable para la enseñanza de microcon-troladores proporciona herramientas que facilitan el ensamble de diversas prácticas de laboratorios. A su vez, incentiva e incrementa el interés a la investigación y desarrollo de la parte experimental de las materias técnicas. A continuación, en la Fig. 8 se pre-senta los resultados de la encuesta.

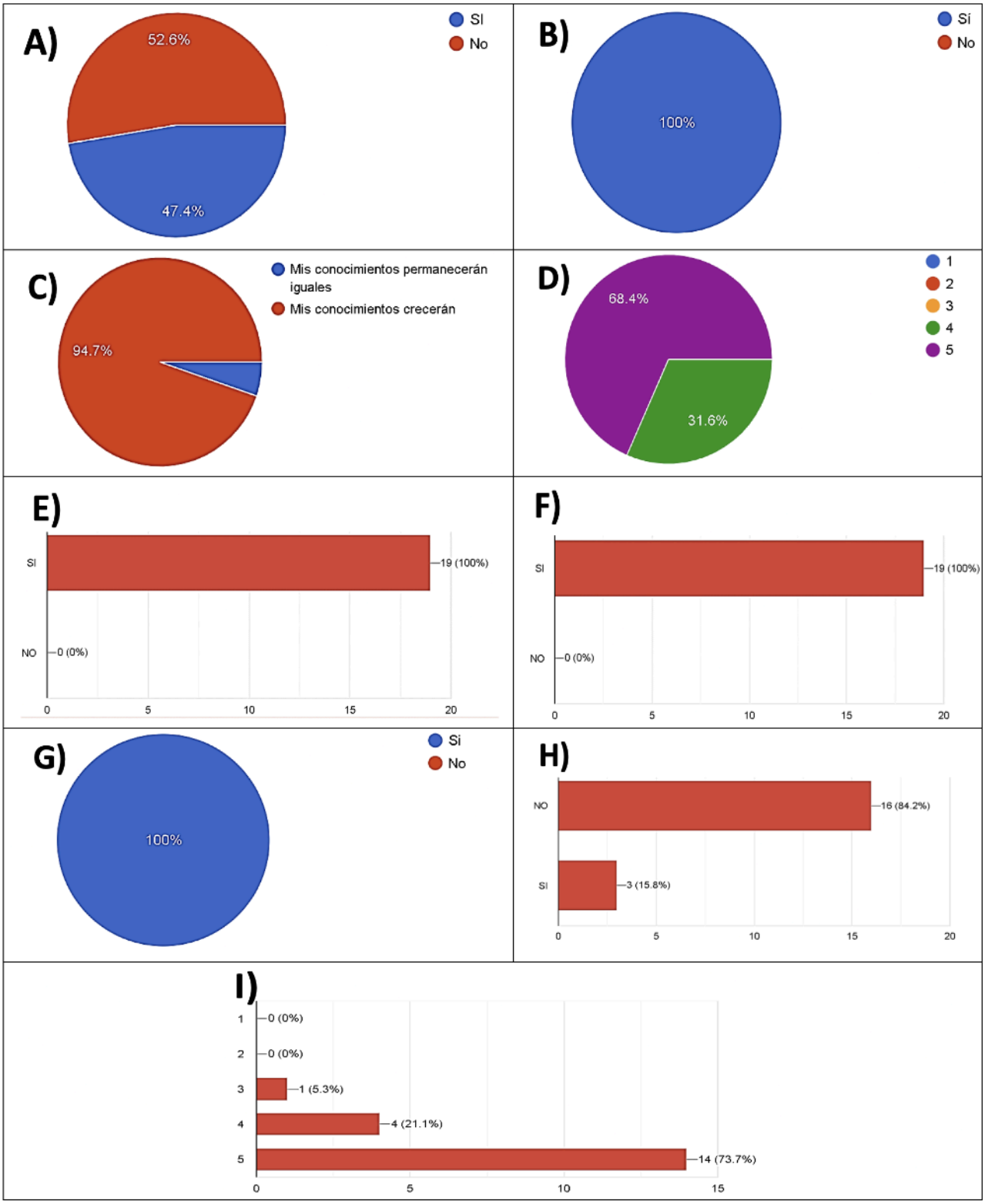


Fig. 8. Resultados obtenidos de la evaluación.

Análisis cuantitativo

Distribución de Respuestas

- Pregunta A: 47.4% de los estudiantes de acuerdo; 52.6% en desacuerdo.
- Pregunta B: 100% de aceptación entre los participantes.
- Pregunta C: 94.7% creen que sus conocimientos aumentarán; 5.3% piensan que se mantendrán iguales.
- Pregunta D: 100% de respuestas en puntuaciones altas; 68.4% eligieron 5 y 31.6% seleccionaron 4, indicando una evaluación positiva de la plataforma.

Evaluación de Concordancia Total

La evaluación de la plataforma mostró un consenso en las preguntas E, F y G, pero el 84.2% de los estudiantes respondió "No" en la pregunta H, indicando áreas de mejora. A pesar de esto, el 73.7% mostró una actitud positiva hacia el uso futuro, con una puntuación media de 4.63. Es crucial identificar fortalezas y áreas de mejora para optimizar versiones futuras.

Finalmente, para verificar el incremento en el nivel del aprendizaje de los estudian-tes se aplicó una segunda encuesta de conocimiento sobre los temas de los laborato-rios, las preguntas que se evaluaron se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8. Preguntas de la evaluación

Preguntas	Tipo de Respuestas	Escala
A. ¿Para qué nos sirve la realización de pruebas de funcionamiento y guías de laboratorio en el proyecto?		X
B. ¿Qué se recomienda hacer para optimizar las conexiones según la presentación del tema de titulación?		X
C. ¿Se debe sobrepasar los consumos de corriente y voltaje que se especifica en la hoja de datos técnicos?	Si-No	
D. ¿Puede adoptar un rango infinito de valores?		X
E. Es afirmativa la siguiente frase: "Arduino es una plataforma de hardware y software libre, por lo que es posible obtener su esquema electrónico y su diseño"	Verdadero-Falso	
F. ¿Cuál es el cerebro principal de Arduino, que permite el funcionamiento del mismo?		X
G. ¿Cuántos módulos tiene la plataforma modular de microcontroladores?		X
H. ¿Para qué sirve el conversor USB-SERIAL-CH340G?		X
I. ¿De cuántos bits es el microcontrolador ATMega328p del Arduino UNO?		X
J. ¿Con qué Voltaje trabaja el conversor USB-SERIAL-CH340G?		X

Una vez evaluados los estudiantes, se realizó un análisis de las respuestas, que se presenta en la Fig. 9.

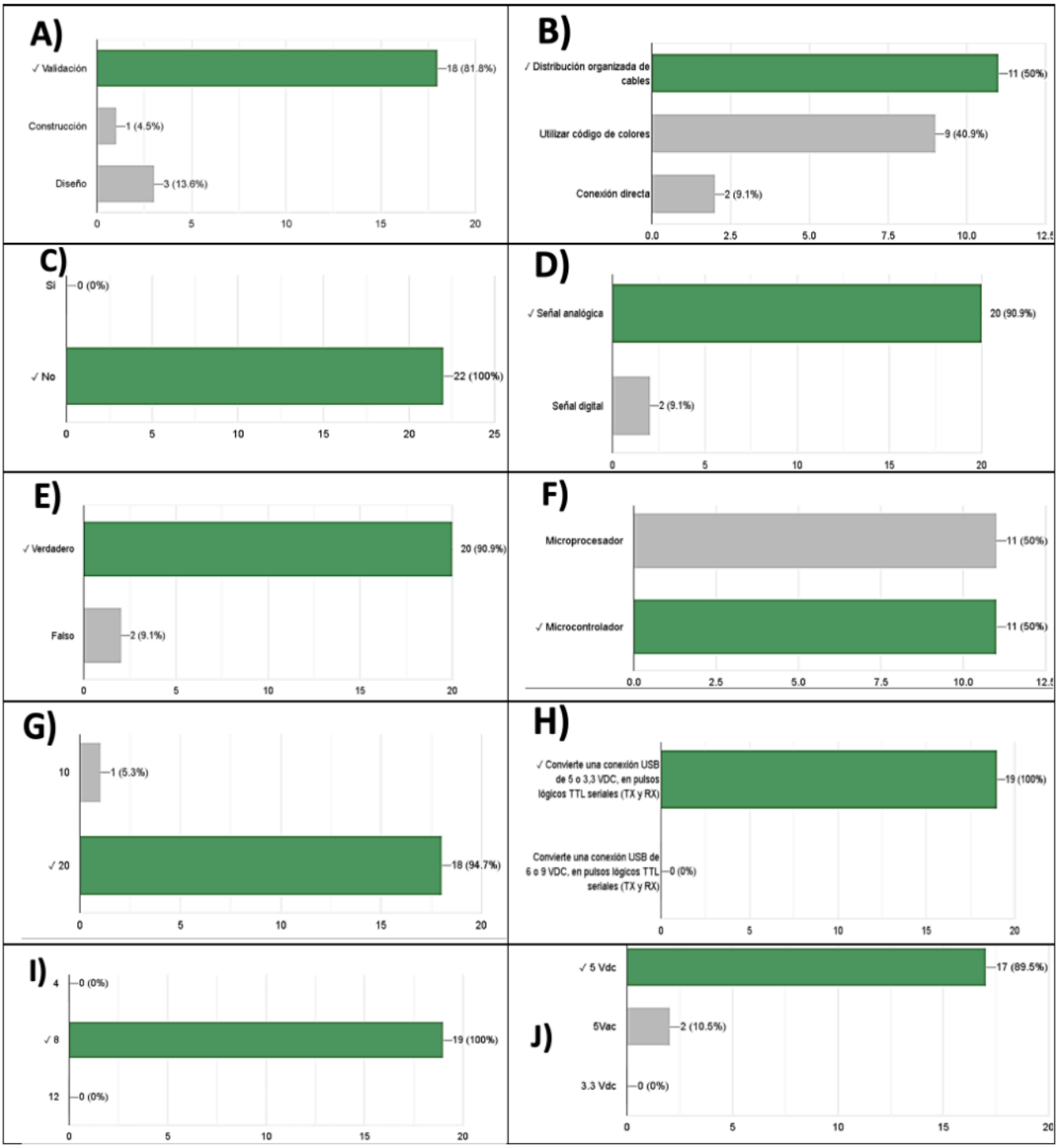


Fig. 9. Resultados obtenidos de la evaluación

Interpretación de Respuestas

- Pregunta A: La mayoría de los estudiantes comprendió la importancia de la validación, aunque un 18.1% mostró confusión, indicando la necesidad de refuerzo.
- Pregunta B: Los estudiantes están divididos en su comprensión sobre optimización de conexiones, sugiriendo la necesidad de enfatizar mejores prácticas en clases futuras.

- Pregunta C: Todos respondieron correctamente sobre límites de corriente y voltaje.
- Pregunta D: La mayoría identificó el concepto de señal analógica, pero un pequeño porcentaje podría beneficiarse de una revisión adicional.
- Pregunta E: La mayoría entiende la plataforma Arduino, aunque algunos requieren más información sobre hardware y software.
- Pregunta F: Existe confusión entre microprocesadores y microcontrolado-res, lo que indica una oportunidad de aclaración.
- Pregunta G: La mayoría comprendió la cantidad de módulos en la plata-forma.
- Pregunta H: Todos entendieron el propósito del conversor USB-SERIAL-CH340G.
- Pregunta I: Comprensión total del microcontrolador ATmega328p.
- Pregunta J: La mayoría identificó correctamente el voltaje de operación, aunque algunos necesitan más claridad.

Resumen de Efectividad en el aprendizaje

Promedio de respuestas correctas: Para evaluar la efectividad general, podemos calcular el promedio de respuestas correctas en las preguntas. La mayoría de las preguntas tienen un alto porcentaje de respuestas correctas, lo que indica un buen nivel de retención de conocimiento.

Consenso total en preguntas clave: Las preguntas C, H, e I obtuvieron un 100% de respuestas correctas. Demuestra una efectividad del 100% en esos temas específicos.

Áreas de mejora: Las preguntas B y F, con un 50% de respuestas correctas cada una son áreas que podrían beneficiarse de una revisión más profunda. Esto sugiere que los temas de organización de cableado y la diferencia entre microprocesador y microcontrolador requieren una mayor aclaración en la enseñanza.

El análisis cuantitativo detallado demuestra que, la plataforma es efectiva en la mayoría de los temas evaluados, con un alto nivel de respuestas correctas en todas las preguntas. Aunque hay áreas con menor precisión, en general, la plataforma cumple su propósito educativo. Los resultados demuestran que los estudiantes evidencian un mejor aprendizaje al usar la plataforma en las clases prácticas de laboratorio.

Conclusiones

- La plataforma de enseñanza desarrollada ofrece una contribución significativa en la educación de prácticas de laboratorio, facilitando una interacción eficiente y directa con tecnologías de código abierto, tanto de software como de hardware. Esta integración práctica permite a los estudiantes adquirir habilidades críticas en un entorno controlado y accesible.

- Diseñada como una plataforma modular para microcontroladores, cuenta con 20 módulos independientes, cada uno adaptado a los contenidos específicos del plan de estudios. Estos módulos permiten el aprendizaje en áreas clave como la automatización, robótica, Internet de las cosas (IoT) y sistemas embebidos, lo cual responde a una demanda creciente en el ámbito de la formación técnica.

- Aspectos como la portabilidad, la capacidad de comunicación entre módulos y un diseño compacto fueron considerados en el desarrollo de la plataforma, resultando una herramienta adaptable y fácil de manejar. Estas características, alineadas con las mejores prácticas en educación tecnológica, según estudios recientes, permiten que la plataforma se ajuste a distintos entornos educativos.

- El prototipo se construyó en placas de circuito impreso, optimizadas para facilitar el mantenimiento, la disposición de los componentes permite reemplazar piezas en caso de daño, asegurando una durabilidad superior. Asimismo, el uso de microcontroladores como el Arduino Due y la incorporación de elementos visuales, como la pantalla LCD 16x2 con I2C, facilitan la comprensión de conceptos complejos en electrónica y el papel de actuadores y sensores en sistemas integrados, abordando aspectos destacados en la literatura sobre educación en electrónica.

Referencias

[1] IPC, «IPC-A-610D SP Aceptabilidad de Ensambles Electrónicos,», 2017.

[2] Chia, K. S. (2022). An Integration of Open-Source Resources in Distance Teaching for Real-Time Embedded System Using Arduino Microcontroller and Freertos. International Journal of Integrated Engineering, 14(6), 194-205.

[3] F. Bertamini, K. Bordón y L. Roca, «Desafíos del comercio electrónico en los PMDER y posibles acciones a seguir,» 1 Junio 2021. [En línea]. Available: http://www2.aladi.org/biblioteca/Publicaciones/ALADI/Secretaria_General/SEC_di/2900/2962.pdf.

[4] Pereira, R., de Souza, C., Patino, D., & Lata, J. (2022). Platform for Distance Learning of Microcontrollers and Internet of Things. Ingenius, (28), 53-62.

[5] J. P. Vásquez Lomas, «PLACA ENTRENADORA DE MICROCONTROLADORES, PARA LABORATORIOS DE SISTEMAS EMBEBIDOS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE,» 2022.

[6] Arduino, «Esquemático Arduino (TM) UNO Rev3,» 2020. [En línea]. Avai-lable: https://content.arduino.cc/assets/UNO-TH_Rev3e_sch.pdf. [Último acceso: 1 feb 2020].

[7] UTN, «Portafolio Estudiantil-Silabo-Microprocesadores y Sistemas Embebi-dos,» 2021. [En línea]. Available: https://cloud2.utn.edu.ec/ords/f?p=109:5:14828389905593:::::.

[8] Nayak, A., Hiremath, N., Garagad, V., & Chickerur, S. (2022, March). Teaching Microcontrollers-using Arduino as a Platform. In 2022 IEEE Global Engi-neering Education Conference (EDUCON) (pp. 941-945). IEEE.

[9] Betancur Chicué, V., & García-Valcárcel Muñoz-Repiso, A. M., «Caracterísi-cas del Diseño de Estrategias de microaprendizaje en escenarios educativos: revisión sistemática.,» RIED. Revista iberoamericana de educación a distan-cia., 2023.

[10] IPC, «IPC-A-610D SP Aceptabilidad de Ensambles Electrónicos,», 2017.

[11] Quinapaxi Cabrera, E. M., «Caracterización dieléctrica y de conductividad de un substrato FR4 utilizando resonadores circulares en tecnología microstrip para la Banda L.,» (Bache-lor's thesis, Quito: EPN, 2022.), 2022.

[12] Apriani, N. K., Doyan, A., Sridana, N., & Susilawati, S., « The validity of Physical Learning Device Based on Discovery Learning Model Assisted by Virtual Labora-tory,» 2020. [En línea]. Available: https://scite.ai/reports/10.29303/jppipa.v6i2.413.

[13] Sulawanti, E. V., Ramdani, A., & Artayasa, P., «The Validity of Blended Learning-Based Laboratory Inquiry Learning Tools,» 2021. [En línea]. Avai-lable: https://scite.ai/reports/10.33394/j-ps.v9i1.3965.

[14] Tuček, D., Koprda, Š., Magdin, M., Balogh, Z., & Reichel, J. (2020, November). Usage of the Arduino and other embedded systems in sec-ondary vocational education in Slovakia. In 2020 18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA) (pp. 712-717). IEEE.


EDITORIAL
UTN
IBARRA - ECUADOR


latindex


Google Scholar


Crossref


RERCIE
Red de Editores y Revistas Científicas Ecuatorianas


MIAR
Matriz de Información para el
Análisis de Revistas


ORCID


BY NC ND