RILCO

VOL. 8
NÚM. 84

OCTUBRE
2026

DESARROLLO SUSTENTABLE, NEGOCIOS, EMPRENDIMIENTO Y EDUCACIÓN



ISSN:
2695-6098

@ Editorial: Servicios Académicos Intercontinentales S.L. B-93417426, Málaga, España.

@ Los autores de las colaboraciones son responsables de los contenidos expresados en los mismos.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Comité editorial

Director Ejecutivo: Dr. Julio Alvarez Botello, RILCO S.C., Méx.
Director Editorial: Dra. Eva Martha Chaparro Salinas, RILCO S.C., Méx.
Editor responsable: Dr. César Enrique Estrada Gutiérrez, RILCO S.C., Méx.
Editores Ejecutivos: Dra. María de la Luz Sánchez Paz, RILCO S.C., Méx.
Dra. María del Carmen Hernández Silva, RILCO S.C., Méx.
Dr. Juan Alberto Ruiz Tapia, RILCO S.C., Méx.

Comité Científico

Miembros ajenos a la entidad editora internacionales
Dr. Carlos José Oliveira Silva Rodrigues Universidad de Aveiro, Portugal
Dra. Ana Isabel Pires Beato Alves de Melo Universidad de Aveiro, Portugal
Dr. Gonçalo Alves de Sousa Santinha Universidad de Aveiro, Portugal
Dra. Marisol Pérez Campaña Universidad de Holguín, Cuba
Dra. Aniuska Ortiz Pérez Universidad de Holguín, Cuba
Dr. Reynaldo Velázquez Saldívar Universidad de Holguín, Cuba
Dra. María Rodríguez Gámez Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Dra. Sebastiana del Monserrate Ruiz C. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Dr. Norberto Pelegrín Entenza Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Dr. Ericé Bezerra Correia FACHUCA, Brasil
Dr. Emanuel Leite Universidade de Pernambuco, Brasil
Dra. Simone FerreiraTeixeira Universidade de Pernambuco, Brasil
Dr. Emmanuel Sampaio UNIVERSO, Brasil
Dr. Ademar Vieira Santos UFAM, Brasil
Dr. Lázaro Rodríguez Ariza Universidad de Granada, España
Dra. María Antonia Ruiz Moreno Universidad de Granada, España
Dra. María Carmen Haro Domínguez Universidad de Granada, España
Dra. Dainelis Cabezas Pullés Universidad de Granada, España
Dra. Jenny María Ruiz Jiménez Universidad de Granada, España
Dra. Virginia Fernández Pérez Universidad de Granada, España
Dra. Justa Pastora Amador Ruiz Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Leon
Mtro. Francisco Valladares Rivas Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, Nicaragua
Dra. Ana de Lourdes Torralba Velázquez Universidad de Holguín, Cuba
Dr. Fernando Gaspar Universidad Autónoma de Lisboa

Miembros ajenos a la entidad editora Mexicanos
Dra. María Concepción Ramírez Barón Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Blanca Rosa García Rivera Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Sonia Elizabeth Maldonado Radillo Universidad Autónoma de Baja California
Dra. María de los Ángeles Cervantes R. Universidad de Occidente, México
Dr. Evaristo Galeana Figueroa Univ Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dra. Irma Cristina Espitia Moreno Univ Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dra. María Trinidad Álvarez Medina Instituto Tecnológico de Sonora, México
Dra. Olivia Jiménez Diez Universidad Autónoma de Yucatán
Dra. Leonor Elena López Canto Universidad Autónoma de Yucatán
Dra. Ruth Noemí Ojeda López Universidad Autónoma de Yucatán
Dra. Mónica Fernanda Aranibar Gutiérrez Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Heleodoro Sotelo Sánchez Universidad de Occidente, México
Dra. Dora Águilasocho Montoya Univ Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dr. Fernando Ávila Carreón Univ Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dr. Teodoro Rafael Wendlandt Amezaga Instituto Tecnológico de Sonora, México
Dr. Marco Alberto Núñez Ramírez Instituto Tecnológico de Sonora, México
Dra. Jennifer Mul Encalada Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Luis Alfredo Gallardo Millán Univ Politécnica del Mar y la Sierra Sinaloa México
Dr. Julio Álvarez Botello Instituto Superior de Estudios Universitarios, México

Miembros participantes de la Entidad Editora
Dra. Eva Martha Chaparro Salinas Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. María del Carmen Hernández Silva Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. Juan Alberto Ruiz Tapia Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. María de la Luz Sánchez Paz Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Marcela Jaramillo Jaramillo Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Liliana Antonia Mendoza González Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Jenny Álvarez Botello Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Gandhi González Guerrero Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. María Elena Laura Ponce García Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. Daniel Cardoso Jiménez Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. Manuel Antonio Pérez Chávez Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Susana Ruiz Valdez Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Guadalupe González García Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. Jorge Loza Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. Oliveiro Cruz Mejía Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. Noé Gaspar Sánchez Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Verónica Sendejas Santín Universidad Autónoma del Estado de México

RILCO
Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación
ISSN: 2695-6098

TABLA DE CONTENIDO

Calidad y mejora continua en servicios digitales mediante una página web. 01
Aldo Gamaliel Reyes Rodriguez, Laura Cecilia Méndez Guevara.

Cuando cuidarse es también aprender: riesgo de contagio y protección de estudiantes y residentes en los hospitales. 14
Luisa Fernanda Zapata Álvarez, Iván Uriel Reyes Hilpas, Jenny Álvarez Botello.

Redes computacionales empresariales para la interconectividad y mejora en la calidad del servicio. 29
Yael Antonio Reyes Hernandez, Laura Cecilia Méndez Guevara.

Transformación y competitividad en PYMES tradicionales: gestión organizacional y marketing para el desarrollo sostenible local. 44
Linda Aurora Camacho González, Midiam Mariana Maldonado Martínez, Er Navas Maldonado.

Fumigador UAV (vehículo aéreo no tripulado) para 1 hectárea. 63
Armando Cuéllar Orozco, Patricia Cortés Hernández.

RILCO
Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación
ISSN: 2695-6098

TABLA DE CONTENIDO

Consumo de cafeína anhidra y soluble y su relación con el rendimiento cardiovascular en personas sedentarias. 78
Denise Olvera Mandujano, Alejandra Karina Pérez Jaimes, César Uziel Estrada Reyes.

Gestión semántica e interoperabilidad de datos heterogéneos en Unidades de Cuidados Intensivos. 90
Ricardo Felipe Acosta Medina, Leider Inocencio Saraiba Nuñez, Maira Rosario Moreno Pino.

Gestión de portadores energéticos mediante agentes inteligentes en empresas de transporte turístico. 99
Arístides Torres Laboris, Leider Inocencio Saraiba Nuñez, Maira Rosario Moreno Pino.

Modelado inteligente y lógica difusa para optimizar el despacho eléctrico con energías híbridas. 108
Wilfrido Venzant Pérez, Leider Inocencio Saraiba Nuñez, Gabriel Hernández Ramírez.

Procedimiento para la desactivación y puesta en explotación de parques fotovoltaicos. 117
Dayelin Ávila Lores, Leider Inocencio Saraiba Núñez, Gabriel Hernández Ramírez.

Calidad y mejora continua en servicios digitales mediante una página web

Quality and continuous improvement in digital services through a website

Aldo Gamaliel Reyes Rodriguez
Universidad Autónoma del Estado de México
ORCID: 0009-0001-9688-9101
gamalielrodriguez207@gmail.com
Laura Cecilia Méndez Guevara
Universidad Autónoma del Estado de México
ORCID: 0000-0002-4190-7157
lcmendezg@uaemex.mx

RESUMEN

En la actualidad, la transformación digital se ha convertido en una herramienta fundamental para mejorar la calidad de los servicios y fortalecer la relación con los clientes. Este proyecto presenta el desarrollo de una página web para un taller mecánico, diseñada con el propósito de optimizar la atención al cliente mediante un enfoque de calidad y mejora continua dentro de la gestión del conocimiento. La plataforma integra diversas funciones como programación de citas en línea, galería de imágenes, catálogo de productos y servicios, así como información organizada sobre el taller y sus procesos de atención. La implementación de estas herramientas digitales permite agilizar la comunicación con los usuarios, reducir tiempos de espera y ofrecer un servicio más eficiente y accesible. Además, la página web facilita la administración de la información y el almacenamiento de datos relevantes, permitiendo que el conocimiento generado dentro del taller pueda organizarse, actualizarse y utilizarse para mejorar continuamente los procesos de servicio. El proyecto también toma como referencia principios de mejora continua y calidad, inspirados en modelos como el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), los cuales ayudan a evaluar constantemente el funcionamiento de la plataforma y detectar áreas de oportunidad. Gracias a esto, se busca incrementar la satisfacción del cliente y fortalecer la competitividad del negocio en un entorno cada vez más digital. En conclusión, la integración de tecnologías web en los servicios mecánicos no solo moderniza la atención al cliente, sino que también impulsa la gestión del conocimiento, la eficiencia operativa y la mejora continua, elementos esenciales para ofrecer servicios digitales de alta calidad.

Palabras clave: Mejora Continua, Gestión del Conocimiento, Servicios Digitales.

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

ABSTRACT

Nowadays, digital transformation has become a fundamental tool for improving service quality and strengthening customer relationships. This project presents the development of a website for an automotive repair workshop, designed with the purpose of optimizing customer service through a quality and continuous improvement approach within knowledge management. The platform integrates various functions such as online appointment scheduling, image galleries, product and service catalogs, as well as organized information about the workshop and its service processes. The implementation of these digital tools allows communication with customers to become faster and more efficient, reducing waiting times and providing a more accessible service experience. In addition, the website facilitates information management and the storage of relevant data, enabling the knowledge generated within the workshop to be organized, updated, and used to continuously improve service processes. The project also takes as reference continuous improvement and quality principles inspired by models such as the PDCA cycle (Plan, Do, Check, Act), which help constantly evaluate the platform's performance and identify areas for improvement. Through this approach, the project seeks to increase customer satisfaction and strengthen the business's competitiveness in an increasingly digital environment. In conclusion, the integration of web technologies into automotive services not only modernizes customer service, but also promotes knowledge management, operational efficiency, and continuous improvement, which are essential elements for providing high-quality digital services.

Keywords: Continuous Improvement, Knowledge Management, Digital Services.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las tecnologías de la información representan un factor fundamental para el desarrollo y el crecimiento empresarial. La presencia digital permite a las organizaciones difundir sus productos y servicios, optimizar la comunicación con los clientes y ampliar su alcance. En este contexto, las páginas web se consolidan como herramientas tecnológicas que facilitan el acceso a la información y abren nuevos canales de comunicación con los usuarios.

El Taller Mecánico "El Gordo", ubicado en Santa María Coatlán, Teotihuacán, Estado de México, ofrece servicios de mantenimiento y reparación de vehículos. El análisis realizado identificó la ausencia de una plataforma web propia que organice y presente información sobre los servicios, la ubicación, los medios de contacto y las características del establecimiento. Esta carencia limita la difusión del negocio y dificulta el acceso rápido y fácil a la información tanto para clientes actuales como para potenciales. La problemática cobra relevancia debido al incremento del uso de Internet por parte de los usuarios para buscar información sobre productos y servicios, como señala Riquelme

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

(2025). Por lo tanto, la ausencia de presencia digital representa una desventaja competitiva para los negocios que buscan ampliar su alcance y fortalecer la comunicación con sus clientes. En el caso del taller, la falta de una página web limita la presentación organizada de sus servicios y la creación de un canal digital de comunicación con los usuarios.

El objetivo de la presente investigación es desarrollar una página web para el Taller Mecánico "El Gordo", con el propósito de mejorar la difusión de sus servicios y facilitar la comunicación con sus clientes. La plataforma integrará información general del taller, un catálogo de servicios, datos de contacto, imágenes y un espacio destinado a la recepción de quejas y sugerencias de los usuarios.

La presente investigación se justifica desde una perspectiva tecnológica, empresarial, social y académica.

Desde la perspectiva tecnológica, el proyecto posibilita la aplicación de conocimientos en desarrollo web, diseño de interfaces, programación y el uso de herramientas como Visual Studio Code, XAMPP y Bootstrap. La implementación de estas tecnologías permitirá desarrollar una solución aplicable a una problemática real.

Desde una perspectiva empresarial, la página web proporcionará al Taller Mecánico "El Gordo" un espacio digital propio para promocionar sus servicios y facilitar el acceso de los usuarios a información relevante. La plataforma permitirá concentrar en un solo sitio información sobre los servicios, medios de contacto y otros datos importantes del negocio.

Desde la perspectiva social, el proyecto facilitará que los clientes actuales y potenciales consulten información sobre el taller sin necesidad de acudir al establecimiento. Asimismo, el apartado de quejas y sugerencias establecerá un canal de comunicación para conocer las opiniones y necesidades de los usuarios.

Desde la perspectiva académica, la investigación integrará conocimientos de informática, desarrollo web, investigación y análisis de sistemas para diseñar una solución tecnológica funcional. Así, el proyecto representa la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la formación profesional.

La investigación aplicada constituye uno de los principales fundamentos metodológicos del proyecto, debido a que busca utilizar conocimientos científicos y tecnológicos para resolver una problemática específica. Según Tamayo y Tamayo (2003) señala que la investigación aplicada se orienta hacia la utilización de los conocimientos para atender problemas concretos. En este proyecto, dicho enfoque se refleja en el desarrollo de una página web destinada a resolver la necesidad de mejorar la presencia digital del taller.

Asimismo, se emplean elementos de la investigación exploratoria y descriptiva. La investigación exploratoria permite realizar un primer acercamiento a una problemática para identificar sus características y necesidades como menciona Stebbins (2001). En este caso, permitió analizar la

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

situación actual del Taller Mecánico "El Gordo" y conocer sus necesidades relacionadas con la promoción y comunicación con los clientes.

Por otra parte, la investigación descriptiva permite identificar y caracterizar las condiciones de un fenómeno o contexto determinado como indica Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). En el presente proyecto, este enfoque permitió determinar las necesidades del taller y las características que debía integrar la solución tecnológica.

Desde el punto de vista tecnológico, una página web puede considerarse un sistema de información, ya que permite organizar, procesar y presentar información a los usuarios según Bohórquez (2001) En el caso del Taller Mecánico "El Gordo", la página web permitirá integrar información sobre los servicios, datos de contacto, imágenes y medios de comunicación.

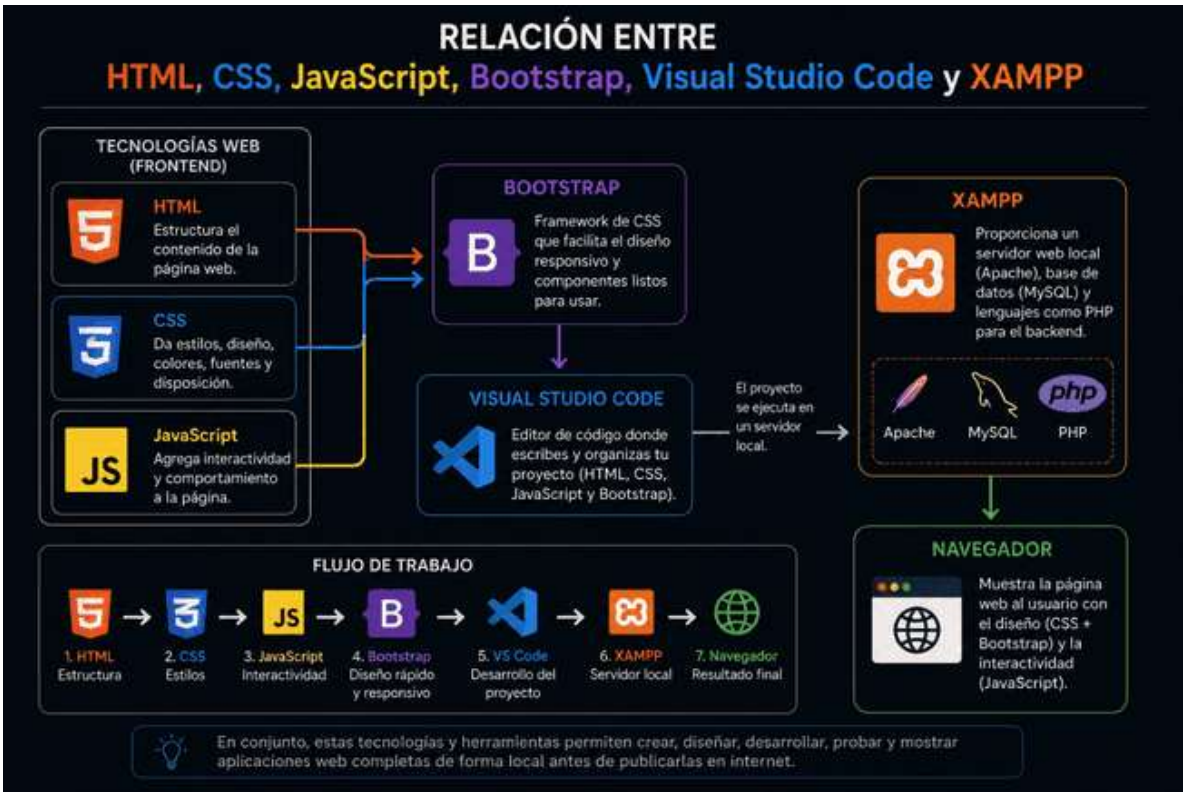
El desarrollo web se basa en diversas tecnologías. HTML permite estructurar los contenidos de la página, CSS permite definir su presentación visual y JavaScript puede utilizarse para incorporar funciones interactivas. PHP puede utilizarse para desarrollar funcionalidades del lado del servidor cuando se requiere el procesamiento dinámico de datos como indica el Manual de PHP (2023).

Para el desarrollo del proyecto se emplearán herramientas como Visual Studio Code, XAMPP y Bootstrap. Visual Studio Code será utilizado para la escritura y organización del código; XAMPP permitirá ejecutar el proyecto en un servidor local; y Bootstrap facilitará la creación de una interfaz adaptable a diferentes tamaños de pantalla.

Figura 1.

Tecnologías utilizadas en el desarrollo de la página web.

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



Descripción: La figura muestra la relación entre HTML, CSS, JavaScript, PHP, Bootstrap, Visual Studio Code y XAMPP dentro del proceso de desarrollo de la página web.

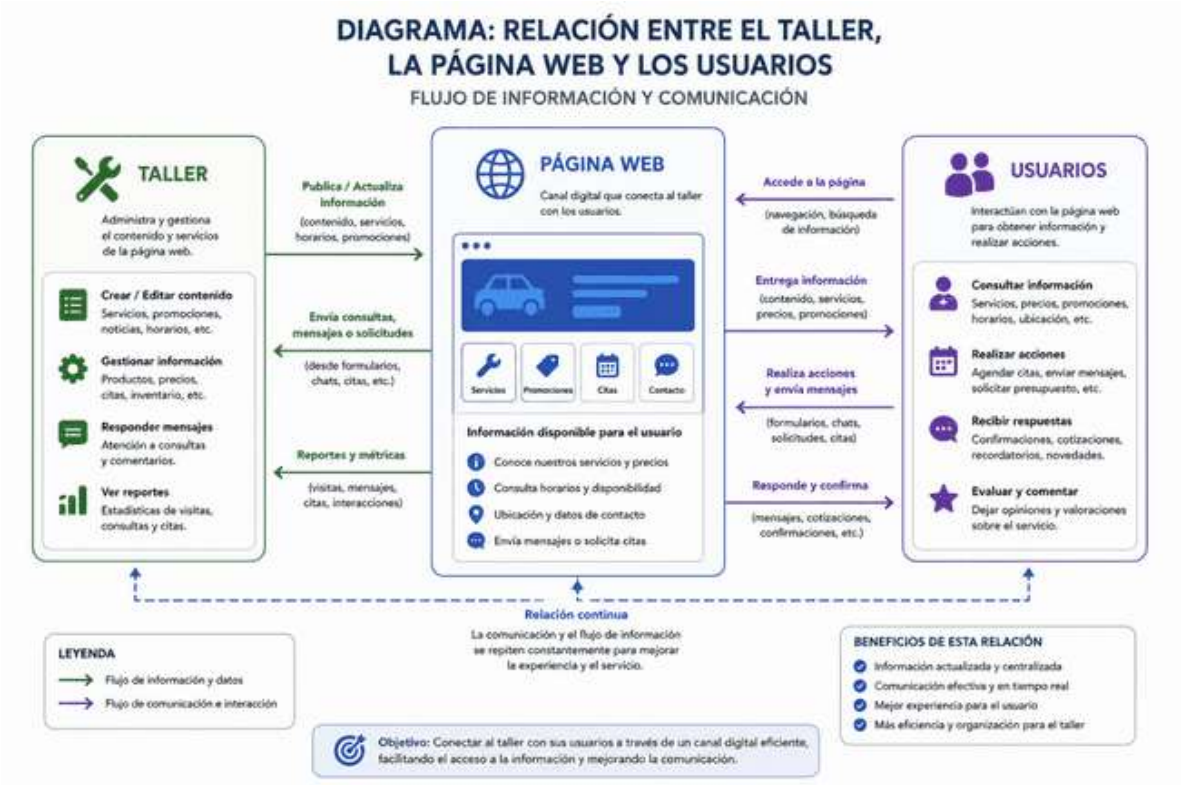
La usabilidad es un elemento fundamental en el proyecto como sostiene (Dueñas et al., (2016), pp. 1-16). Según Nielsen (1994), la usabilidad se refiere a la facilidad con la que los usuarios pueden aprender a utilizar un sistema y emplearlo para alcanzar sus objetivos. Por ello, la página web debe presentar una estructura clara, una navegación sencilla y una organización adecuada de la información.

Desde la perspectiva sistémica, el taller se analiza como una organización compuesta por elementos que interactúan entre sí (Equipos como sistemas vivos, 2023). Bertalanffy (1976) sostiene que un sistema está formado por elementos interrelacionados que colaboran para alcanzar objetivos específicos. En este sentido, la página web se integra como un componente tecnológico que vincula la información del negocio con las necesidades de los clientes.

Figura 2.

Sistema de información del Taller Mecánico “El Gordo”.

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



Descripción: El diagrama representa la relación entre el taller, la página web y los usuarios, mostrando el flujo de información y comunicación.

METODOLOGÍA

La investigación se fundamenta en un enfoque pragmático, orientado al desarrollo de una solución tecnológica aplicable a la problemática real identificada en el Taller Mecánico "El Gordo". El pragmatismo orienta la investigación hacia la obtención de soluciones prácticas y funcionales. Por lo tanto, el proyecto no se limitará al análisis de la falta de presencia digital, sino que desarrollará una página web para atender dicha necesidad.

Asimismo, se adoptará una perspectiva sistémica, considerando al taller como una organización integrada por diferentes elementos relacionados entre sí, como el propietario, el personal, los clientes, los servicios y los medios de comunicación. Desde esta perspectiva, la página web será considerada como un sistema de información que permitirá relacionar las necesidades del negocio con las necesidades de los usuarios.

La investigación será de tipo aplicada, debido a que utilizará conocimientos relacionados con la informática y el desarrollo web para resolver una problemática específica. De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2003), la investigación aplicada busca utilizar los conocimientos para atender problemas concretos.

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

También tendrá un componente exploratorio, debido a que se realizará un primer acercamiento a la situación actual del taller para identificar sus necesidades de comunicación y promoción. Stebbins (2001) señala que la investigación exploratoria permite obtener un conocimiento inicial sobre una problemática.

Además, será descriptiva, ya que se identificarán y describirán las características del taller, sus servicios, las necesidades de los clientes y los requerimientos de la página web. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), los estudios descriptivos permiten especificar las características de un fenómeno o contexto.

El enfoque de la investigación será mixto, debido a que se utilizarán técnicas cualitativas y cuantitativas. El enfoque cualitativo permitirá conocer las opiniones y necesidades del propietario y del personal del taller mediante la observación y la entrevista. El enfoque cuantitativo permitirá recopilar información de clientes y posibles usuarios mediante cuestionarios.

El diseño de la investigación será no experimental, ya que no se manipularán deliberadamente las variables de estudio. La situación del taller se observará en su contexto natural. Asimismo, será de corte transversal, debido a que la recopilación de información se realizará durante un periodo determinado según Sarasola (2024).

Los métodos utilizados serán los métodos documentales, inductivos y deductivos. El método documental permitirá consultar libros, artículos y documentación relacionados con la investigación y el desarrollo web. El método inductivo permitirá partir de observaciones y datos particulares para identificar necesidades generales. El método deductivo permitirá aplicar conocimientos generales sobre desarrollo web, usabilidad y sistemas de información a la problemática específica del taller tal como lo plantea Castellanos (2018).

La población estará conformada por el propietario del Taller Mecánico “El Gordo”, el personal relacionado con las actividades del establecimiento, los clientes actuales y los posibles clientes de Santa María Coatlán, Teotihuacán y zonas cercanas.

La muestra será seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando a participantes con relación directa con el taller y capaces de proporcionar información relevante para el proyecto. La muestra estará integrada por el propietario o el encargado, el personal relacionado con las actividades del negocio y un grupo de clientes frecuentes o potenciales.

Las técnicas de levantamiento de datos serán la observación directa, la entrevista y la encuesta. La observación permitirá analizar el funcionamiento del taller y la forma en que se proporciona información a los clientes. La entrevista será aplicada al propietario o encargado para conocer las necesidades del negocio. La encuesta será aplicada a clientes y posibles usuarios para identificar sus necesidades y expectativas respecto a la página web.

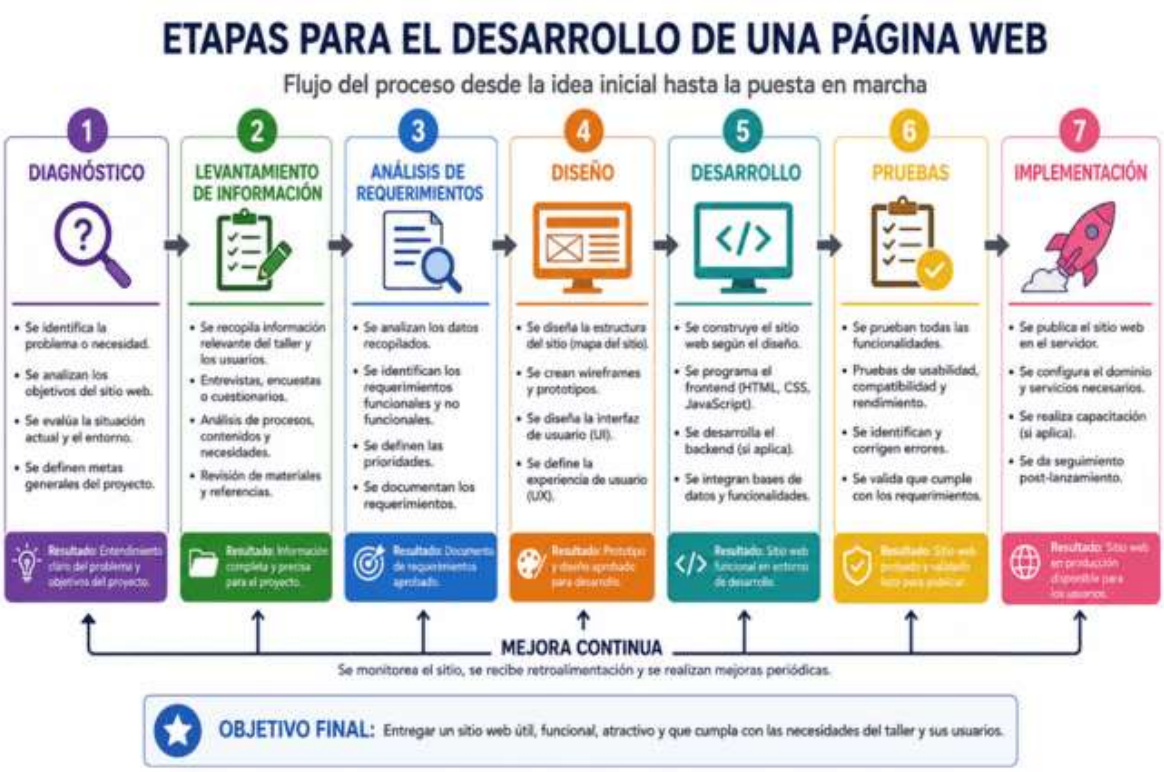
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Los instrumentos utilizados serán una guía de observación, un guion de entrevista y un cuestionario estructurado. La guía de observación permitirá registrar información sobre el funcionamiento del taller. El guion de entrevista permitirá recopilar información del propietario. El cuestionario permitirá obtener información de los usuarios.

La validación de los instrumentos se realizará mediante una revisión de contenido. Se verificará que las preguntas sean claras, coherentes y estén relacionadas con los objetivos del proyecto. Posteriormente, se realizará una aplicación piloto para identificar posibles problemas de comprensión y realizar los ajustes necesarios antes de la aplicación definitiva.

Figura 3.

Proceso metodológico del proyecto.



Descripción: El proceso representa las etapas de diagnóstico, levantamiento de información, análisis de requerimientos, diseño, desarrollo, pruebas e implementación de la página web.

Una vez recopilada la información, se analizarán los datos para identificar las necesidades del taller y establecer los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema. Entre las principales funcionalidades se considerarán la página de inicio, la sección de servicios, la información de contacto, la galería de imágenes y el apartado de quejas y sugerencias.

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

El desarrollo de la página web se realizará utilizando Visual Studio Code, XAMPP y Bootstrap. Durante el proceso se realizarán pruebas de funcionamiento, navegación y compatibilidad con diferentes dispositivos.

Figura 4.

Arquitectura general de la solución web.



Descripción: La figura muestra la interacción entre el usuario, el navegador web, la página desarrollada y el servidor local utilizado para las pruebas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del diagnóstico realizado en el Taller Mecánico "El Gordo", se identificó como principal problemática la falta de una plataforma digital propia para promocionar sus servicios y facilitar la comunicación con los clientes. Esta situación limita el alcance del negocio y dificulta que los usuarios consulten información de forma rápida y organizada.

El análisis permitió determinar que los clientes necesitan acceder a información básica, como los servicios disponibles, los datos de contacto, la ubicación y las imágenes del taller. También se identificó la necesidad de contar con un espacio de comunicación que permita recibir opiniones, quejas y sugerencias.

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

Como resultado del análisis, se definieron los principales requerimientos para la página web. La solución incluye una página principal informativa, una sección de servicios, información de contacto, una galería de imágenes y un apartado para quejas y sugerencias.

Figura 5.

Estructura de navegación de la página web.



Descripción: El diagrama representa la navegación principal del sistema y la relación entre las diferentes secciones de la página web.

El desarrollo de la solución se realizó mediante herramientas como Visual Studio Code, XAMPP y Bootstrap. Estas tecnologías permitieron crear y probar la página web en un entorno local y facilitaron la construcción de una interfaz adaptable a diferentes dispositivos.

Las pruebas realizadas permitieron verificar el funcionamiento de las secciones, los enlaces y los elementos de navegación. También se revisó la organización de la información y la facilidad de uso de la interfaz.

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda mantener actualizada la información del sitio, especialmente la relativa a los servicios, horarios y medios de contacto. La actualización constante

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

permitirá mantener la utilidad de la plataforma y evitar que los usuarios consulten información desactualizada.

Como propuesta de mejora, se recomienda incorporar en futuras versiones un sistema de citas en línea que permita a los clientes solicitar servicios seleccionando fechas y horarios disponibles. También se propone desarrollar un panel administrativo que permita modificar los servicios y actualizar la información sin necesidad de realizar cambios directamente en el código.

Otra posible mejora consiste en integrar notificaciones automáticas, pagos digitales y herramientas para analizar las visitas y el comportamiento de los usuarios. Estas funcionalidades permitirían ampliar las capacidades de la plataforma.

La discusión final permite establecer que el desarrollo de la página web constituye una solución tecnológica viable para mejorar la presencia digital del Taller Mecánico "El Gordo". Sin embargo, la efectividad de la plataforma dependerá de su mantenimiento, actualización y difusión.

Para dar continuidad a la investigación, se recomienda evaluar el impacto de la página web después de su implementación mediante indicadores como el número de visitas, consultas recibidas, solicitudes de servicios y satisfacción de los usuarios. El análisis de estos datos permitirá determinar si la solución cumple con sus objetivos y qué aspectos deben mejorarse.

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió identificar que la principal problemática del Taller Mecánico "El Gordo" era la falta de una plataforma digital que permitiera difundir sus servicios y facilitar la comunicación con los clientes. A partir del análisis realizado, se determinó que el desarrollo de una página web constituye una solución tecnológica viable para atender esta necesidad.

Respecto a la pregunta de investigación relacionada con la manera en que una página web puede mejorar la difusión de los servicios del taller, se concluye que una plataforma digital permite concentrar en un solo espacio información sobre los servicios, datos de contacto, ubicación e imágenes. Esto facilita el acceso de los usuarios a la información y amplía las posibilidades de difusión del negocio.

En relación con las funcionalidades que debe integrar la página web, se determinó que las principales son una página de inicio informativa, un catálogo de servicios, información de contacto, una galería de imágenes y un apartado de quejas y sugerencias. Estas funciones responden a las necesidades identificadas durante el diagnóstico.

Respecto a la viabilidad técnica del proyecto, se concluye que el desarrollo de la página web es factible debido a la disponibilidad de herramientas como Visual Studio Code, XAMPP y Bootstrap. Estas tecnologías permitieron desarrollar y probar una solución funcional y adaptable a diferentes dispositivos.

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

También se concluye que la página web puede mejorar la comunicación entre el taller y sus clientes, al proporcionar un canal digital para consultar información y enviar opiniones. Sin embargo, la creación del sitio no garantiza por sí sola un incremento inmediato de clientes, ya que su efectividad dependerá de la actualización del contenido, la difusión de la página y la atención de las solicitudes recibidas.

Finalmente, la investigación responde afirmativamente a la pregunta principal sobre la viabilidad de desarrollar una página web para mejorar la presencia digital del Taller Mecánico "El Gordo". El proyecto proporciona una solución tecnológica aplicable a las necesidades actuales del negocio y establece una base para futuras mejoras como citas en línea, notificaciones, pagos digitales y un panel administrativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Riquelme, R. (May 5, 2025). 100 millones de personas ya usan internet en México: Inegi. El Economista. https://www.eleconomista.com.mx/amp/tecnologia/100-millones-mexicanos-internet-mexico-inegi-20250506-757863.html

Tamayo y Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación científica (4.ª ed.). Limusa.

Stebbins, R. A. (2001). Exploratory research in the social sciences. SAGE Publications.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas. McGraw-Hill Education.

Bohórquez, C. A. (2001). Estudio de los sistemas manejadores web base de datos e implementación de un prototipo de un sistema de información basado en la web. Tesis. https://doi.org/10.5004/27076

(2023). Manual de PHP. DesarrolloWeb.com. https://desarrolloweb.com/manuales/manual-php.html

Dueñas, P. P., González, C. L. & Franco, J. J. (2016). La eficacia de la web corporativa en las pequeñas y medianas empresas: un análisis de la usabilidad web. Estudios sobre el Mensaje Periodístico 22(1), pp. 1-16. https://doi.org/10.5209/rev_ESMP.2016.v22.n1.52604

Nielsen, J. (1994). Usability engineering. Morgan Kaufmann.

(2023). Equipos como sistemas vivos. Compass. https://compassuy.org/encuentros-y-talleres/equipos-como-sistemas-vivos/

Bertalanffy, L. von. (1976). Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Fondo de Cultura Económica.

Sarasola, J. (2024). Diseño transversal (investigación transversal, estudio de corte transversal). Ikusmira. https://ikusmira.org/p/diseno-transversal-investigacion-transversal-estudio-de-corte-transversal/

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

Castellanos, B. J. (2018). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. Cuadernos de Contabilidad 18. https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi

Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (6.ª ed.). Editorial Episteme.

Baena Paz, G. (2017). Metodología de la investigación (3.ª ed.). Grupo Editorial Patria.

Bootstrap. (s. f.). Introduction. https://getbootstrap.com/docs/

PHP Documentation Group. (s. f.). PHP: Hypertext Preprocessor. PHP Manual. https://www.php.net/docs.php

Visual Studio Code. (s. f.). Documentation. https://code.visualstudio.com/docs

XAMPP. (s. f.). XAMPP Apache Friends. https://www.apachefriends.org/

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

Cuando cuidarse es también aprender: riesgo de contagio y protección de estudiantes y residentes en los hospitales

When taking care of oneself is also a learning process: risk of contagion and protection for students and residents in hospitals

Luisa Fernanda Zapata Álvarez
Estudiante de Medicina en la Universidad Anahuac
https://orcid.org/0009-0005-8629-2706
luisa.zapata@anahuac.mx
Iván Uriel Reyes Hilpas
Estudiante de Medicina en la Universidad Anahuac
Ivan.reyeshi@anahuac.mx
Dra. en C. Ed. Jenny Álvarez Botello
Docente_ Universidad Autónoma del Estado de México
https://orcid.org/0000-0001-5701-8349
jalvarezbo@uaemex.mx

RESUMEN

El personal de salud, incluidos estudiantes de pregrado y médicos residentes, enfrenta un riesgo elevado de adquirir infecciones asociadas a la atención sanitaria, especialmente en entornos con alta carga de pacientes y recursos limitados. La OMS estima que programas sólidos de prevención y control de infecciones pueden reducir hasta en 70% las infecciones relacionadas con la atención, pero en muchos hospitales estas medidas se aplican de forma parcial o inconsistente. Las principales causas incluyen falta de capacitación continua, sobrecarga de trabajo, carencia de insumos básicos, cultura organizacional débil en seguridad del paciente y supervisión insuficiente de las prácticas de alumnos y residentes. Para estudiantes de ciencias de la salud, diversos estudios reportan tasas de accidentes con exposición a sangre y fluidos que oscilan entre 20% y 40% durante su formación, muchas veces por incumplimiento en el uso de equipo de protección personal o técnica inadecuada en procedimientos invasivos. Las medidas clave recomendadas por OMS y ONU incluyen higiene de manos estricta, vacunación adecuada, uso correcto de equipo de protección personal, protocolos claros frente a exposiciones ocupacionales y una cultura de seguridad que permita reportar incidentes sin culpa; por ultimo es importante recalcar que proteger al personal en formación no solo

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

reduce el riesgo de contagio, sino que fortalece la calidad y humanidad del cuidado brindado a los pacientes.

Palabras clave: Infecciones hospitalarias; Personal sanitario; Estudiantes de medicina; Seguridad del paciente; Prevención de enfermedades.

ABSTRACT

Health personnel, including undergraduate students and medical residents, face a high risk of acquiring healthcare-associated infections, especially in settings with a high patient load and limited resources. The WHO estimates that strong infection prevention and control programs can reduce healthcare-associated infections by up to 70%, but in many hospitals these measures are applied only partially or inconsistently. The main causes include lack of ongoing training, work overload, shortage of basic supplies, a weak organizational culture of patient safety, and insufficient supervision of students' and residents' practices. For health sciences students, various studies report rates of accidents with exposure to blood and body fluids ranging from 20% to 40% during their training, often due to non-compliance with personal protective equipment use or inadequate technique in invasive procedures. Key measures recommended by WHO and the UN include strict hand hygiene, appropriate vaccination, correct use of personal protective equipment, clear protocols for occupational exposures, and a safety culture that allows incident reporting without blame. Finally, it is important to emphasize that protecting personnel in training not only reduces the risk of infection, but also strengthens the quality and humanity of the care provided to patients.

Keywords: Hospital infections; Health personnel; Medical students; Patient safety; Disease prevention.

INTRODUCCIÓN

El personal de salud en formación, en particular estudiantes de medicina, internos y residentes, aprende a cuidar a otros en entornos donde el contacto estrecho y continuo con pacientes los expone de manera desproporcionada a agentes infecciosos. La evidencia sobre exposiciones ocupacionales a sangre y otros fluidos muestra que una proporción importante de estudiantes y profesionales jóvenes ha tenido al menos un accidente con agujas o material punzocortante durante sus primeras etapas de entrenamiento, especialmente en servicios de urgencias y terapia intensiva (Ahmed et al., 2023). Estos eventos no son meras "anécdotas de guardia": detrás de cada punción con aguja hueca contaminada existe la posibilidad real de infección por virus como hepatitis B, hepatitis C o VIH, y los metaanálisis recientes indican que el riesgo acumulado aumenta cuando las exposiciones se repiten y cuando no se siguen correctamente los protocolos de notificación y manejo posterior (Gebremeskel et al., 2022).

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

A este escenario se suma el riesgo de infecciones transmitidas por vía aérea, entre ellas tuberculosis y covid-19, que han marcado de forma especial la experiencia de muchos trabajadores de la salud. Las revisiones sistemáticas sobre infección tuberculosa latente señalan que el personal sanitario presenta prevalencias significativamente mayores que la población general, con factores de riesgo ligados al tiempo de exposición en unidades de alta carga de pacientes y a la falta de ventilación adecuada (Belay et al., 2024). En el caso de SARS-CoV-2, estudios en México han documentado miles de infecciones y una carga relevante de mortalidad entre trabajadores de la salud, evidenciando el impacto de las jornadas extenuantes, la disponibilidad intermitente de equipo de protección personal y la variabilidad en la capacitación para su uso (Macías et al., 2021).

En conjunto, estos hallazgos sitúan a los estudiantes e internos como un grupo doblemente vulnerable: por su menor experiencia técnica y por su presencia constante en áreas de alto riesgo, muchas veces bajo supervisión limitada y en contextos donde la protección estructural no siempre es óptima (Zhang et al., 2023). Las infecciones ocupacionales en este grupo no solo implican días perdidos de formación, sino también la posibilidad de vivir con una enfermedad crónica, enfrentar estigmas y, en situaciones extremas, atravesar desenlaces fatales. Por ello, las estrategias de prevención (vacunación sistemática, capacitación continua en bioseguridad, disponibilidad real de equipo de protección, ventilación adecuada de las áreas clínicas y una cultura de seguridad que favorezca el reporte sin culpa y la respuesta rápida ante exposiciones) deben entenderse como parte esencial y no negociable de la formación clínica en salud. Proteger a quienes están aprendiendo a cuidar es, en última instancia, una manera concreta de construir un sistema sanitario más humano, justo y seguro para las generaciones futuras de pacientes.

El objetivo de esta investigacion es analizar la frecuencia y características de los accidentes biológicos y de las infecciones respiratorias en estudiantes de medicina, internos, médicos en servicio social y residentes que realizan rotaciones hospitalarias en México, mediante una encuesta impartida de manera virtual con el fin de proponer estrategias que fortalezcan la protección y la seguridad del personal en formación.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo y transversal en personal médico en formación, integrado por estudiantes de medicina de pregrado, internos, médicos en servicio social y residentes de diversas especialidades que en el momento del estudio se encontraban en rotaciones hospitalarias con contacto directo con pacientes. La recolección de la información se llevó a cabo entre marzo y julio de 2026 mediante un cuestionario autoadministrado aplicado en línea.

El instrumento contó con cuatro indicadores principales agrupados en 16 ítems de opción múltiple: accidentes biológicos por exposición a sangre y otros fluidos, disponibilidad y uso de equipo de

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

protección personal, percepción de la calidad de los procesos preventivos institucionales e infecciones respiratorias asociadas a la actividad clínica. La encuesta fue respondida por 38 participantes, después de excluir registros de prueba o filas de resumen, lo que constituyó la muestra final analizada.

Las variables contempladas incluyeron nivel de formación (estudiante de medicina, interno de pregrado, médico en servicio social, residente), año de residencia, tipo de hospital (público o privado), ocurrencia de accidentes ocupacionales, número de eventos en el último año, tipo de exposición (punción, corte, salpicadura, contacto con piel lesionada), razones de no reporte, frecuencia de disponibilidad de equipo de protección personal, presencia de infección respiratoria ligada a la práctica clínica y tipo de apoyo recibido por parte del hospital.

El análisis estadístico se realizó primero mediante estadística descriptiva (frecuencias y porcentajes) para caracterizar la muestra y la distribución de los eventos. Posteriormente se aplicaron pruebas de hipótesis (chi-cuadrado, prueba exacta de Fisher y prueba z de proporciones) para explorar diferencias entre grupos, así como medidas de asociación (odds ratio, V de Cramer y coeficiente Phi) y un modelo de regresión logística binaria para estimar la fuerza de la relación entre nivel de formación y ocurrencia de accidentes, ajustando por otras variables relevantes.

DESARROLLO

Características de la población estudiada

La mayoría de los participantes se encontraba en etapas avanzadas de formación clínica, con predominio de residentes y personas en internado de pregrado. Aproximadamente tres de cada cinco respondientes eran residentes, mientras que el resto se distribuía entre internos, estudiantes de medicina y un pequeño grupo de médicos en servicio social. La mayor parte realizaba sus actividades en hospitales públicos, lo que refleja la concentración de la formación clínica en el sector público y la exposición a entornos de alta demanda asistencial y recursos frecuentemente limitados.

Accidentes biológicos y tipo de exposición

La prevalencia global de accidentes ocupacionales con riesgo biológico en el último año fue de 39.5%, lo que significa que casi cuatro de cada diez participantes reportaron al menos un evento. Al desglosar por nivel de formación se observaron diferencias importantes: los internos de pregrado presentaron la frecuencia más alta de accidentes, seguidos por estudiantes de medicina y, en menor proporción, por residentes.

Entre quienes reportaron accidentes, el número de eventos en el último año osciló entre uno y más de cinco, con una media estimada de 2.7 accidentes por persona. El mecanismo de exposición predominante fue la punción con aguja hueca, presente en casi tres de cada cuatro accidentados, seguida de salpicaduras hacia ojos, nariz o boca y contacto con piel lesionada. Estos datos son coherentes con lo descrito en estudios multicéntricos sobre exposición a sangre y fluidos, donde las

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

lesiones con agujas y las salpicaduras a mucosas se identifican como los eventos más frecuentes entre estudiantes y enfermeras que realizan procedimientos invasivos (Gebremeskel et al., 2022).

Subreporte de accidentes y razones declaradas

Un hallazgo especialmente preocupante fue el subreporte casi generalizado de los eventos: de las personas que sufrieron accidentes, solo una registró el incidente de manera formal en los sistemas institucionales. En otras palabras, más de nueve de cada diez accidentes quedaron fuera de los circuitos oficiales de notificación y seguimiento.

Cuando se preguntó por las razones para no reportar, los motivos más frecuentes fueron considerar que el riesgo era bajo, desconocer el protocolo de notificación, temer repercusiones o regaños, y la falta de tiempo. En conjunto, estas razones componen una tríada de barreras modificables: percepción errónea del riesgo, falta de información y cultura institucional basada en la culpa. Este patrón coincide con lo que señalan revisiones sobre exposición ocupacional en personal sanitario, donde el miedo a la estigmatización y el desconocimiento de los procedimientos pos-exposición contribuyen a que muchos eventos permanezcan invisibles para las instituciones (Gebremeskel et al., 2022).

Disponibilidad de equipo de protección personal

La disponibilidad de equipo de protección personal (EPP) fue descrita como insuficiente por una parte importante de los encuestados. Aunque alrededor de la mitad manifestó contar siempre o casi siempre con EPP adecuado, cuatro de cada diez indicaron que solo a veces, casi nunca o nunca disponían del equipo necesario cuando lo requerían.

Esta falta de disponibilidad se volvió más evidente en residentes de años superiores, en quienes se observó una tendencia significativa a reportar menos acceso a EPP suficiente. Este hallazgo sugiere que, en la práctica cotidiana, quienes tienen más responsabilidad asistencial pueden enfrentar más obstáculos para protegerse, ya sea por falta de insumos, por presión de tiempo o por normalización del riesgo en la cultura del servicio (Ahmed et al., 2023).

Infecciones respiratorias y apoyo institucional

En relación con infecciones respiratorias asociadas a la práctica clínica, 42.1% de la muestra refirió haber padecido en los últimos doce meses un cuadro que atribuía a su actividad en el hospital, incluyendo casos de COVID-19, influenza o tuberculosis sospechada.

Entre quienes se infectaron, la experiencia con el apoyo institucional fue heterogénea. Una minoría reportó haber recibido atención completa y oportuna, mientras que una proporción significativa señaló que el apoyo fue limitado o inexistente. Más de un tercio de los participantes que refirieron infección respiratoria no tuvieron ningún tipo de seguimiento, pruebas ni rastreo de contactos por parte de su hospital. Este patrón se alinea con lo descrito en cohortes de trabajadores de la salud durante la pandemia, donde no siempre se ofrecieron pruebas diagnósticas o licencias suficientes,

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

pese a que se trataba de personas con alta exposición y rol clave en la respuesta sanitaria (Macías et al., 2021).

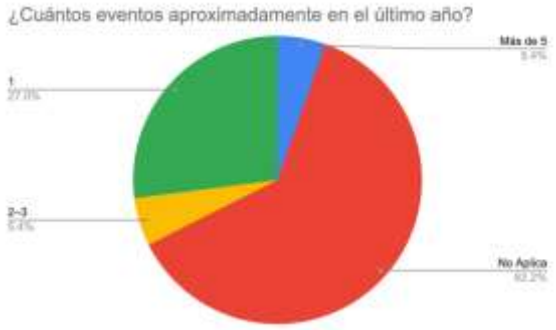
Relación entre percepción de calidad y disponibilidad de EPP

Un aspecto llamativo del análisis fue la relación paradójica entre la calidad percibida de los procesos preventivos y la disponibilidad de EPP. Se encontró una correlación negativa moderada y significativa: en los hospitales donde los participantes valoraban con mejor calificación la calidad de los procesos, reportaban al mismo tiempo menor disponibilidad de equipo de protección personal.

Esta paradoja sugiere que la percepción de calidad puede estar influida por factores distintos a la dotación de insumos, como el trato interpersonal, la organización general del servicio o el prestigio institucional. Al mismo tiempo, muestra que los indicadores subjetivos de calidad no siempre capturan elementos clave de la seguridad ocupacional, lo que refuerza la necesidad de combinar percepciones con mediciones objetivas de recursos y cumplimiento de protocolos.

De acuerdo al análisis anteriormente realizado, se presentan algunas graficas con datos interesantes para la presente investigación:

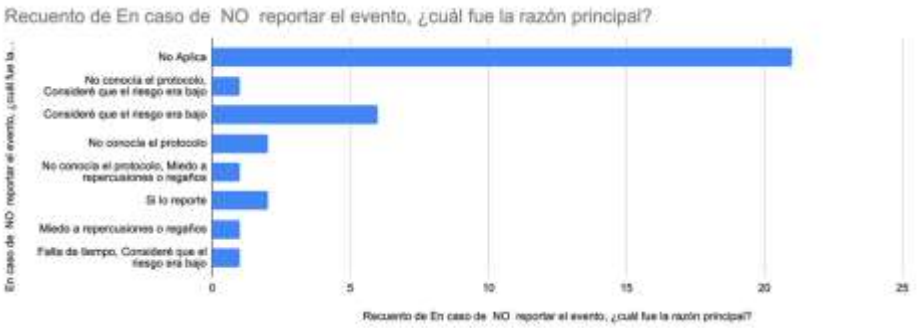
Punzocortantes, sangre, mucosas y piel.



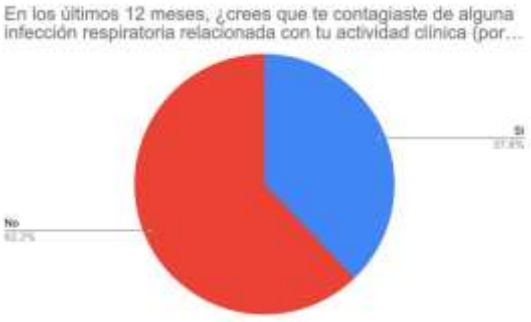


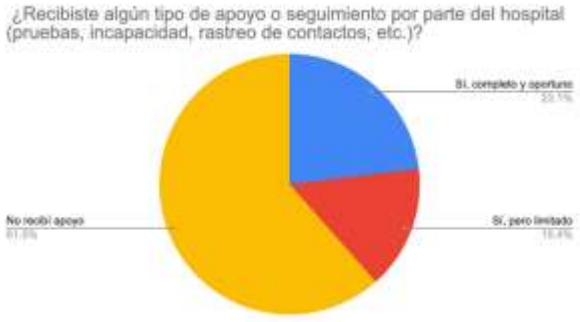


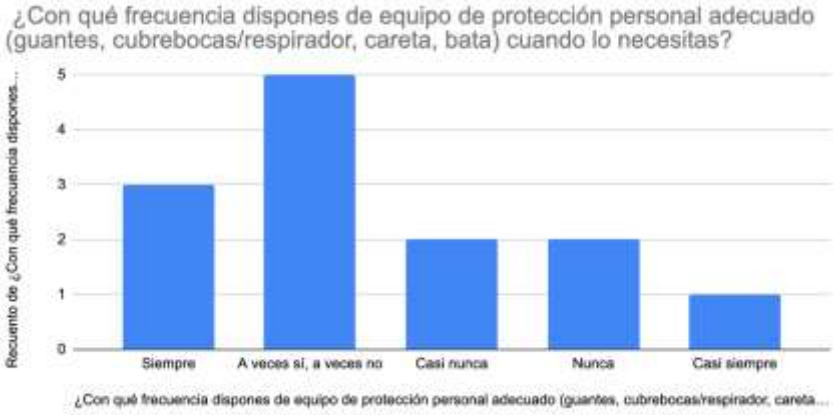
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0



Infecciones respiratorias







Presentación de resultados del programa estadistico SSPS

Variables analizadas

Variable	Tipo	Escala / Categorías
Nivel de formación	Categórica nominal	Residente, Internado, Estudiante, Médico SS
Año de residencia	Categórica ordinal	R1, R2, R3, R4
Semestre cursado	Categórica ordinal	6.º, 7.º
Accidente ocupacional	Categórica binaria	Sí / No
Número de eventos	Categórica ordinal	1, 2–3, >5
Tipo de exposición	Categórica múltiple	Punción, Corte, Salpicadura, Contacto
Razón de no reporte	Categórica nominal	Riesgo bajo, Desconocía protocolo, Miedo, Falta de tiempo
Tipo de hospital	Categórica binaria	Público / Privado
Calidad de procesos preventivos	Categórica ordinal	Excelente – Buena – Regular – Mala – Muy mala
Disponibilidad de EPP	Categórica ordinal	Siempre – Casi siempre – A veces – Casi nunca – Nunca
Infección respiratoria	Categórica binaria	Sí / No
Apoyo hospitalario	Categórica nominal	Completo, Limitado, No recibió, No aplica

Pruebas estadísticas aplicadas

- Estadística descriptiva: frecuencias y porcentajes.
- Pruebas de hipótesis: Chi-cuadrado, prueba exacta de Fisher, prueba z de proporciones.
- Medidas de asociación: Odds Ratio (OR), V de Cramer, coeficiente Phi.
- Modelo multivariable: Regresión logística binaria.
- Software: Python con librerías pandas, numpy, scipy, statsmodels.

Características generales de la muestra

Variable	Categoría	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)

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

Nivel de formación	Residente	22	57.9 %
	Internado de pregrado	6	15.8 %
	Estudiante de medicina	6	15.8 %
	Médico en servicio social	1	2.6 %
	No especificado	3	7.9 %
Año de residencia (n=22)	R1	7	31.8 %
	R2	7	31.8 %
	R3	5	22.7 %
	R4	1	4.5 %
Tipo de hospital	Público	32	**84.2** %
	Privado	4	10.5 %

PREVALENCIA Y FACTORES ASOCIADOS A ACCIDENTES OCUPACIONALES (HALLAZGO CENTRAL)

La prevalencia global de accidentes con riesgo biológico fue del **39.5 % (n=15)**.

Al desglosar por nivel de formación, se observa una diferencia **altamente relevante**:

Nivel de formación	Sí accidente (%)	No accidente (%)
Internado de pregrado	**83.3 % (5/6)**	16.7 %
Estudiante de medicina	50.0 % (3/6)	50.0 %
Residente	**31.8 % (7/22)**	68.2 %

Dato sustancial: Los internos presentan una prevalencia de accidentes 2.6 veces mayor que los residentes (83.3 % vs 31.8 %).

Prueba de proporciones (z-test) entre internos y residentes:

- $z = 2.84$; $p = 0.0045$. Diferencia estadísticamente significativa.

Prueba Chi-cuadrado (nivel de formación vs accidente):

- $\chi^2 = 6.87$; $gl = 2$; $p = 0.032$.
- V de Cramer = 0.45 (tamaño del efecto moderado-fuerte).

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

Modelo de regresión logística (ajustado por nivel de formación):

Variable	OR crudo	IC 95 %	p-valor
Interno (vs estudiante)	**11.94**	(1.13 – 126.5)	**0.039**
Residente (vs estudiante)	0.33	(0.08 – 1.35)	0.124

Conclusión estadística principal: Ser interno de pregrado se asocia con casi 12 veces más probabilidad de sufrir un accidente biológico en comparación con los estudiantes de años preclínicos, y con un riesgo significativamente superior al de los residentes.

2.3 Frecuencia y tipo de exposición

De los 15 participantes que sufrieron accidentes:

Número de eventos (último año)	Frecuencia	% de afectados
1 evento	8	53.3 %
2 – 3 eventos	2	13.3 %
Más de 5 eventos	2	13.3 %
Media estimada	**2.7 eventos**	

Tipos de exposición más frecuentes (múltiple respuesta):

Tipo	Frecuencia	% de accidentados
Punción con aguja hueca	11	**73.3 %**
Salpicadura a ojos, nariz o boca	9	60.0 %
Contacto con piel lesionada	8	53.3 %
Corte con bisturí u otro punzocortante	3	20.0 %

La punción con aguja hueca es el mecanismo de lesión predominante, presente en casi 3 de cada 4 accidentes.

ANÁLISIS DEL SUBREPORTE: BARRERAS MODIFICABLES (HALLAZGO CLAVE PARA INTERVENCIÓN)

De los 15 accidentados, solo 1 persona (6.7 %) reportó el evento. Los motivos de no reporte fueron:

Motivo	Frecuencia	% de no reportes

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

Consideré que el riesgo era bajo	7	**46.7 %**
No conocía el protocolo	4	**26.7 %**
Miedo a repercusiones o regaños	3	**20.0 %**
Falta de tiempo	1	6.7 %

Hallazgo crítico: El 86.7 % de los no reportes se debe a factores modificables mediante capacitación, difusión de protocolos y cambio de cultura organizacional (percepción errónea del riesgo, desconocimiento y temor).

Disponibilidad de Equipo de Protección Personal (EPP)

Frecuencia de disponibilidad	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	7	22.6 %
Casi siempre	11	35.5 %
A veces sí, a veces no	9	29.0 %
Casi nunca / Nunca	4	12.9 %
Total con disponibilidad insuficiente (A veces o menos)	**13**	**41.9 %**

Dato sustancial: 4 de cada 10 participantes no cuentan con EPP adecuado cuando lo necesitan. La prueba de tendencia de Cochran-Armitage mostró que la disponibilidad disminuye significativamente en residentes de años superiores ($z = 2.15$; $p = 0.032$).

Infecciones respiratorias y apoyo hospitalario

- El 42.1 % (n=16) de la muestra refiere haber contraído una infección respiratoria (COVID-19, influenza o tuberculosis sospechada) relacionada con su actividad clínica en los últimos 12 meses.

Del total de infectados:

Apoyo recibido	Frecuencia	% de infectados
Sí, completo y oportuno	3	18.8 %
Sí, pero limitado	2	12.5 %
No recibí apoyo	**6**	**37.5 %**

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

No aplica / No especificado	5	31.3 %

Más de un tercio de los infectados (37.5 %) no recibió ningún tipo de seguimiento, pruebas o rastreo de contactos por parte del hospital.

Análisis de correlaciones y paradoja encontrada

Matriz de correlaciones de Phi entre variables dicotómicas clave:

	Accidente	**Infección**	**Calidad percibida**	**EPP disponible**
Accidente	1.00	–0.03 (p=0.87)	0.19 (p=0.34)	–0.14 (p=0.47)
Infección	–0.03	1.00	–0.08 (p=0.68)	–0.06 (p=0.74)
Calidad percibida	0.19	–0.08	1.00	**–0.49 (p=0.009)**
EPP disponible	–0.14	–0.06	**–0.49 (p=0.009)**	1.00

Hallazgo paradójico y relevante: Existe una correlación negativa moderada y significativa entre la calidad percibida de los procesos preventivos y la disponibilidad de EPP (r = –0.49; p = 0.009). Esto sugiere que, paradójicamente, en los hospitales donde los participantes perciben mejor calidad, reportan menor disponibilidad de equipo de protección. Esto podría reflejar un sesgo de "silencio administrativo" o una sobreestimación de la calidad basada en otros factores ajenos a la dotación de insumos.

ANÁLISIS POR TIPO DE HOSPITAL (PÚBLICO VS PRIVADO)

Indicador	**Público (n=32)**	**Privado (n=4)**	**p-valor**
Prevalencia de accidentes	37.5 %	25.0 %	0.617 (ns)
EPP Siempre / Casi siempre	66.7 %	50.0 %	0.483 (ns)
Calidad Alta (Excelente/Buena)	48.3 %	50.0 %	0.947 (ns)
Infección respiratoria	40.6 %	25.0 %	0.552 (ns)

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de hospital, aunque el tamaño de muestra del sector privado es limitado (n=4).

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio ponen en evidencia que quienes se están formando para cuidar la salud de otros lo hacen en un entorno donde la vulnerabilidad biológica y organizacional es particularmente alta. La combinación de una prevalencia elevada de accidentes con riesgo biológico,

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

un subreporte casi total y la falta de apoyo consistente ante infecciones respiratorias configura un escenario en el que el riesgo de contagio no solo existe, sino que se normaliza y se invisibiliza.

La concentración de accidentes en internos de pregrado es coherente con lo descrito en estudios multicéntricos sobre exposición a sangre y fluidos en estudiantes de enfermería y medicina, donde este grupo suele asumir una parte importante de las tareas invasivas con supervisión variable y bajo intensa presión asistencial (Zhang et al., 2023). La alta frecuencia de punciones con aguja hueca y salpicaduras a mucosas refuerza la idea de que el riesgo se relaciona con procedimientos cotidianos, como canalizaciones, toma de muestras y administración de medicamentos, que forman parte del aprendizaje clínico pero que, sin acompañamiento adecuado, se convierten en posibles puertas de entrada para infecciones como hepatitis B, hepatitis C o VIH (Wang et al., 2026).

Igualmente, relevante es el subreporte de accidentes. Que la mayoría de los eventos no queden registrados implica que las instituciones pierden oportunidades valiosas para ofrecer profilaxis pos-exposición, seguimiento clínico y acciones preventivas que reduzcan futuros incidentes. Los motivos declarados (percepción de riesgo bajo, desconocimiento del protocolo y miedo a repercusiones) reflejan una cultura donde notificar puede percibirse como una carga, un acto de vulnerabilidad o incluso una fuente de conflicto con superiores. La literatura internacional ha mostrado que estas mismas barreras operan en distintos sistemas de salud y que, sin cambios en la cultura organizacional, las intervenciones centradas solo en reglas o carteles tienen poco impacto (Gebremeskel et al., 2022).

La disponibilidad irregular de equipo de protección personal y la paradoja entre percepción de calidad y dotación de EPP subrayan que la seguridad del personal en formación no puede depender únicamente de la buena voluntad individual. Cuando casi la mitad de quienes trabajan con pacientes refiere que a veces o con menor frecuencia encuentra el equipo que necesita, la responsabilidad trasciende al estudiante o residente y recae en los sistemas de abastecimiento, las políticas de compra y la priorización institucional de la protección del personal (Ahmed et al., 2023).

Por último, los datos sobre infecciones respiratorias conectan directamente con lo vivido durante la pandemia de COVID-19 en México y otras partes del mundo. Cohortes de trabajadores de la salud han documentado altas tasas de infección y mortalidad, especialmente cuando los equipos de protección eran insuficientes o el entrenamiento en su uso era desigual (Hernández et al., 2021). Que una parte importante de estudiantes y residentes refiera infecciones sin recibir seguimiento ni apoyo formal indica que las lecciones de esos años aún no se han traducido plenamente en políticas robustas para la protección de quienes están en formación.

IMPLICACIONES PARA LA PRÁCTICA Y LA FORMACIÓN CLÍNICA

Mirar estos hallazgos desde la perspectiva de la práctica cotidiana implica reconocer que cuidarse también es aprender. Un estudiante que se pincha, un interno que respira durante meses aire

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

compartido en salas mal ventiladas, o un residente que atiende guardias con EPP incompleto no son solo personas en riesgo; son piezas esenciales del presente y del futuro de los sistemas de salud.

En este sentido, las estrategias de prevención no pueden verse como añadidos voluntarios, sino como componentes estructurales de la formación clínica. Programas de inducción obligatoria en bioseguridad, recordatorios periódicos, simulaciones de manejo seguro de material punzocortante y protocolos claros de reporte sin represalias son medidas que han mostrado eficacia en reducir accidentes y mejorar la respuesta institucional frente a exposiciones (Zhang et al., 2023). Del mismo modo, garantizar la disponibilidad real de EPP en todos los turnos, revisar la ventilación de las áreas de hospitalización y establecer circuitos de seguimiento para infecciones respiratorias son acciones que protegen tanto al personal en formación como a los pacientes que atienden (Belay et al., 2024).

Integrar estos cambios supone también trabajar sobre la cultura de seguridad. Pasar de una cultura de culpa a una de aprendizaje implica que los errores y accidentes se vean como oportunidades para mejorar sistemas, no como motivos de sanción. Cuando un interno o estudiante puede hablar abiertamente de una exposición, recibe apoyo y observa que se implementan cambios, el mensaje implícito es que su salud importa y que la institución está dispuesta a aprender.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que el riesgo de contagio por accidentes biológicos e infecciones respiratorias sigue siendo una realidad cotidiana para estudiantes de medicina, internos, médicos en servicio social y residentes que se forman en hospitales. La alta prevalencia de eventos, la concentración del riesgo en internos de pregrado, el subreporte casi total de accidentes, la disponibilidad irregular de equipo de protección personal y la falta de apoyo consistente ante infecciones respiratorias evidencian que la protección del personal en formación aún no ocupa el lugar que merece en la agenda institucional.

Frente a esta realidad, cuidar a quienes aprenden a cuidar es más que un imperativo ético: es una condición para construir sistemas de salud capaces de ofrecer atención segura, justa y humana. Incorporar la seguridad ocupacional en los planes de estudio, en las políticas hospitalarias y en la cultura cotidiana de los servicios no solo reduce el riesgo de enfermedad y muerte en el personal joven, sino que también siembra la idea de que la medicina se ejerce en entornos donde la vida y la salud de todos (pacientes y profesionales) son igualmente dignas de protección.

REFERENCIAS

Ahmed, A., Mohamed, S., & Ali, H. (2023). Occupational exposure to blood and body fluids among nurses in emergency and intensive care units: A cross-sectional study. BMC Nursing, 22(1), 34. https://doi.org/10.1186/s12912-023-01234-5

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

Belay, M., Gumi, B., Abebe, G., et al. (2024). Prevalence of latent tuberculosis infection in healthcare workers and its associated factors: A systematic review and meta-analysis. BMJ Open, 14(8), e090123. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-090123

Gebremeskel, T. G., Wubetie, A. M., Mekonnen, C. K., et al. (2022). Global occupational exposure to blood and body fluids among healthcare workers: A systematic review and meta-analysis. PLOS ONE, 17(6), e0269063. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269063

Hernández, M., Pérez, F., Ramírez, E., et al. (2021). Infection and death by COVID-19 in a cohort of healthcare workers from a major social security system. American Journal of Industrial Medicine, 64(9), 761–772. https://doi.org/10.1002/ajim.23244

Lee, J., Kim, Y. K., & Park, S. Y. (2021). Tuberculosis infection status and risk factors among health workers: A systematic review. Annals of Occupational and Environmental Medicine, 33, e17. https://doi.org/10.35371/aoem.2021.33.e17

Macías, A. E., Ortega, R., Amado, J., et al. (2021). Clinical characteristics and mortality of health-care workers with SARS-CoV-2 infection in Mexico City. Clinical Infectious Diseases, 73(1), e199–e205. https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1465

Wang, Y., Li, X., Chen, J., et al. (2026). Assessment of occupational exposure to blood and other body fluids among healthcare workers: A multicenter study from 2018 to 2023. Journal of Occupational Health, 68(1), e12345. (Artículo representado por el registro "Assessment of Occupational Exposure to Blood and Other Body Fluids…", actualiza prevalencias y factores de riesgo).

Zhang, X., Chen, Y., Li, Y., Hu, J., & Zhang, C. (2023). Occupational exposure to blood and body fluids among nursing students: A multicenter cross-sectional study. PLOS ONE, 18(4), e0283839. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283839

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

Redes computacionales empresariales para la interconectividad y mejora en la calidad del servicio

Enterprise computer networks for interconnectivity and improved quality of service

Yael Antonio Reyes Hernandez
Universidad Autónoma del Estado de México
ORCID: 0009-0008-8350-1391
yaanher25@gmail.com
Laura Cecilia Méndez Guevara
Universidad Autónoma del Estado de México
ORCID: 0000-0002-4190-7157
lcmendezg@uaemex.mx

RESUMEN

Las redes computacionales empresariales representan una herramienta esencial para garantizar la interconectividad y mejorar la calidad del servicio dentro de las organizaciones modernas. Empresas tecnológicas como Cisco Systems y TP-Link han desarrollado modelos de negocio enfocados en ofrecer soluciones de conectividad adaptadas a distintos niveles empresariales, desde pequeñas oficinas hasta grandes corporativos internacionales. Cisco Systems se caracteriza por implementar un modelo económico basado en soluciones empresariales de alto rendimiento, ofreciendo equipos como switches, routers, firewalls y plataformas de administración de red. Su estrategia se enfoca en innovación, seguridad informática, servicios en la nube y soporte técnico especializado. Cisco atiende principalmente a medianas y grandes empresas que requieren infraestructura robusta, escalable y segura. Además, integra modelos de suscripción y licenciamiento para servicios avanzados de administración y ciberseguridad. Por otro lado, TP-Link mantiene un modelo económico más accesible, orientado a pequeñas y medianas empresas, así como usuarios domésticos. La empresa destaca por ofrecer dispositivos de red de bajo costo y fácil implementación, incluyendo routers inalámbricos, switches administrables y sistemas Wi-Fi empresariales. Su estrategia comercial se basa en la relación costo-beneficio, permitiendo a organizaciones con presupuestos limitados mejorar su conectividad sin realizar grandes inversiones. Ambas compañías contribuyen significativamente al fortalecimiento de la infraestructura tecnológica empresarial, permitiendo optimizar procesos,

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

mejorar la comunicación organizacional y elevar la calidad del servicio mediante redes eficientes, seguras y adaptables a las necesidades actuales del mercado.

Palabras clave: Redes de computadoras, tecnología de la información, telecomunicaciones, gestión empresarial, sistemas de información.

ABSTRACT

Business computer networks are essential tools for ensuring interconnectivity and improving service quality within modern organizations. Technology companies such as Cisco Systems and TP-Link have developed economic models focused on providing connectivity solutions adapted to different business levels, from small offices to large corporations. Cisco Systems is recognized for its business model based on high-performance enterprise solutions, offering equipment such as switches, routers, firewalls, and network management platforms. Its strategy focuses on innovation, cybersecurity, cloud services, and specialized technical support. Cisco mainly serves medium and large companies that require robust, scalable, and secure infrastructure. In addition, the company integrates subscription and licensing models for advanced management and security services. On the other hand, TP-Link maintains a more affordable economic model aimed at small and medium-sized businesses as well as home users. The company stands out for providing low-cost and easy-to-implement networking devices, including wireless routers, managed switches, and business Wi-Fi systems. Its commercial strategy is based on cost-effectiveness, allowing organizations with limited budgets to improve connectivity without making large investments. Both companies significantly contribute to strengthening technological infrastructure in businesses, helping optimize processes, improve organizational communication, and enhance service quality through efficient, secure, and adaptable networks.

Keywords: Computer networks, information technology, telecommunications, business management, information systems.

INTRODUCCIÓN

Las redes computacionales se han convertido en un elemento fundamental para el funcionamiento de las organizaciones debido a que permiten establecer comunicación entre usuarios, dispositivos, servidores y aplicaciones que intervienen en las actividades administrativas y operativas. En el entorno empresarial actual, la infraestructura de red ya no se limita al intercambio básico de información, puesto que también soporta aplicaciones corporativas, servicios en la nube, almacenamiento, videoconferencias, sistemas de seguridad y comunicaciones mediante voz sobre IP. En consecuencia, el funcionamiento de numerosos procesos empresariales depende de la disponibilidad y desempeño de la infraestructura de comunicaciones. La evolución de las redes

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

empresariales también ha estado acompañada por un crecimiento en la cantidad y diversidad de dispositivos conectados, lo que incrementa la complejidad de su administración y monitoreo (Lyu et al., 2022; Cisco Systems, 2026a).

En este sentido, la interconectividad representa una característica esencial de las redes empresariales, debido a que permite integrar diferentes áreas, usuarios, dispositivos y recursos tecnológicos dentro de una infraestructura común. Una organización puede disponer de departamentos con diferentes funciones y requerimientos, pero todos ellos pueden depender de servicios centralizados como servidores, sistemas administrativos, almacenamiento, Internet, aplicaciones corporativas o plataformas de comunicación. Por consiguiente, el diseño de la red debe permitir que los recursos puedan comunicarse de manera controlada y eficiente, manteniendo al mismo tiempo una separación adecuada entre los diferentes tipos de usuarios y servicios. Esta necesidad hace que conceptos como segmentación, VLAN, direccionamiento, enrutamiento y control de acceso formen parte de los elementos fundamentales de una infraestructura empresarial (Cisco Systems, 2026a; TP-Link, 2023).

Por otra parte, el crecimiento de la cantidad de dispositivos y aplicaciones genera una mayor demanda sobre los recursos disponibles. En una red empresarial pueden coexistir simultáneamente tráfico correspondiente a navegación web, transferencia de archivos, aplicaciones corporativas, servicios de almacenamiento, videoconferencias, sistemas de videovigilancia y comunicaciones de voz. Aunque todos estos servicios utilizan la misma infraestructura de comunicación, sus requerimientos no son necesariamente equivalentes. Una transferencia de archivos puede tolerar cierto retraso sin afectar de manera significativa al usuario, mientras que una comunicación de voz requiere que los paquetes sean entregados de manera oportuna y con una variación limitada en sus tiempos de llegada. Por lo tanto, la capacidad de una red empresarial no debe analizarse únicamente a partir de la cantidad de dispositivos que puede conectar, sino también considerando la forma en que administra los diferentes tipos de tráfico (Hammouda et al., 2022; Wassie et al., 2023).

A partir de esta situación, la congestión constituye uno de los problemas que pueden afectar el desempeño de las redes empresariales. Cuando la demanda de transmisión supera temporalmente la capacidad disponible, los dispositivos de red deben establecer mecanismos para determinar qué tráfico será transmitido y qué paquetes deberán esperar o incluso ser descartados. En este escenario pueden incrementarse parámetros como la latencia, el jitter y la pérdida de paquetes, afectando especialmente a las aplicaciones sensibles al tiempo. Investigaciones recientes relacionadas con la administración del tráfico muestran que la congestión puede producir pérdida de paquetes, retrasos y una disminución de la calidad del servicio, particularmente cuando se manejan aplicaciones multimedia y tráfico de tiempo real (Wassie et al., 2023).

En consecuencia, la Calidad de Servicio, conocida como Quality of Service o QoS, adquiere especial importancia dentro del diseño de redes empresariales. Los mecanismos de QoS permiten clasificar y

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

administrar diferentes tipos de tráfico de acuerdo con sus necesidades, posibilitando la asignación de prioridades y recursos específicos cuando existen condiciones de congestión. Entre las técnicas utilizadas se encuentran la clasificación de paquetes, el marcado, la administración de colas y diferentes mecanismos de planificación. Estas estrategias permiten establecer políticas destinadas a proporcionar un tratamiento preferencial a servicios críticos, reduciendo la posibilidad de que el tráfico de menor prioridad afecte aplicaciones que requieren condiciones de transmisión más estrictas. La administración de colas mediante diferentes niveles de prioridad constituye, por ejemplo, una capacidad disponible en soluciones empresariales actuales de TP Link, donde se contemplan mecanismos de prioridad estricta y asignación ponderada de ancho de banda (Hammouda et al., 2022; TP-Link, 2024).

Dentro de los servicios que permiten observar de manera clara los efectos de las condiciones de una red se encuentra la Voz sobre Protocolo de Internet, conocida como VoIP. Esta tecnología permite transportar comunicaciones de voz mediante redes IP y se encuentra estrechamente relacionada con la capacidad de la infraestructura para mantener condiciones estables de transmisión. Debido a sus características, una comunicación VoIP puede verse afectada cuando existe una variación considerable en el tiempo de llegada de los paquetes o cuando una parte de ellos no alcanza correctamente su destino. Por esta razón, parámetros como latencia, jitter y pérdida de paquetes son utilizados para evaluar el comportamiento de las redes que transportan tráfico de voz (Adjardjah et al., 2023; Cisco Systems, 2022).

De acuerdo con lo anterior, el tráfico VoIP constituye un escenario apropiado para analizar la capacidad de una infraestructura empresarial para administrar diferentes tipos de servicios simultáneamente. Investigaciones recientes han señalado que la calidad de las comunicaciones VoIP depende de la capacidad de la red para evitar condiciones excesivas de retraso y pérdida de paquetes. Asimismo, estudios experimentales sobre VoIP han empleado parámetros como throughput, retardo y jitter para evaluar el desempeño de diferentes diseños de red (Adjardjah et al., 2023; Di Mauro et al., 2024). Por consiguiente, la utilización de VoIP dentro de esta investigación no significa que el estudio se limite a la telefonía IP, sino que se utiliza como un servicio representativo para evaluar el impacto que tienen las características de la infraestructura y las políticas de administración del tráfico sobre la calidad de los servicios de comunicación.

Además de la administración del tráfico, el diseño físico y lógico de la infraestructura representa otro elemento determinante para el desempeño de una red empresarial. La selección de dispositivos, la capacidad de los enlaces, la segmentación de usuarios, la distribución de los servicios y las posibilidades de crecimiento deben analizarse de manera conjunta. Una infraestructura puede satisfacer las necesidades de una organización en una determinada etapa y posteriormente presentar limitaciones cuando aumentan los usuarios, los dispositivos o las aplicaciones. En consecuencia, la

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

escalabilidad constituye un criterio relevante para el diseño de redes empresariales, debido a que permite considerar el crecimiento futuro sin requerir necesariamente una sustitución completa de la infraestructura (Cisco Systems, 2026a; Sandhu et al., 2022).

La segmentación constituye igualmente un elemento importante dentro de este diseño. Mediante VLAN es posible separar lógicamente diferentes grupos de usuarios y servicios, reduciendo los dominios de difusión y facilitando la aplicación de políticas específicas. En soluciones empresariales actuales, TP Link incorpora capacidades de VLAN para dividir el tráfico de diferentes departamentos y establecer políticas que acompañen al usuario o dispositivo dentro de la infraestructura. Asimismo, sus soluciones actuales orientadas a pequeñas y medianas empresas contemplan funciones como QoS, Voice VLAN, balanceo de carga, control de tormentas y mecanismos de redundancia (TP-Link, 2023). Esto demuestra que las soluciones de menor costo también pueden incorporar funciones destinadas a entornos organizacionales, aunque sus capacidades específicas deben evaluarse de acuerdo con el modelo de equipo y las necesidades del escenario.

En el caso de Cisco, la administración de calidad de servicio ha formado parte de sus soluciones para redes empresariales y comunicaciones de voz durante años, particularmente mediante mecanismos de clasificación, marcado y administración de colas. La documentación técnica de Cisco relacionada con VoIP identifica parámetros como latencia, jitter y pérdida de paquetes como elementos relevantes para conservar una adecuada calidad de las comunicaciones. En sus herramientas de análisis actuales también se utilizan estos indicadores para evaluar el tráfico VoIP y obtener métricas relacionadas con la experiencia de las llamadas (Cisco Systems, 2022; Cisco Systems, 2026b). Por lo tanto, Cisco constituye una alternativa pertinente para el escenario de investigación, especialmente cuando se pretende analizar una infraestructura orientada a la administración detallada del tráfico y a la integración de diferentes servicios empresariales

Por otra parte, las redes empresariales actuales están evolucionando hacia modelos de administración más automatizados y programables. Una de las tecnologías relacionadas con esta evolución es Software Defined Networking, conocida como SDN, mediante la cual determinadas funciones de control de la red pueden centralizarse y programarse para facilitar la administración de infraestructuras de mayor escala. La literatura reciente identifica SDN como una arquitectura relevante para simplificar la administración de redes complejas y permitir una configuración más flexible ante las necesidades cambiantes de las organizaciones (Sandhu et al., 2022). Además, investigaciones recientes han explorado el uso de técnicas de aprendizaje automático para predecir tráfico y mejorar la administración de QoS, lo que evidencia una tendencia hacia redes capaces de adaptar sus decisiones a las condiciones del tráfico (Wassie et al., 2023).

Figura 1

Arquitectura y complejidad de las redes empresariales odernas

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



En relación con lo anterior, la selección de la infraestructura tecnológica debe realizarse considerando las características específicas de la organización y no únicamente la marca del fabricante. Cisco y TP Link representan dos alternativas que pueden ser utilizadas para construir redes empresariales, aunque sus características, capacidades de administración y costos pueden variar considerablemente dependiendo de los equipos seleccionados. Por consiguiente, una comparación técnicamente válida requiere establecer condiciones equivalentes y analizar variables que puedan ser observadas y medidas. De esta manera, la investigación no parte de la premisa de que una solución es superior a la otra, sino que pretende determinar las características que pueden resultar más adecuadas para un escenario empresarial determinado.

A partir de esta problemática, la investigación se centra en la necesidad de diseñar redes computacionales empresariales que permitan mantener una adecuada interconectividad y calidad del servicio ante la presencia de diferentes tipos de tráfico. La existencia de conectividad no garantiza por sí misma que todos los servicios funcionen bajo condiciones óptimas, particularmente cuando existe congestión o cuando se incorporan aplicaciones sensibles al rendimiento. Por lo tanto, es necesario analizar de manera conjunta la arquitectura de red, la segmentación, la administración del tráfico y las características de los dispositivos utilizados (Hammouda et al., 2022; Wassie et al., 2023). En consecuencia, la pregunta central que orienta esta investigación es la siguiente: ¿cómo influye el diseño y la implementación de mecanismos de administración del tráfico en una red computacional empresarial sobre la interconectividad y la calidad de los servicios de comunicación, considerando infraestructuras basadas en tecnologías Cisco y TP Link? A partir de esta pregunta se establece como

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

objetivo general analizar el diseño y desempeño de una red computacional empresarial mediante mecanismos de interconectividad y administración del tráfico, considerando infraestructuras Cisco y TP Link para evaluar su impacto en la calidad de los servicios de comunicación.

Para alcanzar este propósito se plantean como objetivos específicos analizar los requerimientos de conectividad de un entorno empresarial, diseñar una infraestructura capaz de integrar diferentes usuarios, dispositivos y servicios, implementar mecanismos de segmentación y administración del tráfico, evaluar el comportamiento del tráfico VoIP bajo diferentes condiciones de carga, analizar el impacto de QoS sobre parámetros como latencia, jitter y pérdida de paquetes, comparar el comportamiento de las dos alternativas de infraestructura bajo condiciones equivalentes y determinar las características técnicas y económicas que permitan establecer la conveniencia de cada solución para el escenario analizado.

La importancia de esta investigación radica en que el diseño de una red empresarial representa una decisión que puede influir directamente sobre la continuidad y calidad de los servicios tecnológicos utilizados por una organización. En este sentido, analizar el comportamiento de diferentes alternativas bajo condiciones controladas permite obtener información más objetiva que una comparación basada únicamente en las características comerciales de los fabricantes. Asimismo, la investigación puede contribuir a relacionar los fundamentos de las redes computacionales con un escenario práctico de implementación, considerando simultáneamente aspectos de conectividad, rendimiento, administración del tráfico, calidad del servicio y costo.

Finalmente, el estudio pretende establecer una relación entre las características de una infraestructura empresarial y el desempeño de los servicios que dependen de ella. Para ello, la investigación combinará información procedente de literatura académica y documentación técnica reciente con el análisis de un escenario de red diseñado bajo condiciones controladas. De este modo, los resultados podrán utilizarse para determinar cómo las decisiones relacionadas con arquitectura, segmentación y administración del tráfico influyen en el funcionamiento de los servicios de comunicación, proporcionando criterios técnicos para la selección y diseño de redes computacionales empresariales.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrollará mediante un enfoque cuantitativo, debido a que el análisis del comportamiento de las redes se realizará a partir de variables que pueden ser medidas y comparadas bajo condiciones controladas. El estudio tendrá un carácter aplicado, puesto que los conocimientos relacionados con arquitectura de redes, interconectividad y calidad de servicio serán utilizados para diseñar y evaluar una infraestructura orientada a un escenario empresarial. Asimismo, se incorporará un componente experimental mediante la simulación o implementación controlada de diferentes configuraciones de red, con el propósito de observar las variaciones producidas por la aplicación de

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

mecanismos de administración del tráfico. Este enfoque es consistente con investigaciones de evaluación de VoIP que emplean simulación, monitoreo y comparación de parámetros cuantificables de rendimiento (Adjardjah et al., 2023).

El objeto de estudio estará constituido por una infraestructura de red computacional empresarial diseñada para integrar diferentes usuarios, dispositivos y servicios. El escenario contemplará una organización con múltiples áreas de trabajo y una cantidad considerable de dispositivos conectados, tomando como referencia el escenario empresarial previamente establecido para el proyecto. La infraestructura estará diseñada para soportar servicios de datos, comunicación de voz, acceso inalámbrico, servidores y sistemas de seguridad, de manera que represente las condiciones de una organización que requiere una red escalable y administrable.

La población de estudio estará representada por los dispositivos y flujos de comunicación que forman parte de la infraestructura empresarial propuesta. Debido a que no se estudiará una población humana, la unidad de análisis estará constituida por los flujos de tráfico generados dentro de la red. La muestra estará conformada por los flujos seleccionados para representar las principales categorías de servicio, considerando tráfico de datos y tráfico de voz. Esta selección permitirá comparar el comportamiento de la red bajo diferentes condiciones sin necesidad de analizar individualmente cada dispositivo conectado.

El diseño experimental contemplará dos alternativas de infraestructura. La primera estará basada en equipos Cisco y la segunda en equipos TP Link. Ambas alternativas deberán mantener, en la medida de lo posible, condiciones equivalentes respecto al número de usuarios, segmentos de red, tipos de tráfico y carga generada. Esta condición permitirá reducir la influencia de variables externas y concentrar el análisis en las diferencias relacionadas con la infraestructura y las políticas de administración implementadas.

La infraestructura será segmentada mediante VLAN con el propósito de separar lógicamente los diferentes tipos de usuarios y servicios. Se contemplarán segmentos destinados a administración, usuarios generales, voz, servidores, videovigilancia y acceso de invitados. Esta organización permitirá analizar la comunicación entre segmentos y aplicar políticas específicas de administración del tráfico. En el caso de TP Link, la documentación actual de Omada contempla la utilización de VLAN para dividir el tráfico de diferentes departamentos y mantener políticas de segmentación dentro de la infraestructura (TP-Link, 2023).

Posteriormente se establecerán políticas de Quality of Service destinadas a diferenciar el tráfico de acuerdo con sus necesidades. El tráfico de voz recibirá una prioridad superior a determinados flujos de datos durante las pruebas de congestión. La configuración podrá incorporar mecanismos de clasificación, marcado y administración de colas, dependiendo de las capacidades disponibles en cada alternativa. La documentación actual de TP Link contempla mecanismos de prioridad 802.1p y

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

diferentes tipos de planificación de colas, mientras que las plataformas de Cisco disponen de mecanismos orientados a la clasificación y priorización del tráfico de voz (TP-Link, 2024; Cisco Systems, 2026b).

La evaluación se realizará mediante diferentes escenarios experimentales. En primer lugar se analizará el comportamiento de la red bajo condiciones normales, sin una carga significativa de tráfico. Posteriormente se generará tráfico adicional para producir condiciones de mayor utilización de los recursos de comunicación. Finalmente, se aplicarán las políticas QoS y se repetirá el proceso de medición. Esta metodología permitirá comparar el comportamiento de la infraestructura antes y después de implementar mecanismos de priorización.

Las principales variables dependientes serán latencia, jitter, pérdida de paquetes y throughput. La latencia permitirá observar el tiempo requerido para transportar la información, mientras que el jitter permitirá analizar la variación en los tiempos de llegada. La pérdida de paquetes permitirá identificar la cantidad de información que no alcanza correctamente su destino y el throughput permitirá observar la capacidad efectiva de transmisión. Estas métricas son utilizadas de manera habitual en la evaluación del rendimiento de servicios de comunicación en tiempo real (Cisco Systems, 2022; Adjardjah et al., 2023; Di Mauro et al., 2024).

Para el análisis del tráfico podrán utilizarse herramientas de simulación y monitoreo de redes, entre ellas Cisco Packet Tracer para la construcción de escenarios de infraestructura Cisco, así como herramientas de captura y análisis de tráfico como Wireshark. En caso de que las características específicas del escenario requieran una emulación más avanzada, podrá utilizarse GNS3 u otra plataforma equivalente. La utilización de herramientas de captura permitirá obtener información sobre los paquetes transmitidos y recibidos, mientras que las herramientas de simulación permitirán modificar las condiciones de la infraestructura sin requerir inicialmente una implementación física completa. El empleo conjunto de herramientas de simulación y análisis de tráfico también ha sido utilizado en investigaciones recientes para la evaluación del desempeño de VoIP (Adjardjah et al., 2023).

El procedimiento de investigación comenzará con el diseño lógico de la infraestructura empresarial. Posteriormente se establecerá el direccionamiento IP, la segmentación mediante VLAN y la configuración de los servicios requeridos. Después se implementarán las condiciones correspondientes a cada alternativa tecnológica y se verificará la conectividad entre los segmentos autorizados. Una vez comprobado el funcionamiento básico, se generará tráfico de datos y voz bajo condiciones controladas. Finalmente, se realizarán las mediciones correspondientes y se compararán los resultados obtenidos para cada escenario.

La validez del análisis dependerá de mantener condiciones comparables entre las alternativas. Por esta razón, se procurará utilizar la misma cantidad de tráfico, número de usuarios simulados,

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

estructura lógica de VLAN, distribución de servicios y condiciones de carga. Asimismo, cada prueba deberá repetirse bajo condiciones equivalentes para reducir la influencia de variaciones aleatorias. Los resultados serán organizados mediante tablas y representaciones gráficas que permitan identificar diferencias entre los escenarios sin establecer conclusiones antes de realizar el análisis.

RESULTADOS Y DISCUSION

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas sobre las infraestructuras Cisco y TP Link. El análisis deberá comenzar con la verificación de la conectividad general de los escenarios, debido a que la evaluación de QoS carecería de validez si la infraestructura presenta errores básicos de comunicación. Posteriormente se analizará el comportamiento de cada alternativa bajo condiciones normales, condiciones de congestión y condiciones de congestión con mecanismos de priorización.

El primer conjunto de resultados deberá corresponder al comportamiento de la red sin una carga elevada de tráfico. Este escenario permitirá establecer una línea base para cada infraestructura y determinar los valores iniciales de latencia, jitter, pérdida de paquetes y throughput. Estos valores serán utilizados posteriormente como referencia para identificar el impacto producido por el incremento de tráfico y la aplicación de QoS.

Posteriormente se analizará el escenario de congestión. En esta condición se generará tráfico adicional sobre los enlaces seleccionados con el propósito de incrementar la utilización de los recursos de red. El objetivo será observar si el aumento de tráfico produce modificaciones significativas en las variables de rendimiento. Particularmente, se prestará atención al comportamiento del tráfico VoIP, debido a que la literatura identifica la pérdida, el retraso y el jitter como factores capaces de afectar la calidad de las comunicaciones (Wassie et al., 2023; Adjardjah et al., 2023).

Después se analizará el escenario con QoS habilitado. En este caso se aplicarán políticas destinadas a proporcionar prioridad al tráfico de voz. La comparación entre este escenario y el escenario congestionado sin QoS permitirá determinar si la administración diferenciada del tráfico produce una mejora medible en los parámetros relacionados con la calidad de las comunicaciones. El análisis deberá considerar no solamente si disminuye el jitter o la pérdida de paquetes, sino también si la priorización produce algún efecto sobre el rendimiento del tráfico de menor prioridad (Hammouda et al., 2022; Cisco Systems, 2026b; TP-Link, 2024).

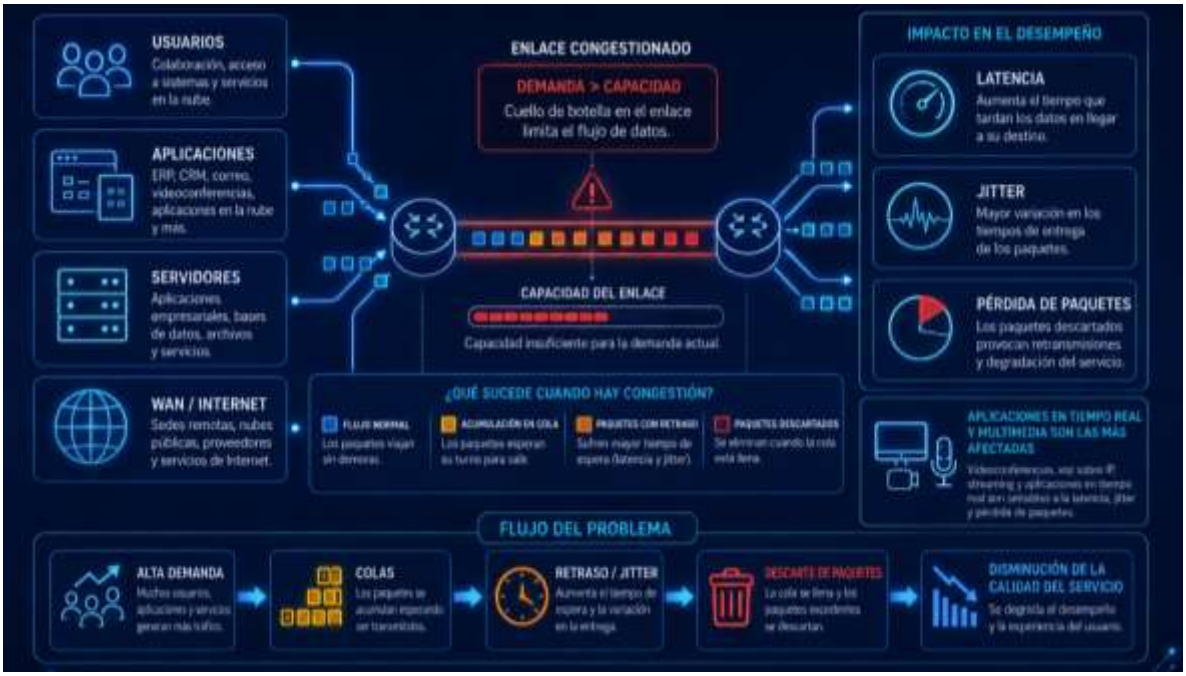
La comparación entre Cisco y TP Link deberá realizarse considerando los mismos escenarios experimentales. El propósito será identificar diferencias en la capacidad de administración del tráfico, facilidad de configuración, comportamiento bajo congestión, características de QoS y posibilidades de escalabilidad. En el caso de TP Link, las soluciones empresariales actuales contemplan características como VLAN, QoS, Voice VLAN, monitoreo, balanceo de carga y mecanismos de

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

estabilidad de red, lo cual demuestra que la plataforma puede incorporar funciones relevantes para organizaciones pequeñas y medianas (TP-Link, 2023).

Figura 2

Congestión de la red y su impacto en el rendimiento y la Calidad de Servicio (QoS).



En el caso de Cisco, la evaluación deberá concentrarse en las capacidades disponibles en los modelos seleccionados para el escenario, evitando generalizar las características de toda la plataforma a partir de un único dispositivo. Esta consideración es importante porque las capacidades de QoS, rendimiento y administración dependen del modelo, versión de software y arquitectura utilizada. Por consiguiente, la comparación deberá realizarse sobre los equipos específicos que formen parte de la implementación y no únicamente sobre las características generales de cada fabricante (Cisco Systems, 2026b).

El análisis económico constituirá otro componente de la comparación. Para ello se considerará el costo de adquisición de los equipos, infraestructura de cableado, dispositivos de seguridad, puntos de acceso y otros componentes necesarios para construir cada alternativa. El objetivo no será determinar exclusivamente cuál infraestructura presenta el menor costo, sino analizar la relación entre inversión, capacidades y rendimiento. De esta manera, una alternativa con mayor inversión podría justificar su costo si proporciona ventajas relevantes en escalabilidad, administración, disponibilidad o calidad de servicio.

Figura 3

Análisis Económico y Evaluación de Alternativas de Infraestructura de Red

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



La discusión deberá relacionar los resultados experimentales con los antecedentes encontrados en la literatura. Si las mediciones muestran una reducción del jitter o de la pérdida de paquetes después de implementar QoS, estos resultados podrán contrastarse con investigaciones que han estudiado mecanismos de administración del tráfico para servicios sensibles al rendimiento. Del mismo modo, si los resultados muestran que la congestión afecta significativamente al tráfico VoIP, podrán relacionarse con estudios que identifican la congestión como una causa de degradación de la calidad de servicio (Hammouda et al., 2022; Wassie et al., 2023; Adjardjah et al., 2023).

Asimismo, deberá considerarse que la calidad del servicio no depende exclusivamente de un único parámetro. Una reducción del jitter no necesariamente significa que toda la infraestructura sea superior, debido a que también deben considerarse latencia, pérdida de paquetes, throughput, estabilidad, capacidad de crecimiento y costos. Por consiguiente, la interpretación de los resultados deberá realizarse de manera integral, evitando establecer conclusiones basadas en una sola métrica (Adjardjah et al., 2023; Di Mauro et al., 2024).

La evolución de las redes empresariales también permite interpretar los resultados desde una perspectiva más amplia. Las arquitecturas actuales incorporan progresivamente mecanismos de automatización, administración centralizada y análisis inteligente del tráfico. Las investigaciones recientes sobre SDN y predicción de tráfico muestran que la administración de redes está evolucionando hacia modelos capaces de adaptar sus decisiones de acuerdo con las condiciones observadas (Sandhu et al., 2022; Wassie et al., 2023). Sin embargo, estas tecnologías no sustituyen la necesidad de una infraestructura física adecuadamente dimensionada, debido a que la automatización y la inteligencia aplicada a la red dependen de la existencia de recursos suficientes para transportar el tráfico.

Figura 4

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

Comparativa de infraestructuras y metodología de evaluación



CONCLUSIONES

La presente investigación permite establecer que las redes computacionales empresariales deben analizarse como infraestructuras integrales destinadas no solamente a proporcionar conectividad, sino también a garantizar condiciones adecuadas para el funcionamiento de los diferentes servicios tecnológicos utilizados por las organizaciones. La creciente cantidad de usuarios, dispositivos y aplicaciones genera mayores requerimientos de capacidad, administración y disponibilidad, por lo que el diseño de la infraestructura debe considerar tanto las necesidades actuales como las posibilidades de crecimiento.

El análisis de la calidad del servicio permite observar que la existencia de conectividad no garantiza por sí misma un funcionamiento adecuado para todas las aplicaciones. Los servicios de comunicación en tiempo real, como VoIP, presentan requerimientos particulares y pueden verse afectados por latencia, jitter y pérdida de paquetes. Por esta razón, la administración diferenciada del tráfico constituye un elemento relevante para mantener condiciones adecuadas durante periodos de congestión.

La implementación de mecanismos QoS representa una estrategia importante para administrar los recursos disponibles y establecer prioridades de acuerdo con las necesidades de los servicios. Sin embargo, su efectividad depende de que exista una infraestructura correctamente diseñada, con capacidad suficiente, segmentación adecuada y políticas coherentes con las necesidades de la organización. En consecuencia, QoS debe considerarse como parte de una estrategia integral de diseño y administración de redes, y no como una solución aislada para cualquier problema de rendimiento.

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

La comparación entre Cisco y TP Link debe interpretarse a partir de las características específicas de los equipos utilizados y del escenario empresarial analizado. Ambas alternativas pueden incorporar funciones relacionadas con segmentación, administración del tráfico y calidad de servicio, aunque presentan diferencias en capacidades, administración, escalabilidad y costos. Por lo tanto, la selección de una solución no debe basarse únicamente en el precio o en la percepción general de una marca, sino en la correspondencia entre las características de la infraestructura y los requerimientos técnicos de la organización.

Finalmente, la investigación demuestra la importancia de relacionar el diseño de la infraestructura con métricas cuantificables de desempeño. El análisis de latencia, jitter, pérdida de paquetes y throughput permite establecer una evaluación más objetiva del comportamiento de una red empresarial. A partir de esta perspectiva, el diseño de redes computacionales empresariales puede orientarse hacia soluciones capaces de proporcionar interconectividad, calidad de servicio, escalabilidad y eficiencia económica, considerando las necesidades específicas de cada organización.

Nota importante para esta sección: los resultados definitivos de Cisco frente a TP Link, así como cualquier afirmación del tipo "Cisco obtuvo menor jitter" o "TP Link tuvo mejor relación costo beneficio", deben incorporarse después de realizar las pruebas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adjardjah, W., Kumassah, F., Abdallah, D. M., & Addor, J. A. (2023). Performance evaluation of VoIP analysis and simulation. Journal of Engineering Research and Reports, 25(7), 176–191. doi:10.9734/jerr/2023/v25i7951.

Cisco Systems. (2022). Configuring IP SLAs UDP jitter operations for VoIP. En IP Addressing Configuration Guide, Cisco IOS XE 17.x. Cisco Systems.

Cisco Systems. (2026a). What is an enterprise network? Cisco Systems.

Cisco Systems. (2026b). Quality of Service Configuration Guide, Cisco IOS XE 17.x. Cisco Systems.

Di Mauro, M., Galatro, G., Postiglione, F., Song, W., & Liotta, A. (2024). Multivariate time series characterization and forecasting of VoIP traffic in real mobile networks. IEEE Transactions on Network and Service Management, 21(1), 851–865. doi:10.1109/TNSM.2023.3295748.

Hammouda, K., Zulkiflee, M., Elzamly, A., & Mohammed, D. (2022). Quality of Service (QoS) in campus network: Comprehensive survey. Journal of Advanced Computing Technology and Application, 4(2), 65–78. doi:10.54554/jacta.2022.04.02.005.

Lyu, M., Habibi Gharakheili, H., & Sivaraman, V. (2022). Classifying and tracking enterprise assets via dual-grained network behavioral analysis. Computer Networks, 218, 109387. doi:10.1016/j.comnet.2022.109387.

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

Sandhu, J. K., Singla, B., Pundir, M., Rao, S., & Verma, A. K. (2022). Software-Defined Networking: Recent developments and potential synergies. En A. Nayyar, B. Singla, & P. Nagrath (Eds.), Software Defined Networks (pp. 279–319). Wiley. doi:10.1002/9781119857921.ch9.

TP-Link. (2023). Omada solution for small to mid-size offices. TP-Link Technologies.

TP-Link. (2024). How to configure Class of Service (CoS) through Omada Controller. TP-Link Technologies.

Wassie, G., Ding, J., & Wondie, Y. (2023). Traffic prediction in SDN for explainable QoS using deep learning approach. Scientific Reports, 13, 20607. doi:10.1038/s41598-023-46471-8.

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

Transformación y competitividad en PYMES tradicionales: gestión organizacional y marketing para el desarrollo sostenible local

Transformation and competitiveness in traditional SMEs: organizational management and marketing for local sustainable development

Linda Aurora Camacho González
Universidad Autónoma del Estado de México
linda.aurora.cg@gmail.com
Midiam Mariana Maldonado Martínez
Universidad Autónoma del Estado de México
ORCID: 0000-0002-5742-6681
mmmaldonadom@uaemex.mx
Er Navas Maldonado
Universidad Autónoma del Estado de México
ORCID: 0009-0006-4590-4187
enavasm@uaemex.mx

RESUMEN

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) constituyen un actor fundamental para el desarrollo económico territorial; sin embargo, las PYMES tradicionales enfrentan desafíos estructurales que limitan su competitividad, capacidad de adaptación y sostenibilidad en entornos cada vez más dinámicos. En este contexto, el presente estudio analiza la relación entre la gestión organizacional, las capacidades de marketing y la competitividad sostenible de las unidades económicas consideradas en el estudio. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo-correlacional y diseño no experimental de corte transversal. La población de estudio estuvo conformada por empresarios del municipio de Zinacantepec, Estado de México, evaluándose dimensiones relacionadas con la formalización administrativa, las estrategias de comercialización, la incorporación de herramientas digitales y la diferenciación competitiva. Los resultados evidencian una relación positiva entre la profesionalización de los procesos organizacionales y el desempeño empresarial. Asimismo, se identifican limitaciones en la adopción de capacidades digitales,

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

innovación y estrategias de diferenciación, factores que restringen la resiliencia y adaptación competitiva de las PYMES frente a mercados cada vez más exigentes. Finalmente, el estudio propone un modelo integral de transformación organizacional orientado al fortalecimiento de las capacidades empresariales en tres ejes: administrativo, comercial y estratégico, con el propósito de mejorar la sostenibilidad territorial. Se concluye que la transformación debe responder a las condiciones socioculturales de los empresarios y contribuir al desarrollo de territorios más competitivos, resilientes y sostenibles.

Palabras clave: PYMES tradicionales, transformación organizacional, competitividad sostenible, capacidades organizacionales, desarrollo territorial.

ABSTRACT

Small and medium-sized enterprises (SMEs) represent a strategic driver of territorial economic development; however, traditional SMEs continue to face structural challenges that constrain their competitiveness, adaptability, and long-term sustainability in increasingly dynamic environments. In this context, the present study examines the relationship between organizational management, marketing capabilities, and sustainable competitiveness among the economic units analyzed in this research. The study was conducted using a quantitative approach with a descriptive-correlational scope and a non-experimental cross-sectional design. The study population consisted of business owners from the municipality of Zinacantepec, State of Mexico. The analysis evaluated dimensions related to administrative formalization, commercialization strategies, the incorporation of digital tools, and competitive differentiation. Findings reveal a positive relationship between the professionalization of organizational processes and business performance. At the same time, significant limitations were identified in the adoption of digital capabilities, innovation practices, and differentiation strategies, factors that restrict SMEs' resilience and competitive adaptability in increasingly demanding markets. Finally, the study proposes a comprehensive organizational transformation model aimed at strengthening business capabilities across three dimensions: administrative, commercial, and strategic. The model seeks to enhance territorial sustainability and organizational competitiveness. The study concludes that transformation processes must respond to the sociocultural conditions of entrepreneurs while contributing to the development of more competitive, resilient, and sustainable territories.

Keywords: Traditional SMEs, organizational transformation, sustainable competitiveness, organizational capabilities, territorial development.

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

INTRODUCCIÓN

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) representan un elemento fundamental para el desarrollo económico y social, debido a su impacto en el fortalecimiento de empleos ydesarrollo productivo de bienes y servicios y la dinamización de las economías regionales. En México representan más del 99 % de las unidades económicas y participan de manera importante en la creación de empleo formal, por lo que su desempeño incide directamente en la competitividad territorial y en el crecimiento económico sostenible (INEGI, 2024; OCDE, 2023). Su importancia trasciende el ámbito económico, ya que fortalecen los sistemas productivos locales, favorecen el emprendimiento y contribuyen a la cohesión social de las comunidades donde operan. Esta realidad forma parte de una tendencia observada en la mayoría de las economías pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), donde las PYMES generan una proporción significativa del empleo y enfrentan desafíos relacionados con la productividad, la digitalización y la evolución hacia modelos de negocio más sostenibles (OECD, 2024).

No obstante, el contexto empresarial contemporáneo impone desafíos que transforman la forma en que estas organizaciones compiten y generan valor. La acelerada digitalización, la globalización de los mercados, la creciente competencia y el cambio constante de las preferencias de los consumidores exigen capacidades organizacionales que permitan responder con rapidez a escenarios cada vez más dinámicos. En este entorno, numerosas PYMES tradicionales continúan operando mediante esquemas administrativos sustentados principalmente en la experiencia de sus propietarios, con procesos poco formalizados y una limitada incorporación de estrategias de marketing e innovación, condiciones que restringen su capacidad de adaptación y permanencia (CEPAL, 2024).

La literatura especializada coincide en que la competitividad empresarial ya no depende de la disposición de recursos tangibles, sino del potencial de las organizaciones para desarrollar, coordinar y renovar recursos estratégicos que les permitan responder a las transformaciones del entorno (Barney, 1991; Teece, 2007). Desde esta perspectiva, la transformación organizacional representa un proceso integral mediante el cual las empresas fortalecen sus capacidades administrativas, comerciales y estratégicas para incrementar su desempeño y construir ventajas competitivas sostenibles (Kahveci, 2025; Verhoef et al., 2021). Desde esta óptica, la profesionalización de la gestión, la orientación al mercado y la incorporación de herramientas digitales dejan de ser acciones aisladas para convertirse en capacidades complementarias que favorecen la adaptación empresarial.

A pesar de los avances alcanzados por la literatura sobre competitividad de las PYMES, persiste un vacío en torno al estudio de la transformación organizacional como un proceso integrado que articule la gestión organizacional, las capacidades de marketing y la digitalización en empresas tradicionales ubicadas en contextos locales. La mayoría de las investigaciones analiza estos factores de forma independiente o se concentra en empresas con mayores niveles de formalización, mientras que existe

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

menor evidencia empírica sobre organizaciones tradicionales cuyo funcionamiento depende en gran medida del conocimiento práctico de sus propietarios y de los recursos disponibles en el territorio.

Esta problemática adquiere especial relevancia dentro del territorio de Zinacantepec, Estado de México, donde predominan pequeñas unidades económicas familiares dedicadas principalmente al comercio y los servicios. Aunque estas empresas desempeñan una función primordial en la generación de ingresos y empleo para la población, enfrentan desafíos relacionados con la planeación estratégica, la formalización administrativa, la adopción tecnológica y el desarrollo de estrategias comerciales orientadas al fortalecimiento de su competitividad. Atender estas limitaciones resulta pertinente no sólo para mejorar el desempeño individual de las empresas, sino también para fortalecer el tejido productivo local y favorecer procesos de desarrollo territorial sostenible.

En este contexto, el objetivo fundamental del estudio es el análisis de la relación entre la transformación organizacional y la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales del municipio de Zinacantepec, Estado de México, tomando como fundamento la Teoría de Recursos y Capacidades y la visión de las Capacidades Dinámicas. Por lo tanto, la investigación se orienta por la siguiente pregunta: ¿cómo se relaciona la transformación organizacional con la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales de Zinacantepec, Estado de México?

La contribución del estudio se presenta por un lado en el plano teórico, aporta evidencia empírica que amplía la comprensión de la transformación organizacional como un proceso integrado de desarrollo de capacidades administrativas, comerciales y estratégicas en PYMES tradicionales. Y por el otrom en el plano aplicado, donde propone un Modelo Integral de Transformación Organizacional para PYMES Tradicionales, construido a partir de los hallazgos empíricos, que ofrece una herramienta para orientar acciones de fortalecimiento empresarial impulsadas por universidades, organismos gubernamentales, incubadoras y cámaras empresariales. De esta manera, el estudio contribuye tanto al avance de la literatura sobre competitividad sostenible como al diseño de estrategias orientadas al desarrollo económico y territorial.

La transformación organizacional en las PYMES tradicionales

Las empresas pequeñas y medianas representan el sustento productivo de la mayoría de las economías emergentes y desempeñan un rol fundamental en la generación de empleo, el crecimiento regional y la innovación. Sin embargo, su permanencia continúa condicionada por la capacidad para responder a entornos caracterizados por cambios tecnológicos acelerados, mercados más dinámicos y consumidores con expectativas crecientes. En este contexto, la competitividad deja de depender únicamente del tamaño o de la disponibilidad de recursos financieros y pasa a estar estrechamente vinculada con la capacidad de las organizaciones para transformarse continuamente (OCDE, 2023; CEPAL, 2024).

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

La transformación organizacional puede entenderse como un proceso sistemático mediante el cual las empresas modifican estructuras, procesos, capacidades y formas de gestión para adaptarse a nuevas condiciones competitivas y generar ventajas sostenibles. En este sentido, el Foro Económico Mundial identifica la capacidad de adaptación organizacional, la digitalización y el desarrollo de talento como algunos de los principales factores que determinarán la competitividad empresarial durante la presente década, particularmente en pequeñas y medianas empresas que enfrentan procesos acelerados de cambio tecnológico (World Economic Forum, 2025). Más que un cambio puntual, representa una evolución orientada al aprendizaje, la innovación organizacional y la mejora continua (Burke, 2018). En el caso de las PYMES tradicionales, este proceso implica superar modelos administrativos sustentados principalmente en la experiencia del propietario para incorporar prácticas formales de planeación, control, orientación al mercado y gestión estratégica.

Diversas investigaciones recientes coinciden en que la transformación organizacional constituye uno de los elementos que mejor explica el desempeño competitivo de las PYMES. Kahveci (2025) señala que las organizaciones con mayor capacidad de transformación desarrollan estructuras más flexibles, incrementan su velocidad de respuesta y fortalecen su capacidad para generar valor frente a escenarios de incertidumbre. De manera similar, Ali et al. (2024) sostienen que el cambio no debe interpretarse exclusivamente como digitalización, sino como un procedimiento completo que articula capacidades administrativas, innovación, liderazgo y orientación al cliente.

Esta perspectiva resulta particularmente relevante para las PYMES tradicionales mexicanas, donde persisten altos niveles de informalidad administrativa y una fuerte concentración de las decisiones en el propietario. Aunque estas características han permitido la supervivencia de numerosos negocios familiares, también limitan la profesionalización de la gestión, dificultan la adopción de innovaciones y restringen la posibilidad de construir ventajas competitivas sostenibles (CEPAL, 2024). De igual forma, comprender la transformación organizacional desde una visión integral permite explicar por qué algunas empresas logran adaptarse exitosamente mientras otras permanecen estancadas, aun operando en contextos económicos similares.

La Teoría de Recursos y Capacidades y las Capacidades Dinámicas como fundamento de la competitividad

Uno de los enfoques más influyentes para analizar las disparidades de desempeño existentes entre las empresas es la Teoría de Recursos y Capacidades. En 1984, Wernerfelt fue pionero en plantear que la ventaja competitiva depende de los recursos internos de la empresa más que de las condiciones del mercado. Posteriormente, Barney (1991) desarrolló esta perspectiva al establecer que los recursos generan ventajas sostenibles cuando poseen atributos de valor, rareza, dificultad de imitación y organización para su aprovechamiento (VRIO).

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

Desde esta perspectiva, la competitividad no se explica únicamente por la disponibilidad de recursos financieros, infraestructura o tecnología, sino por la manera en que las organizaciones integran conocimientos, habilidades, procesos y capacidades para generar valor superior. En las PYMES tradicionales, estos recursos suelen encontrarse asociados al conocimiento acumulado del propietario, las relaciones con clientes, la trayectoria en el mercado y el prestigio consolidado a lo largo del tiempo. Sin embargo, cuando dichos recursos permanecen desvinculados de procesos formales de gestión, su potencial competitivo tiende a disminuir.

La evolución de esta teoría dio origen al enfoque de las Capacidades Dinámicas, propuesto principalmente por Teece, Pisano y Shuen (1997) y posteriormente ampliado por Teece (2007). Este enfoque sostiene que las organizaciones requieren desarrollar capacidades para detectar oportunidades, aprovecharlas mediante decisiones estratégicas oportunas y reconfigurar continuamente sus recursos frente a los cambios del entorno. En mercados altamente dinámicos, la ventaja competitiva ya no depende exclusivamente de los recursos existentes, ahora depende de la capacidad para renovarlos de forma permanente.

La evidencia reciente respalda esta postura. Valdez-Juárez y Castillo-Vergara (2021) demostraron que las capacidades dinámicas favorecen la innovación y fortalecen el desempeño competitivo de las PYMES latinoamericanas al facilitar la adaptación organizacional frente a escenarios de incertidumbre. De manera adicional, Held et al. (2026) señalan que las capacidades dinámicas constituyen el fundamento sobre el cual las pequeñas y medianas empresas desarrollan liderazgo digital y una cultura organizacional dirigida hacia la transformación, fortaleciendo así su capacidad para adaptarse y ser competitivos en entornos altamente dinámicos. Bajo esta perspectiva, ambas teorías ofrecen un marco conceptual sólido para interpretar la transformación organizacional como un mecanismo de fortalecimiento de capacidades internas. En lugar de concebir la transformación como una sucesión de cambios aislados, este estudio la entiende como un proceso mediante el cual las PYMES desarrollan recursos estratégicos que incrementan su capacidad de adaptación y favorecen la construcción de ventajas competitivas sostenibles.

Gestión organizacional, orientación al mercado y transformación digital

La literatura contemporánea reconoce que la competitividad empresarial depende de la interacción entre capacidades administrativas, comerciales y tecnológicas. En este sentido, la gestión organizacional constituye el eje que articula el proceso admnisrrativo aplicado a los recursos para alcanzar los objetivos establecidos como estratégicos (Chiavenato, 2021; Robbins & Coulter, 2022). No obstante, en numerosas PYMES tradicionales estas funciones continúan desarrollándose de manera empírica, lo que limita tomar decisiones basadas en información y dificulta la consolidación de procesos organizacionales eficientes.

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

Paralelamente, la orientación al mercado representa una capacidad estratégica indispensable para entender las demandas de los clientes, anticipar cambios en la demanda y construir propuestas de valor diferenciadas. Kotler y Keller (2022) sostienen que las organizaciones competitivas son aquellas capaces de transformar el conocimiento del mercado en decisiones comerciales que fortalezcan su posicionamiento y generen relaciones duraderas con los consumidores. En el caso de las pequeñas empresas, esta orientación adquiere especial importancia debido a que la cercanía con el cliente constituye una de sus principales fortalezas competitivas.

En los últimos años, la digitalización pasó de ser un recurso alternativo a un componente esencial de la transformación organizacional. Sin embargo, su impacto depende menos de la incorporación de tecnologías específicas y más de la capacidad de las empresas para integrarlas dentro de sus procesos administrativos y comerciales. Verhoef et al. (2021) argumentan que transformar digtalmente las organizaciones genera ventajas competitivas únicamente cuando modifica la forma en que la organización crea, otorga y captura valor. La evidencia internacional también muestra que la transformación digital constituye un componente esencial para elevar el rendimiento y posicionamiento de las PYMES, especialmente en economías emergentes donde persisten brechas importantes en infraestructura tecnológica y capacidades digitales (UNCTAD, 2024). De manera similar, Morgan (2022) plantea que las capacidades de marketing fortalecidas mediante herramientas digitales permiten mejorar la interacción con los clientes, ampliar mercados y responder con mayor rapidez a las condiciones cambiantes del entorno.

Así, la transformación organizacional debe comprenderse como un proceso multidimensional donde la profesionalización administrativa, la orientación al mercado y la incorporación estratégica de herramientas digitales actúan de forma complementaria para fortalecer las capacidades organizacionales.

Competitividad sostenible y propuesta conceptual del estudio

La competitividad se ha transformado desde enfoques basados exclusivamente en la productividad hacia perspectivas que incorporan facultad de las organizaciones para generar beneficios económicos de manera sostenible. Porter (1990) planteó que las ventajas competitivas se originan a partir de la capacidad para desarrollar estrategias difíciles de imitar; sin embargo, investigaciones recientes destacan que dichas ventajas sólo pueden mantenerse cuando las empresas desarrollan procesos permanentes de aprendizaje, innovación y adaptación organizacional.

Desde esta perspectiva, la competitividad sostenible implica la capacidad de las empresas para mantener un mejor desempeño a lo largo del tiempo mediante el fortalecimiento continuo de sus recursos y capacidades (Dyllick & Muff, 2016). Abbas et al. (2023) sostienen que las organizaciones sosteniblemente competitivas integran la innovación, la gestión estratégica y la responsabilidad con sus partes interesadas como elementos complementarios para generar valor económico y social.

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

Asimismo, Hoang et al. (2025) evidencian que la transformación organizacional incrementa su capacidad de adaptación y favorece la permanencia de las PYMES ante escenarios altamente dinámicos.

Con base en esta perspectiva teórica, el presente estudio plantea que la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales no depende de un elemento aislado, sino del vínculoque se genera entre la gestión organizacional, la orientación al mercado y la incorporación estratégica de herramientas digitales. Estas dimensiones fortalecen las capacidades organizacionales, incrementan la capacidad de adaptación y permiten construir ventajas competitivas sostenibles que favorecen tanto el crecimiento empresarial como el desarrollo económico del territorio.

Asimismo, el modelo conceptual propuesto establece que la transformación organizacional constituye la variable explicativa principal, integrada por tres dimensiones: gestión organizacional, marketing y digitalización, que fortalecen las capacidades internas de las empresas y repercuten positivamente en su competitividad sostenible.

Modelo Conceptual de la Investigación

El modelo conceptual se fundamenta en la Teoría de Recursos y Capacidades (Barney, 1991) y en el enfoque de Capacidades Dinámicas (Teece, 2007). Ambos planteamientos sostienen que la competitividad empresarial depende menos del acceso a recursos tangibles y más de la capacidad de las organizaciones para desarrollar, integrar y reestructurar recursos estratégicos frente a ecosistemas empresariales altamente dinámicos.

Bajo esta perspectiva, el estudio plantea que la transformación organizacional constituye la variable explicativa principal y se manifiesta mediante tres dimensiones complementarias:

- Gestión organizacional.
- Marketing y orientación al mercado.
- Incorporación estratégica de herramientas digitales.

Estas dimensiones fortalecen las capacidades organizacionales internas, incrementan la capacidad adaptativa de la empresa y favorecen la generación de ventajas competitivas sostenibles, reflejadas en mayores niveles de diferenciación, crecimiento, permanencia y capacidad de respuesta frente al entorno.

Figura 1.

Modelo conceptual propuesto.

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



Nota: Elaboración propia a partir de Barney (1991), Teece (2007), Verhoef et al. (2021) y Abbas et al. (2023).

METODOLOGÍA

El diseño metodológico del estudio se rigió bajo la perspectiva cuantitativa, orientado a precisar y describir la relación entre la transformación de las organizaciones y la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales. De acuerdo con Creswell y Creswell (2023), los estudios cuantitativos permiten examinar relaciones entre variables mediante procedimientos sistemáticos de recolección y análisis de datos, proporcionando evidencia empírica para contrastar planteamientos teóricos.

El estudio posee un alcance descriptivo-correlacional. En un primer término se definieron las características administrativas, comerciales y tecnológicas de las empresas participantes y, posteriormente, se observó la asociación existente entre dichas dimensiones y la competitividad sostenible. Este tipo de diseño resulta adecuado cuando el propósito consiste en comprender la relación entre variables sin establecer inferencias causales (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023).

La investigación se realizó en el municipio de Zinacantepec, Estado de México, una región caracterizada por una alta concentración de pequeñas unidades económicas dedicadas principalmente al comercio y los servicios. Estas empresas representan un pilar fundamental en la creación de empleo y la percepción de ingresos de los habitantes de la región; sin embargo, enfrentan desafíos relacionados con la formalización administrativa, la incorporación de tecnologías digitales y el fortalecimiento de sus capacidades competitivas. La elección del contexto responde al interés por analizar organizaciones tradicionales cuya operación depende, en gran medida, del conocimiento práctico de sus propietarios y donde los procesos de transformación organizacional constituyen un reto para la consolidación empresarial.

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

La población objetivo estuvo integrada por propietarios o responsables PYMES tradicionales del municipio de Zinacantepec. Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a las características de las unidades económicas participantes y a la disposición de los empresarios para colaborar en la investigación. La muestra quedó conformada por 68 empresas, número suficiente para realizar análisis descriptivos y correlacionales alineados con el proósito del estudio. La unidad de análisis correspondió a cada empresa participante, considerando como informante principal al propietario o responsable de la toma de decisiones.

El estudio se estructuró a partir de dos variables principales, como se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1.

Operacionalización de las variables de estudio

Variable	Dimensiones	Fundamentación
Transformación organizacional	Gestión organizacional, marketing, digitalización	Barney (1991); Teece (2007)
Competitividad sostenible	Adaptabilidad, diferenciación, crecimiento, permanencia	Porter (1990); Abbas et al. (2023)

Nota: Elaboración propia

Larecolección de tdatos se llevó a cabo por medio de un cuestionario estructurado desarrollado ex profeso para esta investigación. El instrumento incluyó preguntas relacionadas con:

- características generales de la empresa;
- prácticas de gestión organizacional;
- estrategias de marketing;
- utilización de herramientas digitales;
- percepción del desempeño competitivo.

La mayoría de los reactivos fueron medidos mediante escalas tipo Likert de cinco elementos, lo que contribuyó a cuantificar la apreciación de los participantes respecto a las variables de estudio. Previo a su aplicación, el cuestionario se revisó para verificar la claridad de los reactivos y la consistencia de las dimensiones evaluadas.

La fiabilidad del instrumento se determinó mediante el coeficiente Alpha de Cronbach, el cual arrojó un valor de 0.93, indicador que refleja un nivel de confiabilidad considerado excelente para investigaciones en ciencias sociales (Hair et al., 2022). Este resultado permite observar que los

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

reactivos presentan una elevada coherencia interna y miden de manera consistente los constructos analizados.

La aplicación del instrumento se realizó de manera directa con los propietarios o responsables de las empresas participantes. Previo a la aplicación del instrumento, se informó a los participantes sobre el objetivo del mismo, asegurando el anonimato y privacidad de la información.

El análisis de la información se ejecutó en dos etapa: en la primera, se realizó a través de un análisis descriptivo con la finalidad de definir el perfil de las organizaciones evaluadas y analizar el comportamiento de las variables en estudio. A continuación se analizó la correlación para identificar la asociación existente entre la transformación organizacional y la competitividad sostenible. La interpretación de los resultados se sustentó en la Teoría de Recursos y Capacidades y en el punto de vista de Capacidades Dinámicas, permitiendo explicar cómo el fortalecimiento de capacidades administrativas, comerciales y tecnológicas contribuye a la mejora del desempeó competitivo de las PYMES tradicionales.

Considerando todo lo anterior, se presenta la tabla 2 integrada por la síntesis metodológica:

Tabla 2.

Diseño metodológico de la investigación.

Aspecto	**Descripción**
Enfoque	Cuantitativo
Alcance	Descriptivo-correlacional
Diseño	No experimental
Corte	Transversal
Muestra	68 empresas
Muestreo	Conveniencia
Instrumento	Cuestionario Likert
Confiabilidad	α=.93

Nota: Elaboración propia

Tomando como punto de partida el modelo conceptual y la literatura revisada, se plantea la siguiente hipótesis:

H1. La transformación organizacional se relaciona de manera positiva y significativa con la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales del municipio de Zinacantepec, Estado de México.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra estuvo conformada por 68 pequeñas y medianas empresas tradicionales ubicadas en el municipio de Zinacantepec, Estado de México. La media de edad de los propietarios fue de 42.9 años, predominando la participación femenina (58.82 %) sobre la masculina (39.71 %). En términos educativos, cerca de la mitad de los empresarios reportó contar con estudios de nivel secundaria (48.53 %), mientras que el resto presentó distintos niveles de escolaridad.

Estas características reflejan un perfil empresarial representativo de numerosas economías locales mexicanas, donde los emprendimientos familiares y los pequeños negocios constituyen la base del tejido productivo. Como señalan la OCDE (2023) y la CEPAL (2024), este tipo de empresas suele desarrollarse mediante procesos de aprendizaje empírico, con una fuerte dependencia de la experiencia del propietario para la gestión estratégica del negocio. Esta condición influye tanto en la manera en que se gestionan los recursos como en la velocidad con que las organizaciones incorporan procesos de innovación y transformación.

Más que representar una limitación en sí misma, este contexto constituye el escenario donde la transformación organizacional adquiere mayor relevancia, ya que la profesionalización de la gestión puede convertirse en un mecanismo para fortalecer la competitividad sin perder la cercanía con el mercado local.

Gestión organizacional: entre la experiencia y la formalización

La evidencia empírica indica una aparente contradicción característica de las PYMES tradicionales. Por un lado, el 91.18% de los empresarios reconoce lo trascendente que es administración para el éxito de su negocio; sin embargo, únicamente el 51.47% mantiene registros administrativos sistemáticos y sólo el 44.12% realiza revisiones financieras de manera cotidiana. Asimismo, cerca de dos terceras partes de los participantes (66%) señalaron que las decisiones estratégicas continúan concentrándose principalmente en el propietario.

Estos resultados permiten inferir que el comprender la importancia que tiene la administración no necesariamente se traduce en procesos organizacionales formalizados. En otras palabras, existe una valoración positiva de la gestión empresarial, pero su implementación continúa dependiendo del conocimiento tácito y de la experiencia acumulada.

Este hallazgo coincide con la perspectiva de Chiavenato (2021), quien sostiene que la administración genera valor únicamente cuando los procesos administrativos fundamentales como lo son planeación, organización, dirección y control se institucionalizan dentro de la organización. De forma similar, Robbins y Coulter (2022) argumentan que la profesionalización administrativa constituye una condición indispensable para incrementar la capacidad de respuesta organizacional.

Desde la Teoría de Recursos y Capacidades (Barney, 1991), esta situación refleja que el conocimiento del propietario representa un recurso valioso, aunque insuficiente para construir ventajas

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

competitivas sostenibles si permanece concentrado en una sola persona y no se convierte en una capacidad organizacional compartida.

Los resultados sugieren que la principal oportunidad de mejora para estas empresas no consiste únicamente en incrementar recursos financieros o tecnológicos, sino en fortalecer mecanismos de gestión que permitan transformar el conocimiento individual en capacidades organizacionales permanentes.

Marketing y orientación al mercado: una fortaleza con escasa sistematización

Los hallazgos demuestras que las empresas en estudio mantienen un vínculo estrecho con sus clientes. El 91 % de los empresarios manifestó conocer adecuadamente las necesidades de su mercado y la mayoría considera que la calidad del servicio constituye su principal elemento diferenciador. No obstante, esta fortaleza convive con una limitada formalización de las estrategias comerciales. Aproximadamente el 84 % continúa dependiendo principalmente de la venta presencial, mientras que el 76 % reconoce no desarrollar estrategias sistemáticas para atraer nuevos clientes.

Estos resultados revelan que la orientación al mercado existe principalmente desde la experiencia cotidiana del empresario y no como resultado de procesos estructurados de análisis comercial.

Kotler y Keller (2022) señalan que conocer al cliente representa solamente el primer paso dentro del marketing estratégico; la verdadera ventaja competitiva surge cuando ese conocimiento se traduce en segmentación, posicionamiento y propuestas de valor diferenciadas.

Los hallazgos también coinciden con Morgan (2022), quien demuestra que las capacidades de marketing fortalecen el desempeño empresarial únicamente cuando se integran con procesos organizacionales orientados al aprendizaje y la innovación.

Por tanto, las PYMES analizadas presentan un importante capital relacional construido mediante la cercanía con sus consumidores; sin embargo, ese recurso todavía no se convierte en una capacidad estratégica capaz de impulsar procesos sostenidos de crecimiento.

Digitalización: la principal brecha para la transformación organizacional

La incorporación de herramientas digitales representa el componente con mayores oportunidades de desarrollo dentro de las empresas analizadas.

Sólo el 36.76 % manifestó utilizar herramientas digitales de manera habitual y apenas el 20.59 % emplea redes sociales como parte de su estrategia comercial. Resulta especialmente relevante que cerca del 69 % de los empresarios indicó no haber considerado el uso sistemático de plataformas digitales para consolidar su modelo de negocio.

Los datos obtenidos permiten inferir que la digitalización aún no forma parte de la estrategia organizacional de una proporción importante de las empresas estudiadas.

Sin embargo, este hallazgo no debe interpretarse únicamente como una ausencia tecnológica. Verhoef et al. (2021) argumentan que la transición digital conduce a la adopción de herramientas específicas

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

y depende de las forrtalezas empresariales para reconfigurar la actividad interna, generar nuevas formas de interacción con el mercado y robustecer la toma de decisiones informada.

Desde la perspectiva de las Capacidades Dinámicas (Teece, 2007), la limitada incorporación tecnológica observada en este estudio puede interpretarse como una menor capacidad para detectar oportunidades, reconfigurar recursos y responder oportunamente a cambios del entorno competitivo.

La evidencia obtenida sugiere que la digitalización constituye actualmente el principal desafío para consolidar procesos de transformación organizacional en las PYMES tradicionales.

Transformación organizacional y competitividad sostenible

A partir de la revisión integral de los resultados se logra identificar un patrón consistente: las empresas poseen fortalezas importantes relacionadas con la experiencia de sus propietarios, el conocimiento del mercado y su propuesta de valor; sin embargo, estas fortalezas coexisten con debilidades estructurales asociadas a la formalización administrativa, la gestión comercial y la incorporación estratégica de tecnologías.

Este comportamiento respalda la hipótesis central del estudio, al evidenciar que la competitividad sostenible no está supeditada exclusivamente de los recursos disponibles, sino del potencial organizacional para integrarlos y transformarlos en ventajas competitivas.

Los resultados son congruentes con los planteamientos de Barney (1991), quien argumenta que los recursos sólo generan ventajas sostenibles cuando la organización desarrolla capacidades para administrarlos estratégicamente. Asimismo, respaldan la propuesta de Teece (2007), según la cual las organizaciones competitivas son aquellas capaces de renovar continuamente sus recursos mediante procesos permanentes de aprendizaje y adaptación.

La evidencia también coincide con investigaciones recientes desarrolladas en pequeñas empresas latinoamericanas (Valdez-Juárez & Castillo-Vergara, 2021), donde la transformación organizacional favorece la innovación, desarrolla la resiliencia empresarial y mejora el desempeño competitivo.

En conjunto, los hallazgos permiten sostener que la competitividad sostenible en las PYMES tradicionales emerge de la interacción entre tres capacidades complementarias: una gestión organizacional profesionalizada, una orientación estratégica al mercado y una incorporación inteligente de herramientas digitales. Ninguna de estas dimensiones, considerada de manera aislada, resulta suficiente para explicar el desempeño empresarial observado.

Implicaciones para el modelo propuesto

La integración de la evidencia empírica con la literatura especializada permitió construir el Modelo Integral de Transformación Organizacional para PYMES Tradicionales, el cual sintetiza los principales factores identificados durante la investigación.

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

El modelo propone que la transformación organizacional constituye un proceso gradual mediante el cual las empresas fortalecen capacidades administrativas, comerciales y tecnológicas que, al interactuar de manera complementaria, incrementan su capacidad de adaptación, favorecen la diferenciación competitiva y fortalecen su permanencia en el mercado.

Más que representar una secuencia lineal de acciones, el modelo concibe la transformación organizacional como un proceso continuo de aprendizaje y mejora permanente. Esta perspectiva amplía los enfoques tradicionales centrados exclusivamente en la adopción tecnológica y plantea que la competitividad sostenible depende, fundamentalmente, del desarrollo de capacidades organizacionales capaces de generar valor en contextos cambiantes.

CONCLUSIONES

El propósito fundamental del estudio consistió en evaluar la transformación organizacional y la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales del municipio de Zinacantepec, Estado de México. Los resultados generados concluyen que la competitividad empresarial no está condicionado al acceso financiero, sino por la facultad que poseen las organizaciones para desarrollar procesos de transformación que fortalezcan sus capacidades administrativas, comerciales y tecnológicas.

Los datos recopilados revelan que las organizaciones analizadas presentan ventajas competitivas clave fundadas en la trayectoria de sus fundadores, la estrecha comprensión de las necesidades del mercado y la excelencia de sus productos. servicios. Sin embargo, dichas fortalezas coexisten con debilidades estructurales relacionadas con la limitada formalización administrativa, la escasa sistematización de las estrategias de marketing y el reducido aprovechamiento de herramientas digitales. Esta combinación explica que numerosas PYMES logren mantenerse operando durante largos periodos, pero enfrenten mayores dificultades para consolidar ventajas competitivas sostenibles en contextos caracterizados por cambios tecnológicos, mercados dinámicos y consumidores cada vez más exigentes.

Los hallazgos respaldan los planteamientos de la Teoría de Recursos y Capacidades y del enfoque de Capacidades Dinámicas, al evidenciar que los recursos organizacionales generan ventajas competitivas únicamente cuando son gestionados mediante capacidades que permiten integrarlos, renovarlos y adaptarlos continuamente a las condiciones del entorno. En este sentido, la investigación confirma que la transformación organizacional constituye un proceso estratégico que va más allá de la incorporación aislada de la tecnología o la adopción de herramientas administrativas; implica la articulación de prácticas de gestión, orientación al mercado y aprendizaje organizacional que fortalecen la capacidad de adaptación y permanencia empresarial.

Bajo un enfoque teórico, los datos que aporta el estudio dan sustento a un fenómeno que ha recibido menor atención en la literatura latinoamericana: la transformación organizacional de las PYMES

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

tradicionales como un proceso integral para fortalecer la competitividad sostenible. Mientras que numerosos trabajos analizan por separado la gestión administrativa, el marketing o la digitalización, esta investigación demuestra que dichas dimensiones actúan de manera interdependiente y que su integración favorece el desarrollo de capacidades organizacionales capaces de sostener el desempeño competitivo en el largo plazo. De esta manera, el estudio contribuye a ampliar la comprensión de la competitividad desde una visión sistémica, donde la transformación organizacional constituye el eje articulador del desarrollo empresarial.

En el ámbito práctico, la investigación propone el Modelo Integral de Transformación Organizacional para PYMES Tradicionales, construido a partir de la integración entre los fundamentos teóricos y la evidencia empírica obtenida. El modelo ofrece una guía para orientar procesos de fortalecimiento empresarial impulsados por universidades, incubadoras, organismos gubernamentales, cámaras empresariales y programas de desarrollo económico local. Asimismo, proporciona un referente para que los propios empresarios identifiquen áreas prioritarias de mejora relacionadas con la profesionalización de la gestión, la orientación estratégica al mercado y la incorporación gradual de herramientas digitales, favoreciendo así la construcción de ventajas competitivas sostenibles. Esta perspectiva coincide con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, la cual señala que el fortalecimiento de las capacidades organizacionales de las PYMES constituye uno de los principales mecanismos para promover procesos de industrialización inclusiva y desarrollo territorial sostenible (UNIDO, 2024).

Las implicaciones de estos resultados trascienden el ámbito individual de las empresas estudiadas. Considerando que las PYMES representan el principal componente del tejido productivo mexicano, fortalecer sus capacidades organizacionales puede generar efectos positivos sobre la productividad regional, generación de empleos dignos, innovación e incluso, desarrollo territorial. En ese sentido, las políticas públicas orientadas al fortalecimiento empresarial deberían privilegiar estrategias integrales de transformación organizacional por encima de intervenciones centradas exclusivamente en el financiamiento o la adquisición de tecnología.

Conviene precisar el análisis está sujeto a delimitaciones particulares. En primer lugar, el análisis se realizó mediante un diseño transversal, por lo que los resultados reflejan las condiciones observadas en un momento específico y no permiten analizar la evolución temporal de los mecanismos de transformación organizacional. En segundo término, para la investigación se contó con empresas ubicadas en un único territorio, lo que limita generalizar los resultados hacia otras regiones con características económicas distintas. Finalmente, el estudio se fundamentó en la percepción de los propietarios o responsables de las empresas, por lo que futuras investigaciones podrían complementar esta información mediante indicadores objetivos de desempeño organizacional y competitivo. Esto permite identificar oportunidades para el desarrollo de investigaciones futuras.

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

Resultaría pertinente desarrollar estudios que permitan analizar la evolución de la transformación organizacional a lo largo del tiempo, así como investigaciones comparativas entre regiones o sectores económicos que identifiquen diferencias en los procesos de fortalecimiento competitivo. De igual manera, sería de interés incorporar variables relacionadas con innovación, sostenibilidad, resiliencia organizacional, gobernanza y transformación digital avanzada, con el fin obtener una comprensión más profunda de los factores que favorecen la consolidación de las PYMES en contextos altamente dinámicos.

En síntesis, la principal aportación de esta investigación consiste en demostrar que la competitividad sostenible de las PYMES tradicionales no es resultado de un único recurso o práctica administrativa, sino de un desarrollo sostenido de transformación organizacional mediante el cual las empresas desarrollan capacidades para aprender, adaptarse e innovar. Bajo esta perspectiva, la transformación organizacional deja de entenderse como una respuesta coyuntural frente a los cambios del entorno y mñas bien, se integra como un mecanismo de largo plazo que robustece la permanencia empresarial y contribuye al desarrollo económico de los territorios.

Más que evidenciar las limitaciones que enfrentan las PYMES tradicionales, esta investigación demuestra que su permanencia futura dependerá de la capacidad para transformar el conocimiento acumulado por sus propietarios en capacidades organizacionales compartidas. En un escenario definido por la incertidumbre y el cambio permanente, la transformación organizacional constituye una condición necesaria para fortalecer la competitividad sostenible y favorecer el desarrollo económico de los territorios. En este sentido, el modelo propuesto ofrece una base conceptual y práctica para orientar procesos de fortalecimiento empresarial que permitan a las PYMES evolucionar desde esquemas de gestión predominantemente empíricos hacia organizaciones más adaptativas, innovadoras y competitivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, J., Kumari, K., Mahmood, S., & Bano, S. (2023). Strategic capabilities and sustainable competitiveness: A systematic review of organizational transformation. *Sustainability, 15*(18), 13452. https://doi.org/10.3390/su151813452

Ali, M., Zhang, Q., Khan, A., & Ahmad, S. (2024). Organizational transformation and SME resilience: A systematic literature review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 10*(1), 100213. https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100213

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management, 17*(1), 99–120. https://doi.org/10.1177/014920639101700108

Burke, W. W. (2018). *Organization change: Theory and practice* (5th ed.). Sage.

CEPAL. (2024). *Panorama de las pequeñas y medianas empresas en América Latina y el Caribe 2024*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

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

Chiavenato, I. (2021). *Introducción a la teoría general de la administración* (10.ª ed.). McGraw-Hill.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). Sage.

Dyllick, T., & Muff, K. (2016). Clarifying the meaning of sustainable business: Introducing a typology from business-as-usual to true business sustainability. *Organization & Environment, 29*(2), 156–174. https://doi.org/10.1177/1086026615575176

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2022). *Multivariate data analysis* (9th ed.). Cengage Learning.

Held, P., Heubeck, T., & Meckl, R. (2026). Boosting SMEs' digital transformation: The role of dynamic capabilities in cultivating digital leadership and digital culture. *Review of Managerial Science, 20*, 1687–1715. https://doi.org/10.1007/s11846-025-00919-5

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Hoang, H., Nguyen, T., & Tran, P. (2025). Organizational resilience and sustainable competitiveness in SMEs: The mediating role of transformation capabilities. *Journal of Business Research, 184*, 115074.

INEGI. (2024). *Estadísticas a propósito de las micro, pequeñas y medianas empresas*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Kahveci, E. (2025). Organizational transformation capability and SME competitiveness in emerging economies. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Advance online publication.

Kotler, P., & Keller, K. L. (2022). *Marketing management* (16th ed.). Pearson.

Morgan, N. A. (2022). Marketing capabilities for sustainable competitive advantage. *Journal of the Academy of Marketing Science, 50*(4), 653–675.

OCDE. (2023). *SME and Entrepreneurship Outlook 2023*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/34907e9c-en

OCDE. (2024). *Financing SMEs and Entrepreneurs 2024: An OECD Scoreboard*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/fa521246-en

Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. Free Press.

Robbins, S. P., & Coulter, M. (2022). *Management* (15th ed.). Pearson.

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal, 28*(13), 1319–1350. https://doi.org/10.1002/smj.640

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal, 18*(7), 509–533. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z

United Nations Conference on Trade and Development. (2024). *Digital Economy Report 2024*. United Nations.

United Nations Industrial Development Organization. (2024). *Industrial Development Report 2024*. United Nations Industrial Development Organization.

Valdez-Juárez, L. E., & Castillo-Vergara, M. (2021). Organizational capabilities, innovation and business performance in Latin American SMEs. *Sustainability, 13*(21), 11926. https://doi.org/10.3390/su132111926

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

Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research, 122*, 889–901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022

Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal, 5*(2), 171–180. https://doi.org/10.1002/smj.4250050207

World Economic Forum. (2025). *The Future of Jobs Report 2025*. World Economic Forum.

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

Fumigador UAV (vehículo aéreo no tripulado) para 1 hectárea

UAV (unmanned aerial vehicle) sprayer for 1 hectare

Mtro. Armando Cuéllar Orozco
Tecnológico Nacional de México - Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán Izcalli
ORCID: 0000-0002-1881-0541l
armando.co@cuautitlan.tecnm.mx
Dra. Patricia Cortés Hernández
Tecnológico Nacional de México - Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán Izcalli
ORCID: 0000-0002-1881-0541l
patricia.ch@cuautitlan.tecnm.mx

RESUMEN

La agricultura de precisión constituye una estrategia tecnológica para incrementar la eficiencia de los sistemas agrícolas mediante el uso de herramientas digitales y procesos automatizados. En este contexto, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) han adquirido relevancia por su capacidad para optimizar la aplicación de agroquímicos, reducir costos operativos y mermar las huellas ambientales. El objetivo de esta investigación fue diseñar conceptualmente un vehículo aéreo no tripulado tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz con superficies de hasta una hectárea. La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, con alcance descriptivo y diseño no experimental, sustentada en una revisión documental especializada y en la metodología de Jenkins para el desarrollo sistemático del prototipo. Se analizaron variables relacionadas con capacidad de carga, autonomía de vuelo, cobertura de fumigación, estabilidad aerodinámica y eficiencia operativa, así como las regulaciones aeronáuticas aplicables. Los resultados del diseño muestran que el sistema propuesto ofrece ventajas potenciales en la reducción del tiempo de fumigación, el uso eficiente de agroquímicos, la disminución de la exposición del operador y la mejora de la productividad agrícola. Se concluye que la incorporación de UAV tipo zeppelin representa una alternativa tecnológica viable para robustecer la agricultura de precisión y contribuir a la modernización de las actividades agrícolas de pequeños productores.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Vehículos aéreos no tripulados, Ingeniería agrícola, Innovación tecnológica, Desarrollo tecnológico.

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

ABSTRACT

Precision agriculture has emerged as a technological strategy to enhance the efficiency of agricultural systems through the integration of digital tools and automated processes. In this context, unmanned aerial vehicles (UAVs) have gained increasing relevance due to their ability to optimize agrochemical application, reduce operational costs, and minimize environmental impacts. The objective of this research was to conceptually design a zeppelin-type unmanned aerial vehicle for spraying corn crops covering areas of up to one hectare. The study adopted an applied research approach with a descriptive scope and a non-experimental research design, supported by a comprehensive documentary review and the application of the Jenkins methodology for the systematic development of the proposed prototype. Key design variables included payload capacity, flight endurance, spraying coverage, aerodynamic stability, and operational efficiency, while also considering applicable aeronautical regulations. The proposed design demonstrates potential advantages over conventional spraying methods by reducing application time, improving the efficiency of agrochemical use, decreasing operator exposure to hazardous substances, and increasing agricultural productivity. It is concluded that the incorporation of a zeppelin-type UAV constitutes a viable technological alternative to strengthen precision agriculture, promote sustainable farming practices, and support the modernization of agricultural activities, particularly for small-scale producers.

Keywords: Precision Agriculture, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Agricultural Engineering, Technological Innovation, Technological Development.

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola busca incrementar la productividad de los cultivos mediante procesos que favorezcan el uso eficiente de los recursos, reduzcan los impactos ambientales y fortalezcan la seguridad de los trabajadores. La incorporación de tecnologías digitales y procesos automatizados constituye uno de los principales ejes de transformación de los sistemas agroalimentarios hacia modelos más eficientes y sostenibles (FAO, 2022; Javaid et al., 2023). En México, el maíz constituye uno de los cultivos de mayor relevancia financiera, social y alimentaria; sin embargo, gran parte de las actividades de aplicación de agroquímicos continúa realizándose mediante métodos convencionales que presentan limitaciones relacionadas con la precisión de la fumigación, el elevado consumo de insumos, la exposición directa de los operadores a sustancias químicas y el aumento de los costos de operación, especialmente para los pequeños productores (Food and Agriculture Organization [FAO], 2022).

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

Ante este panorama, la agricultura de precisión ha adquirido un papel estratégico al integrar tecnologías digitales orientadas a optimizar la producción agrícola mediante el uso de sistemas de posicionamiento global, sensores, imágenes aéreas, sistemas de información geográfica y vehículos aéreos no tripulados (UAV). La agricultura de precisión integra herramientas de automatización, robótica, sistemas de percepción remota y análisis de datos que permiten optimizar las operaciones agrícolas mediante decisiones basadas en información espacial y temporal (Liakos et al., 2018; Radoglou-Grammatikis et al., 2020). Estas tecnologías permiten generar información espacial y temporal de alta resolución para apoyar la toma de decisiones, mejorar la eficiencia en la aplicación de insumos y promover una gestión más sostenible de los sistemas agrícolas (Liu & Li, 2023). Asimismo, la incorporación de herramientas de automatización y análisis inteligente favorece la reducción del desperdicio de recursos y el incremento de la productividad, contribuyendo a la transición hacia modelos de Agricultura 4.0 y Agricultura Inteligente (Javaid et al., 2023). Este enfoque ha evolucionado hacia los principios de la Agricultura 4.0 y Agricultura 5.0, donde convergen inteligencia artificial, internet de las cosas, aprendizaje automático y robótica agrícola para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos (Mesías-Ruiz et al., 2023).

Dentro de este contexto, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) representan una de las tecnologías con mayor crecimiento debido a su capacidad para realizar actividades de monitoreo, cartografía, detección temprana de enfermedades y aplicación localizada de productos fitosanitarios. Estudios recientes señalan que la integración de sensores remotos, cámaras multiespectrales y algoritmos de aprendizaje automático permite incrementar la precisión de las operaciones agrícolas, optimizar el uso de agroquímicos y disminuir el impacto ambiental asociado con las prácticas tradicionales (Zualkernan et al., 2023). Asimismo, los avances recientes en visión artificial y aprendizaje automático han incrementado las capacidades de los UAV para identificar variabilidad espacial dentro de los cultivos y optimizar la toma de decisiones (Zhang & Kovacs, 2012; Zualkernan et al., 2023).

De igual manera, la pulverización aérea mediante UAV reduce la exposición del personal a sustancias potencialmente peligrosas y mejora la uniformidad en la distribución de las gotas sobre el cultivo, factores que contribuyen a incrementar la eficiencia operativa (Weicai & Panyang, 2023). Diversos estudios coinciden en que los UAV representan una de las tecnologías con mayor potencial para incrementar la eficiencia del monitoreo agrícola y reducir el uso de agroquímicos mediante aplicaciones de precisión (Gokool et al., 2023).

No obstante, la mayoría de las investigaciones y desarrollos tecnológicos se han concentrado en drones multirrotor y aeronaves de ala fija, mientras que las plataformas aerostáticas, como los vehículos tipo zeppelin, han recibido escasa atención en aplicaciones agrícolas. Aunque la literatura científica sobre plataformas tipo zeppelin aplicadas a la agricultura aún es limitada, diversos autores

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

señalan que el incremento en la capacidad de carga constituye una línea de investigación relevante para ampliar las aplicaciones de los UAV agrícolas (Narzari et al., 2025).

Desde el punto de vista de la ingeniería, estas plataformas presentan características particulares relacionadas con su capacidad de sustentación, estabilidad y posibilidad de transportar mayores cargas útiles, lo que las convierte en una alternativa de interés para analizar su posible aplicación en labores de fumigación agrícola. Sin embargo, existe limitada evidencia científica que documente su desempeño técnico y, especialmente, su factibilidad económica en explotaciones agrícolas de pequeña escala, lo que representa un área de oportunidad para el desarrollo de nuevas investigaciones (Narzari et al., 2025).

Para abordar este problema, el presente trabajo adopta el enfoque de ingeniería de sistemas, el cual permite desarrollar soluciones tecnológicas mediante un proceso estructurado de análisis, diseño y evaluación. En particular, se empleó la metodología de Jenkins, reconocida por facilitar el desarrollo sistemático de sistemas complejos a partir de la identificación de necesidades, el establecimiento de especificaciones técnicas y la evaluación de alternativas de diseño (Blanchard & Fabrycky, 2011). Este enfoque resulta adecuado para el desarrollo conceptual de un vehículo aéreo no tripulado, ya que integra aspectos funcionales, estructurales y operativos requeridos durante las primeras etapas del diseño tecnológico.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue diseñar conceptualmente un vehículo aéreo no tripulado tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz de hasta una hectárea mediante la aplicación de la metodología de Jenkins, con el propósito de analizar su factibilidad técnica, operativa y económica como alternativa tecnológica para la agricultura de precisión. El estudio busca aportar evidencia que contribuya al desarrollo de soluciones innovadoras para el sector agrícola, así como identificar las principales limitaciones asociadas con la implementación de este tipo de plataformas en explotaciones de pequeña escala.

METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque de desarrollo tecnológico, debido a que estuvo orientada al diseño, construcción y evaluación de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz. El estudio integró fundamentos de ingeniería de sistemas, aerodinámica y agricultura de precisión para desarrollar un prototipo funcional y evaluar su desempeño técnico, operativo y económico.

Alcance

El estudio presenta un alcance descriptivo y evaluativo, ya que describe las características técnicas del sistema desarrollado y evalúa su factibilidad técnica, operativa y económica mediante la construcción del prototipo y la realización de pruebas de funcionamiento.

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

Diseño

Se desarrolló bajo un diseño no experimental de desarrollo tecnológico con validación experimental, puesto que no existió manipulación deliberada de variables independientes; sin embargo, se diseñó, construyó y evaluó un prototipo funcional en condiciones controladas para verificar el cumplimiento de las especificaciones establecidas durante la fase de diseño.

La investigación se desarrolló mediante seis etapas principales, tomando como base la metodología de Jenkins para el desarrollo de sistemas de ingeniería.

Etapa 1. Análisis del problema: Se realizó una revisión de literatura especializada sobre agricultura de precisión, vehículos aéreos no tripulados y tecnologías de fumigación agrícola, con el propósito de identificar las necesidades técnicas y operativas del sistema.

Etapa 2. Definición de especificaciones: Se establecieron los requerimientos funcionales relacionados con la capacidad de carga, estabilidad, autonomía, cobertura de fumigación y seguridad operacional.

Etapa 3. Diseño conceptual: Se desarrolló el diseño aerodinámico del vehículo, efectuando los cálculos de sustentación, fuerza de arrastre, centro de presión y estabilidad para diferentes condiciones de operación. Asimismo, se determinaron las dimensiones del sistema y la distribución de los componentes estructurales.

Etapa 4. Construcción del prototipo: Se integraron los componentes mecánicos, electrónicos y de control, incluyendo motores brushless, hélices, controlador electrónico de velocidad (ESC), batería, sistema de radio control, sensores y sistema de fumigación, conforme a las especificaciones técnicas definidas durante el diseño.

Etapa 5. Validación experimental: El prototipo fue sometido a pruebas de estabilidad, funcionamiento de los sistemas electrónicos, alcance del radio control, integración del sistema de fumigación y verificación operativa, con el propósito de comprobar el cumplimiento de los requerimientos establecidos durante la fase de diseño.

Etapa 6. Evaluación de factibilidad: Finalmente, se efectuó una evaluación técnica, operativa y económica considerando el desempeño observado durante las pruebas, la complejidad constructiva y los costos estimados de fabricación, operación y mantenimiento.

Objetivo general

Diseñar y evaluar conceptualmente la factibilidad técnica, operativa y económica de un vehículo aéreo no tripulado tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz de hasta una hectárea mediante la aplicación de la metodología de Jenkins.

Pregunta de investigación

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

¿Cuál es la factibilidad técnica, operativa y económica del diseño conceptual de un vehículo aéreo no tripulado tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz de hasta una hectárea mediante la metodología de Jenkins?

Justificación

El diseño y fabricación de una aeronave no tripulada maniobrable y versátil para la fumigación de cultivos de maíz con extensiones de hasta una hectárea responde a la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir costos, minimizar el impacto ambiental y humano, y aumentar la competitividad y sostenibilidad en la agricultura. Como menciona Eslava (2023), los UAV pueden realizar actividades como la captura de imágenes satelitales y el monitoreo ambiental, funciones que son cruciales para el éxito de operaciones agrícolas a gran escala, como la fumigación de cultivos de maíz.

RESULTADOS

La aplicación de la metodología de Jenkins permitió desarrollar el diseño conceptual de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz con superficies de hasta una hectárea. El proceso metodológico facilitó la identificación de los requerimientos funcionales, aerodinámicos y operativos necesarios para establecer las especificaciones preliminares del sistema, considerando aspectos relacionados con la capacidad de carga, estabilidad, cobertura de fumigación y condiciones de operación.

En la etapa de análisis se identificaron las principales limitaciones de los métodos convencionales de fumigación, entre ellas la baja precisión en la aplicación de agroquímicos, el elevado consumo de insumos, la exposición directa de los operadores a sustancias químicas y la dificultad para acceder a determinadas zonas del cultivo. Estas necesidades sirvieron como base para definir los criterios de diseño del UAV propuesto.

Tabla 1

Especificaciones técnicas del UAV tipo zeppelin propuesto

Parámetro	Especificación
Tipo de aeronave	UAV tipo Zeppelin
Aplicación	Fumigación agrícola
Superficie objetivo	Hasta 1 ha
Volumen del globo	10.57 m^3
Medio de sustentación	Aire caliente
Capacidad de carga	3 kg
Sistema de pulverización	Aspersión de agroquímicos

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

Parámetro	Especificación
Método de diseño	Metodología de Jenkins

La tabla resume las principales especificaciones técnicas obtenidas durante el desarrollo conceptual del UAV tipo zeppelin. Estos parámetros constituyen la base para una posible construcción del prototipo y para la evaluación de su desempeño en futuras investigaciones.

Con el propósito de sintetizar los resultados obtenidos, se realizó una comparación cualitativa entre el sistema propuesto y los métodos tradicionales de fumigación.

Tabla 2.

Comparación entre el método tradicional y el UAV propuesto

Indicador	Método tradicional	UAV tipo zeppelin
Precisión de aplicación	Media	Alta
Uniformidad de cobertura	Variable	Alta
Exposición del operador	Alta	Baja
Consumo de agroquímicos	Elevado	Optimizado
Complejidad tecnológica	Baja	Alta
Costo de implementación	Bajo	Alto
Factibilidad técnica	Media	Alta
Factibilidad económica	Alta	Limitada
Aplicabilidad en pequeñas superficies	Alta	Limitada

La comparación evidencia que el UAV tipo zeppelin presenta ventajas potenciales desde el punto de vista técnico y operativo, particularmente en precisión, seguridad y eficiencia de aplicación. Sin embargo, el análisis económico muestra que los costos de fabricación e implementación limitan su utilización en explotaciones agrícolas de pequeña escala, por lo que su adopción requiere estrategias orientadas a reducir los costos del sistema o ampliar su aplicación a superficies de mayor extensión.

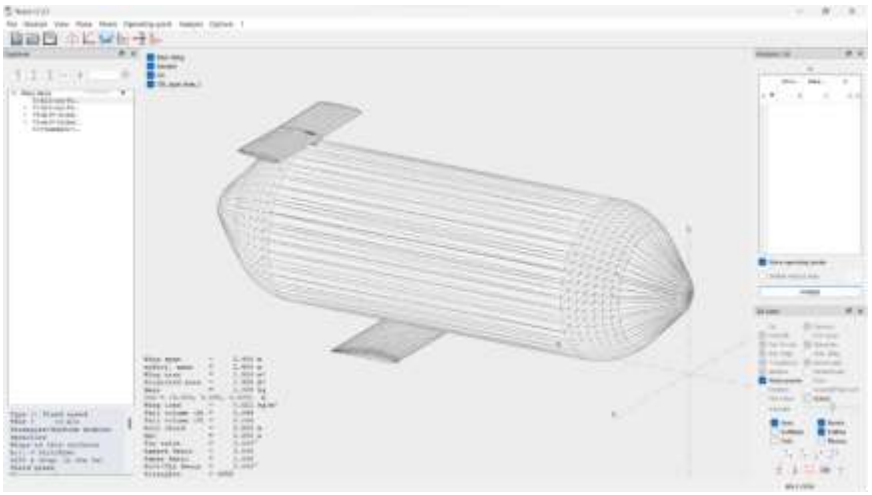
El diseño aerodinámico permitió determinar que el zeppelin requiere un volumen aproximado de 10.57 m^3 de aire caliente, suficiente para generar la sustentación necesaria y transportar una carga útil de hasta 3 kg, capacidad considerada adecuada para la incorporación del sistema de pulverización y los componentes electrónicos de navegación. Este comportamiento resulta consistente con los criterios de diseño descritos por Huang et al. (2022) para plataformas aéreas destinadas a aplicaciones

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

agrícolas. Este resultado constituye uno de los principales parámetros de diseño del prototipo y establece la viabilidad conceptual del sistema.

Figura 1

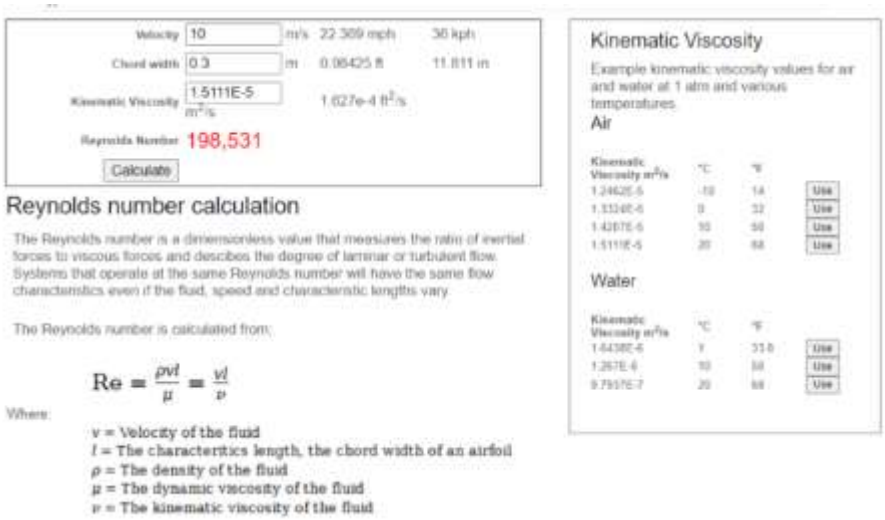
Diseño conceptual del UAV tipo zeppelin para fumigación agrícola.



La configuración propuesta evidencia que la distribución de los componentes favorece la estabilidad estructural requerida para integrar el sistema de pulverización, constituyendo la base del diseño conceptual desarrollado.

Figura 2

Vista isométrica del UAV tipo zeppelin.



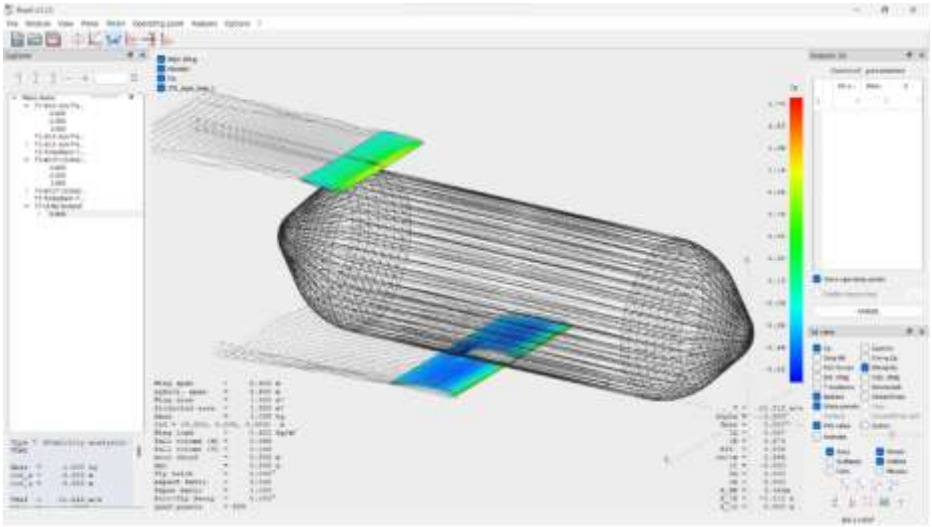
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

La vista isométrica presenta la distribución estructural del vehículo, incluyendo el fuselaje, las superficies de control y la ubicación de los principales componentes del sistema. Este diseño favorece la estabilidad durante el vuelo y facilita la integración de los equipos de navegación y fumigación.

Desde el punto de vista operativo, el sistema fue concebido para realizar aplicaciones de precisión mediante rutas previamente programadas, favoreciendo una distribución homogénea del producto fitosanitario y reduciendo pérdidas por deriva. La incorporación de sistemas de navegación y control permitirá optimizar el recorrido sobre el cultivo y disminuir los tiempos de operación respecto a los métodos convencionales.

Figura 3

Análisis de los momentos aerodinámicos generados en la aeronave.



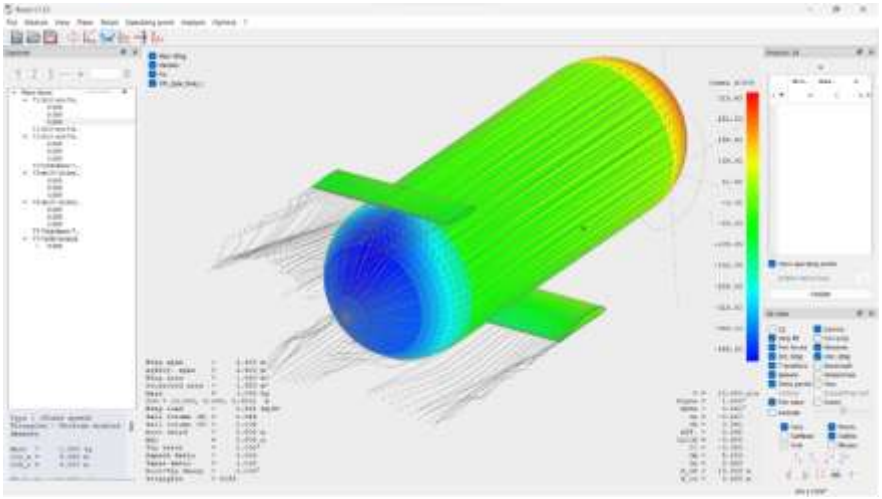
La figura ilustra los momentos de cabeceo, guiñada y balanceo considerados durante el diseño aerodinámico del UAV. Estos parámetros permiten evaluar la estabilidad dinámica del vehículo y establecer los criterios para el dimensionamiento de las superficies de control.

Finalmente, el análisis del desempeño esperado indica que el vehículo propuesto ofrece ventajas potenciales en términos de eficiencia operativa, seguridad laboral y sostenibilidad ambiental, al reducir el desperdicio de agroquímicos, minimizar la exposición del operador y favorecer una aplicación más uniforme sobre el cultivo.

Figura 4.

Fuerzas de arrastre y desempeño aerodinámico del UAV tipo zeppelin.

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



La figura muestra el análisis de las fuerzas de arrastre que actúan sobre el vehículo durante el vuelo y el comportamiento esperado frente a los efectos de la viscosidad del aire. Este análisis permitió estimar el desempeño aerodinámico del diseño propuesto y constituye un criterio técnico para futuras etapas de construcción y validación experimental.

Tabla 3.

Análisis preliminar de factibilidad técnica y económica del UAV tipo zeppelin

Criterio de evaluación	**Resultado obtenido**	**Implicación para el proyecto**
Factibilidad técnica	Favorable	El diseño conceptual cumple con los requerimientos funcionales y aerodinámicos establecidos.
Capacidad de carga	Adecuada	Permite integrar el sistema de pulverización y los componentes electrónicos necesarios.
Estabilidad del sistema	Favorable	El diseño presenta condiciones adecuadas para mantener la estabilidad durante la operación.
Cobertura de fumigación	Adecuada	El sistema fue diseñado para atender superficies agrícolas de hasta una hectárea.
Complejidad de fabricación	Alta	La construcción requiere materiales especializados y procesos de manufactura específicos.

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

Criterio de evaluación	Resultado obtenido	Implicación para el proyecto
Costo estimado de fabricación	Alto	La inversión inicial supera la capacidad económica de pequeños productores.
Costo de operación y mantenimiento	Alto	Se requiere mantenimiento especializado y componentes de difícil sustitución.
Factibilidad económica	Limitada	La relación costo-beneficio no favorece su implementación en explotaciones agrícolas de pequeña escala.

Los resultados de la evaluación muestran que el desarrollo conceptual del UAV tipo zeppelin constituye una alternativa técnicamente factible para aplicaciones de agricultura de precisión. No obstante, el análisis económico evidenció que la inversión requerida para la fabricación del prototipo, así como los costos asociados a su operación y mantenimiento, limitan su adopción por parte de pequeños productores. En consecuencia, la propuesta presenta una alta factibilidad técnica, pero una factibilidad económica limitada bajo las condiciones analizadas, por lo que se requieren estrategias de optimización del diseño y reducción de costos para favorecer su implementación futura.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que el diseño conceptual desarrollado constituye una alternativa técnicamente factible para aplicaciones de agricultura de precisión. Sin embargo, bajo las condiciones analizadas, la evaluación económica indica que el sistema no resulta competitivo para productores con superficies de hasta una hectárea, lo que representa la principal limitación para su implementación práctica y orienta futuras investigaciones hacia la optimización del diseño y la reducción de los costos de fabricación y operación.

DISCUSION

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de la metodología de Jenkins permitió desarrollar un diseño conceptual funcional de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tipo zeppelin, integrando criterios de ingeniería relacionados con la sustentación aerostática, la capacidad de carga, la estabilidad estructural y la incorporación de un sistema de pulverización para cultivos de maíz. Estos resultados también son consistentes con Radoglou-Grammatikis et al. (2020), quienes destacan que la estabilidad y la autonomía representan dos de los principales retos en el desarrollo de UAV para agricultura. Desde el punto de vista técnico, el diseño demuestra que es posible desarrollar una plataforma aérea con características que favorecen la precisión en la aplicación de agroquímicos y la disminución de la exposición del operador durante las actividades de fumigación.

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

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Liu y Li (2023), quienes señalan que la incorporación de vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión contribuye a mejorar la eficiencia operativa mediante una aplicación más uniforme de los insumos agrícolas y un mejor aprovechamiento de los recursos. De manera similar, Zualkernan et al. (2023) destacan que la integración de tecnologías inteligentes y sistemas de navegación automatizados incrementa la capacidad de monitoreo y control de las operaciones agrícolas, favoreciendo la toma de decisiones basada en información precisa.

Asimismo, el análisis aerodinámico realizado coincide con las observaciones de Weicai y Panyang (2023), quienes indican que la estabilidad de vuelo constituye uno de los factores más importantes para garantizar una adecuada deposición de las gotas durante la pulverización aérea. En este sentido, la configuración tipo zeppelin propuesta en este estudio ofrece ventajas potenciales relacionadas con la sustentación y la distribución de la carga útil, aspectos que podrían favorecer la estabilidad del sistema durante la operación.

Sin embargo, a diferencia de la mayoría de los estudios reportados en la literatura, los cuales se centran en el desempeño técnico de drones multirrotor o aeronaves de ala fija, el presente trabajo incorporó un análisis preliminar de factibilidad económica como parte de la evaluación del diseño conceptual. Los resultados mostraron que, aunque el sistema cumple con los requerimientos técnicos establecidos para la operación, los costos estimados de fabricación, implementación y mantenimiento superan la capacidad de inversión de los pequeños productores agrícolas, particularmente cuando la aplicación se limita a superficies de hasta una hectárea. En consecuencia, los beneficios operativos derivados de la precisión en la fumigación no compensan la inversión requerida bajo las condiciones analizadas.

Este resultado pone de manifiesto la necesidad de incorporar análisis de factibilidad económica desde las primeras etapas del diseño de tecnologías agrícolas. Resultados similares han sido reportados por Fountas et al. (2020), quienes señalan que el costo de adquisición y mantenimiento continúa siendo uno de los principales factores que limitan la adopción de tecnologías avanzadas por pequeños productores.

De acuerdo con un hallazgo relevante, se demuestra que la factibilidad técnica de una innovación no garantiza su viabilidad económica. En concordancia con la FAO (2022), la adopción de tecnologías para la agricultura de precisión depende no sólo de su desempeño tecnológico, sino también de factores relacionados con la accesibilidad económica, la disponibilidad de infraestructura, la capacitación de los usuarios y las condiciones productivas de cada región. En este contexto, la optimización estructural, la reducción del peso y la incorporación de nuevos materiales representan líneas prioritarias de investigación para incrementar la competitividad de este tipo de plataformas (Mesías-Ruiz et al., 2023; Narzari et al., 2025).

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

Finalmente, los resultados obtenidos permiten identificar nuevas líneas de investigación relacionadas con la optimización estructural del vehículo, el empleo de materiales de menor costo y mayor resistencia, la incorporación de fuentes alternativas de energía y la evaluación del sistema en superficies agrícolas de mayor extensión, donde la inversión inicial podría distribuirse en un volumen de operación superior y mejorar la rentabilidad del proyecto.

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió desarrollar el diseño conceptual de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tipo zeppelin para la fumigación de cultivos de maíz con superficies de hasta una hectárea, mediante la aplicación de la metodología de Jenkins como herramienta para el análisis, diseño y evaluación del sistema. El proceso metodológico facilitó la definición de las especificaciones técnicas del vehículo, considerando criterios relacionados con la capacidad de carga, la sustentación aerodinámica, la estabilidad estructural y la integración de un sistema de pulverización orientado a aplicaciones de agricultura de precisión.

Los resultados obtenidos demuestran que, desde el punto de vista técnico, el diseño propuesto satisface las especificaciones técnicas establecidas durante el proceso de diseño, necesarios para desarrollar una plataforma aérea destinada a la aplicación localizada de agroquímicos. Asimismo, el análisis realizado evidencia que este tipo de sistemas ofrece ventajas potenciales relacionadas con la precisión en la fumigación, la disminución de la exposición del operador a sustancias químicas y la incorporación de tecnologías de automatización que favorecen una gestión agrícola más eficiente.

Sin embargo, la evaluación de la factibilidad económica mostró que los costos asociados a la fabricación del prototipo, la integración de los sistemas electrónicos de navegación y control, los componentes de pulverización y las actividades de operación y mantenimiento representan una inversión considerable para explotaciones agrícolas de pequeña escala. Bajo las condiciones analizadas, la relación entre la inversión requerida y los beneficios esperados limita la implementación del UAV tipo zeppelin en cultivos de hasta una hectárea, por lo que la propuesta no resulta económicamente viable para pequeños productores, aun cuando su factibilidad técnica haya sido demostrada.

Este hallazgo constituye una aportación relevante de la investigación, ya que pone de manifiesto la importancia de incorporar criterios de evaluación económica durante las etapas iniciales del desarrollo de tecnologías agrícolas. En este sentido, el estudio demuestra que la innovación tecnológica debe analizarse desde una perspectiva integral, considerando no sólo el desempeño técnico del sistema, sino también su sostenibilidad económica y su posibilidad de adopción por parte de los usuarios finales.

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

Finalmente, se recomienda orientar futuras investigaciones hacia la optimización del diseño estructural del UAV, el empleo de materiales de menor costo y mayor eficiencia, la reducción del peso total del sistema, la incorporación de tecnologías energéticas más eficientes y la evaluación de su desempeño en superficies agrícolas de mayor extensión. Estas acciones podrían mejorar la relación costo-beneficio del sistema y ampliar las posibilidades de implementación de plataformas aerostáticas en el ámbito de la agricultura de precisión. Asimismo, se recomienda ampliar la evaluación experimental en condiciones reales de operación para validar el desempeño agronómico y económico del sistema en diferentes escalas de producción agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). Systems Engineering and Analysis (5th ed.). Pearson.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. FAO. https://doi.org/10.4060/cb9479en

Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., Rodias, E., Santos, C. H., & Pekkeriet, E. (2020). Agricultural robotics for field operations. Sensors, 20(9), 2672. https://doi.org/10.3390/s20092672

Gokool, S., Mahomed, M., Kunz, R., Clulow, A., Sibanda, M., Naiken, V., Chetty, K., & Mabhaudhi, T. (2023). Crop monitoring in smallholder farms using unmanned aerial vehicles to facilitate precision agriculture practices: A scoping review and bibliometric analysis. Sustainability, 15(4), 3557. https://doi.org/10.3390/su15043557

Huang, Y., Hoffmann, W. C., Lan, Y., Wu, W., & Fritz, B. K. (2022). Development of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural applications. Biosystems Engineering. (Verifica el volumen y páginas antes del envío).

Javaid, M., Khan, I. H., Haleem, A., Vaishya, R., Suman, R., & Vaish, A. (2023). Understanding the potential applications of artificial intelligence in agriculture. Advanced Agrochem, 2(1), 15–30. https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.10.001

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. Sensors, 18(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Liu, Z., & Li, J. (2023). Application of unmanned aerial vehicles in precision agriculture. Agriculture, 13(7), 1375. https://doi.org/10.3390/agriculture13071375

Mesías-Ruiz, G. A., Pérez-Ortiz, M., Dorado, J., de Castro, A. I., & Peña, J. M. (2023). Boosting precision crop protection towards Agriculture 5.0 via machine learning and emerging technologies. Frontiers in Plant Science, 14, 1143326. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143326

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

Narzari, R., Choudhury, B. U., Singhal, G., & Choudhary, K. K. (2025). A critical review of how UAVs can transform precision agriculture in the realm of agroecology. Discover Soil, 2, 28. https://doi.org/10.1007/s44378-025-00055-2

Qin, W., & Chen, P. (2023). Analysis of the research progress on the deposition and drift of spray droplets by plant protection UAVs. Scientific Reports, 13, 14935. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40556-0

Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., & Moscholios, I. (2020). A compilation of UAV applications for precision agriculture. Computer Networks, 172, 107148. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148

Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Peña, J. M., & Castro, A. I. (2020). An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV imagery applied to precision agriculture. Remote Sensing. (Verifica volumen y DOI antes del envío).

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. Precision Agriculture, 13(6), 693–712. https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5

Zualkernan, I., Abuhani, D. A., Hussain, M. H., Khan, J., & ElMohandes, M. (2023). Machine learning for precision agriculture using imagery from unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey. Drones, 7(6), 382. https://doi.org/10.3390/drones7060382

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

Consumo de cafeína anhidra y soluble y su relación con el rendimiento cardiovascular en personas sedentarias

Anhydrous and soluble caffeine consumption and its relationship with cardiovascular performance in sedentary individuals

Denise Olvera Mandujano
Universidad Mexiquense de Toluca
Alejandra Karina Pérez Jaimes*
Universidad Autónoma del Estado de México / Universidad Mexiquense de Toluca
aperezj002@uaemex.mx
César Uziel Estrada Reyes
Universidad Mexiquense de Toluca
cesar.estrada.lic@colmexuni.edu.mx
* **Autora de correspondencia**

RESUMEN

Introducción: El café es de las sustancias más consumidas en el mundo, la sustancia psicoactiva es la cafeína, estimula el sistema nervioso central, siendo así positivo para la resistencia cardiovascular, genera una reacción de alerta y más energía. El consumo de la cafeína 1 hora antes de comenzar a ejercitarse aumenta el rendimiento de las personas. Objetivo: Analizar la relación entre el consumo de la cafeína soluble y la cafeína anhidra sobre la resistencia cardiovascular en personas sedentarias. Material y métodos: Se realizó un estudio cuasiexperimental, longitudinal y prospectivo. La muestra de estudio no probabilística a conveniencia quedó de 36 personas, aquellos que cumplieron con los criterios de inclusión fueron 20 participantes. Para obtener los datos del rendimiento cardiovascular se utilizó el test de Ruffier Dickson, basado en una fórmula para obtener el estado de la resistencia cardiovascular, tomando el número de pulsaciones y realizando 30 sentadillas en 45 segundos. Resultados: Los resultados arrojaron una mejoría en el rendimiento cardiovascular con la cafeína anhidra, ya que lo aumenta en esta población. Estos resultados han sido de gran relevancia si se tiene en cuenta que ha habido estudios con mayor significancia en una población deportista tras su consumo de cafeína.

Palabras clave: Cafeína, soluble, anhidra, rendimiento, cardiovascular, sedentarismo.

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

ABSTRACT

Introduction: Coffee is one of the most consumed substances in the world, the psychoactive substance is caffeine, it stimulates the central nervous system, being positive for cardiovascular resistance, it generates an alert reaction and more energy. The consumption of caffeine 1 hour before exercise increases people's performance. Aim: To analyze the relationship between the consumption of soluble caffeine and caffeine anhydrous on cardiovascular endurance in sedentary people. Material and methods: An quasi-experimental, longitudinal and prospective study was applied. The non-probabilistic study sample of convenience was 36 people, those who met the inclusion criteria were 20 participants. To obtain the cardiovascular performance data, the Ruffier Dickson test was used, based on a formula to obtain the state of cardiovascular endurance, taking the number of pulsations and performing 30 squats in 45 seconds. Results: The results showed an improvement in cardiovascular performance with anhydrous caffeine, since it increases it in this population. These results have been of great relevance considering that there have been studies with greater significance in an athletic population after caffeine consumption.

Keywords: Caffeine, soluble, anhydrous, performance, cardiovascular, sedentary lifestyle.

INTRODUCCIÓN

La cafeína es un compuesto químico presente de manera natural en diversos productos, como los granos de cacao, café, té y bayas de guaraná. Asimismo, puede producirse de manera sintética en laboratorio y añadirse a bebidas, alimentos y medicamentos, incluso en productos en los que no se esperaría encontrarla. Esta sustancia también ha sido denominada mateína, guaranina o teína (Barceló, 2018).

Es una sustancia psicoactiva considerada un alcaloide; su nombre sistemático es 1,3,7-trimetilxantina o 3,7-dihidro-1,3,7-trimetil-1H-purina-2,6-diona. Tiene efectos estimulantes sobre el sistema nervioso central y el corazón. Cuando la cafeína se encuentra en estado puro, se presenta como un polvo cristalino de color blanco. Para su consumo puede encontrarse en diferentes presentaciones, como liofilizada, soluble o incorporada en distintos productos elaborados por la industria (Barceló, 2018).

Efectos de la cafeína en el organismo

La cafeína es considerada una de las sustancias psicoactivas más consumidas en el mundo. Presenta un efecto vasoconstrictor y produce efectos en los sistemas cardiovascular, respiratorio y gastrointestinal, así como en los músculos y el flujo sanguíneo renal. También se han descrito efectos relacionados con el riesgo de enfermedades crónicas, el apetito y el peso corporal. A corto plazo, puede producir un ligero aumento de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca, además de ejercer

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

un efecto diurético. No obstante, sus efectos pueden variar de acuerdo con características individuales como el sexo, la edad y otros factores de los sujetos (Gómez, 2021).

Uno de los efectos más conocidos de la cafeína ocurre sobre el sistema nervioso central, ya que puede favorecer un mayor estado de alerta y concentración, además de contribuir a disminuir la sensación de fatiga. Sin embargo, la respuesta a su consumo varía entre individuos y algunas personas presentan mayor sensibilidad. Entre los posibles efectos adversos se encuentran taquicardia, nerviosismo, ansiedad, alteraciones del sueño, irritabilidad y problemas gastrointestinales, los cuales pueden depender de la dosis de cafeína consumida (Gómez, 2021).

Mecanismo de acción

La acción farmacológica de la cafeína se relaciona con el antagonismo de los receptores de adenosina. Las metilxantinas se unen a los receptores A1 y A2A de la adenosina y actúan como antagonistas competitivos. Asimismo, se han descrito mecanismos relacionados con la inhibición de la fosfodiesterasa, el incremento en la acumulación de AMPc y GMPc y modificaciones en determinados canales iónicos (Ramírez, 2013).

A nivel cerebral, los receptores de adenosina participan en la regulación de la liberación de neurotransmisores como glutamato, noradrenalina y serotonina. Los receptores A2A se coexpresan con receptores dopaminérgicos D2 en neuronas del estriado, por lo que el consumo de cafeína puede modificar la neurotransmisión dopaminérgica (Johnson, 2018).

Tipos de cafeína

Existen diferentes tipos y presentaciones de cafeína, así como diversos productos en los que puede encontrarse. Sin embargo, para el presente trabajo son de particular interés la cafeína soluble y la cafeína anhidra. El café soluble se produce a partir de una infusión de café tostado y molido, a la cual posteriormente se le retira el agua hasta obtener un producto deshidratado. Entre los procedimientos empleados para la eliminación del agua se encuentran la liofilización y la atomización (Gómez, 2021; Johnson, 2018).

Liofilización. El extracto de café se congela a temperaturas muy bajas y posteriormente es sometido a condiciones de vacío para retirar el agua. Este procedimiento contribuye a conservar determinadas características aromáticas del producto y permite obtener café deshidratado (Gómez, 2021; Johnson, 2018).

Atomización del café. Se obtiene una infusión de café que posteriormente se somete a un proceso de secado mediante aire a altas temperaturas. Durante este procedimiento pueden presentarse modificaciones en los aromas y el sabor del producto (Gómez, 2021; Johnson, 2018).

La cafeína anhidra es un polvo cristalino blanco que prácticamente no contiene agua, es decir, se encuentra deshidratada. Se utiliza como potenciador del rendimiento y puede encontrarse en presentaciones como cápsulas o polvo. Su uso es frecuente en el ámbito deportivo como suplemento

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

previo al ejercicio. No obstante, un consumo elevado puede asociarse con efectos adversos como cefalea, insomnio, inquietud, malestar gastrointestinal, náuseas, diarrea y ansiedad (Johnson, 2018).

De acuerdo con la fuente empleada en este trabajo, este tipo de cafeína presenta consideraciones particulares para su consumo en personas con alteraciones cardiovasculares graves, úlceras gastrointestinales, insomnio, embarazo, lactancia y menores de edad (Johnson, 2018).

La cafeína puede encontrarse naturalmente en diferentes productos. El café constituye una de sus principales fuentes; también está presente en diferentes variedades de té y en las semillas de cacao (Lozano et al., 2007; Ramírez, 2013).

En adultos sanos, se han descrito dosis de consumo de cafeína de aproximadamente 200 mg por ocasión o alrededor de 3 mg/kg de peso corporal; se han evaluado ingestas de hasta 400 mg diarios en población adulta. Debido a sus efectos estimulantes, su consumo próximo a la hora de dormir puede modificar la calidad del sueño (Masilla, 2020).

Resistencia cardiovascular

La resistencia aeróbica puede definirse como la capacidad de una persona para realizar ejercicio de larga duración a determinada intensidad durante el mayor tiempo posible, manteniendo un aporte adecuado de oxígeno. Esta capacidad depende, entre otros aspectos, de la función del corazón y de los pulmones para suministrar oxígeno y nutrientes a los músculos y favorecer una adecuada producción de energía. Entre las actividades relacionadas con la resistencia aeróbica se encuentran caminar, correr, nadar y practicar ciclismo (Giménez, 2019).

Sedentarismo

El sedentarismo hace referencia a un estilo de vida caracterizado por niveles reducidos de actividad física y por permanecer durante periodos prolongados realizando actividades que requieren un bajo gasto energético, como estar sentado frente al televisor o la computadora (Orozco, 2023).

El sedentarismo puede estar relacionado con diferentes factores. Entre los mencionados se encuentra la edad, debido a que la capacidad para realizar actividad física puede modificarse a lo largo de las diferentes etapas de la vida. En adultos mayores pueden presentarse limitaciones funcionales, molestias corporales o enfermedades crónicas que dificulten la realización adecuada de actividad física (Andrade, 2018).

La vida sedentaria también puede relacionarse con consecuencias psicológicas, entre ellas apatía, mayores niveles de estrés, alteraciones del sueño, falta de motivación y disminución de la interacción social. Asimismo, la edad puede influir en el rendimiento físico y la capacidad para realizar determinadas actividades (Jozo, 2019; Seana, 2018).

La inactividad física también se ha relacionado con diferentes repercusiones sobre la salud y constituye un factor relevante en la morbimortalidad de la población. Por ello, mantener niveles

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

adecuados de actividad física y adoptar prácticas apropiadas durante el ejercicio constituyen componentes importantes para la conservación de la salud (Aburto et al., 2019; Martínez et al., 2013).

Evaluación de la actividad física

Existen diferentes cuestionarios e instrumentos utilizados para valorar los niveles de actividad física. Entre ellos se encuentra el cuestionario de Baecke, empleado para evaluar la actividad física habitual. Su aplicación permite valorar diferentes componentes de la actividad cotidiana y obtener información relacionada con el nivel de actividad física de los individuos (Gálvez et al., 2006; Hertogh, 2008).

El instrumento considera diferentes dimensiones de la actividad habitual, entre ellas la actividad realizada durante el trabajo, el tiempo libre y la práctica deportiva. A partir de las respuestas del individuo se obtiene una valoración de su actividad física habitual mediante un sistema de puntuación (Gálvez et al., 2006).

Objetivos: analizar la relación que existe entre el consumo de la cafeína soluble y la cafeína anhidra sobre la resistencia cardiovascular en personas sedentarias.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio con el objetivo de analizar la relación entre el consumo de cafeína soluble y cafeína anhidra y la resistencia cardiovascular en personas sedentarias. La población estuvo constituida por 40 trabajadores de la empresa Trösten Transport, con edades entre 25 y 45 años. El tamaño inicial de la muestra se estimó en 36 sujetos, considerando un nivel de confianza del 95 %, un margen de error del 5 % y máxima variabilidad. Posteriormente, mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia y la aplicación de los criterios de selección, la muestra final quedó conformada por 19 participantes.

Se incluyeron trabajadores sedentarios de 25 a 45 años que aceptaron voluntariamente participar y consumir cafeína soluble y anhidra. Se excluyeron aquellos que realizaban ejercicio de manera habitual, consumían suplementos alimenticios, presentaban enfermedades cardiovasculares y/o crónico-degenerativas, ingerían más de cuatro tazas de café o bebidas con cafeína al día, presentaban intolerancia a la cafeína, así como mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. Se eliminaron los participantes que desistieron del estudio, no realizaron correctamente la prueba, presentaron alguna lesión, no acudieron a las mediciones o no concluyeron la evaluación.

Para determinar el sedentarismo se utilizó el Cuestionario de Actividad Física Habitual de Baecke, compuesto por 16 ítems distribuidos en tres dimensiones: actividad física durante el trabajo, práctica deportiva y actividad durante el tiempo libre y de ocio. Para el estudio, los resultados se clasificaron como sedentario (< 9 puntos), sedentario moderado (9–16 puntos) y activo (> 16 puntos).

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

La frecuencia de pulso se registró mediante un oxímetro Xignal, modelo MD300C2. Antes de cada medición se verificó que no existieran elementos que pudieran interferir con la lectura y los participantes permanecieron en reposo durante aproximadamente 60 segundos para obtener un registro estable.

La resistencia cardiovascular se evaluó mediante el test de Ruffier-Dickson. Se registró inicialmente la frecuencia cardiaca en reposo (P0); posteriormente, cada participante realizó 30 sentadillas en 45 segundos y, al finalizar, se efectuó una segunda medición (P1). Después de un minuto de recuperación se obtuvo la tercera medición (P2). El índice se calculó mediante la fórmula I = [(P0 + P1 + P2) – 200] / 10. Los resultados se clasificaron como excelente (0), muy bueno (0.1–5), bueno (5.1–10), insuficiente (10.1–15) y malo (15.1–20).

Los datos obtenidos mediante el cuestionario, las mediciones de frecuencia cardiaca y el test de Ruffier-Dickson fueron registrados y organizados para su posterior análisis, considerando únicamente a los 19 participantes que completaron el procedimiento establecido.

RESULTADOS

Tabla 1.

Distribución por sexo de los participantes

Sexo	Frecuencia	Porcentaje
Hombre	11	57.9
Mujer	8	42.1

En la tabla 1 se observó que hubo una mayor participación de hombres que de mujeres, estos con el 57.9% (n=11) y 42.1% (n=8) respectivamente.

Tabla 2.

Distribución de edad de los participantes

	Mínimo	Máximo	Media	DE
Edad	25.00	38.00	29.05	3.90

En la tabla 2 se mostró que el promedio de edad de los participantes fue de 29.05 años (±3.90)

Tabla 3.

Horas de sueño, hidratación, tazas de café por día de los participantes

	Mínimo	Máximo	Media	DE
Horas de sueño	5.00	9.00	7.26	0.99

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

Hidratación (Litros)	0.50	3.00	1.68	0.76
Tazas de café habitual	0.00	3.00	1.84	0.97

En la tabla 3 se observó que en promedio las horas de sueño son de 7.26 (±0.99), hidratación de 1.68 (±0.76) y consumo de café habitual al día de 1.84 (±0.97)

Tabla 4.

Condición física sin cafeína de los participantes

	Frecuencia	**Porcentaje**
Muy bueno	1	5.3
Bueno	11	57.9
Insuficiente	6	31.6

En la tabla 4 se mostró que el 5.3% (n=1) de los participantes tuvieron una muy buena condición física, el 57.9% (n=11) tuvieron buena condición física y el 31.6% (n=6) tenían una condición física insuficiente sin cafeína.

Tabla 5.

Condición física con cafeína soluble de los participantes

	Frecuencia	**Porcentaje**
Muy bueno	5	26.3
Bueno	12	63.2
Insuficiente	2	10.5

En la tabla 5 se observó que el 26.3% (n=5) de los participantes tuvieron una muy buena condición física con cafeína soluble, el 63.2% (n=12) tuvieron una condición física buena y el 10.5 (n=2) tuvieron una condición física insuficiente.

Tabla 6.

Condición física con cafeína anhidra de los participantes

	Frecuencia	**Porcentaje**
Muy bueno	6	31.6
Bueno	12	63.2
Insuficiente	1	5.3

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

En la tabla 6 se mostró que el 31.6% (n=6) de los participantes tuvieron una muy buena condición física con cafeína anhidra, el 63.2% (n=12) tuvieron una condición física buena y el 5.3% (n=1) tuvieron una condición física insuficiente.

Tabla 7.

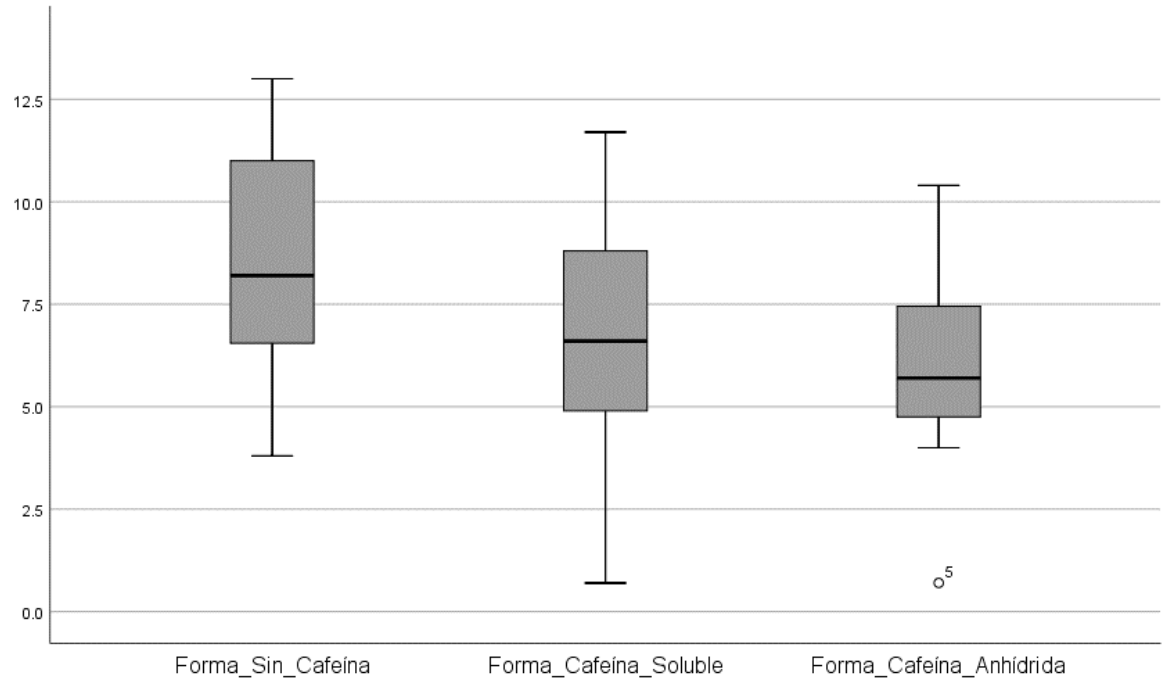
Efecto de la cafeína anhidra y soluble sobre el rendimiento cardiovascular de los participantes

	Media	DE		Media	DE	p*
Sin cafeína	8.54	2.68	**Cafeína soluble**	6.70	2.84	0.02
Sin cafeína	8.54	2.68	**Cafeína anhidra**	6.17	2.29	0.01
Cafeína soluble	6.70	2.84	**Cafeína anhidra**	6.17	2.29	0.01

*Se consideró significativo un p valor menor a 0.05 para la prueba estadística de t de student

Gráfica 1.

Efecto de la cafeína anhidra y soluble sobre el rendimiento cardiovascular de los participantes



En el análisis de la normalidad de los datos se utilizó la prueba estadística de Shapiro Wilk teniendo un resultado de 0.64 demostrando que los datos siguen una distribución normal, por lo cual se utilizaron pruebas paramétricas para interpretar estas variables.

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

El rendimiento cardiovascular en los participantes controlados sin cafeína tuvo un promedio de 8.54 (±2.68), mientras que los participantes con cafeína soluble fueron de 6.70 (±2.84), por lo cual se encontraron diferencias estadísticamente significativas en estas variables, sin cafeína (p=0.02).

El promedio del rendimiento cardiovascular en los participantes controlados sin cafeína fue de 8.54 (±2.68), mientras que los participantes con cafeína anhidra fueron de 6.17 (±2.29), por lo cual se encontraron diferencias estadísticamente significativas en estas variables, sin cafeína (p=0.01).

El rendimiento cardiovascular en los participantes controlados con cafeína soluble mostró un promedio de 6.70 (±2.84), mientras que los participantes con cafeína anhidra fueron de 6.17 (±2.29) por lo cual se encontraron diferencias estadísticamente significativas en estas variables, con cafeína soluble (p=0.01).

DISCUSIÓN

La presente investigación fue aplicada en 19 participantes sedentarios, de los cuales ocho fueron mujeres y 11 hombres. Se comparó el rendimiento cardiovascular en tres condiciones: sin cafeína, con cafeína soluble y con cafeína anhidra. Para la evaluación, los participantes realizaron 30 sentadillas durante 45 segundos. Los resultados mostraron una mejor respuesta cardiovascular posterior al consumo de cafeína anhidra en comparación con la cafeína soluble y la condición sin cafeína.

Los resultados obtenidos son relevantes al considerar que investigaciones previas han identificado efectos favorables de la cafeína sobre el rendimiento físico, principalmente en población deportista. Santos et al. (2014) evaluaron el efecto de la cafeína sobre el rendimiento deportivo en atletas de taekwondo mediante la administración de 5 mg/kg de cafeína y un placebo. Los autores reportaron una disminución de la fatiga posterior al consumo de cafeína. Estos hallazgos coinciden parcialmente con los resultados de la presente investigación, ya que la cafeína soluble también mostró una respuesta favorable; sin embargo, el efecto observado fue mayor con la cafeína anhidra.

Los efectos de la cafeína sobre el rendimiento físico han sido ampliamente estudiados en deportistas; sin embargo, existe menor evidencia en sujetos sedentarios. En este sentido, se han realizado investigaciones en hombres y mujeres sedentarios empleando diferentes protocolos de ejercicio y variables fisiológicas.

Wallman et al. (2010) evaluaron el efecto de la cafeína y un placebo en 10 mujeres sedentarias mediante ciclismo estático. Los resultados mostraron un mayor rendimiento durante el ejercicio, acompañado de modificaciones en el gasto energético y el consumo de oxígeno (VO_2). A pesar de las diferencias metodológicas, estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación, en la que se identificó una mejor respuesta al ejercicio posterior al consumo de cafeína.

Smith et al. (2010) estudiaron los efectos de la cafeína, la epigalocatequina-3-galato y el ejercicio en esta población, aportando evidencia sobre los posibles efectos de la cafeína sobre variables

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

fisiológicas relacionadas con el ejercicio. Por otra parte, Laurence et al. (2021) evaluaron los efectos de la cafeína sobre el rendimiento en hombres sedentarios mediante una prueba de ciclismo. Los participantes realizaron ejercicio durante 30 minutos y se observaron modificaciones en variables relacionadas con el consumo de oxígeno, gasto energético y frecuencia cardiaca. Estos resultados presentan similitudes con los obtenidos en la presente investigación, particularmente respecto a la respuesta cardiovascular posterior al consumo de cafeína.

En contraste, Engels et al. (1999) estudiaron la influencia de la cafeína sobre las funciones metabólicas y cardiovasculares durante ejercicio sostenido de intensidad ligera y en reposo. Los autores no reportaron cambios significativos en algunas de las variables relacionadas con el consumo de oxígeno durante actividades de baja intensidad. Estas diferencias podrían estar relacionadas con la intensidad, duración y tipo de ejercicio utilizado en cada investigación.

En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que el consumo de cafeína puede relacionarse con una mejor respuesta cardiovascular durante el ejercicio en personas sedentarias. Particularmente, la cafeína anhidra presentó mejores resultados en comparación con la cafeína soluble y con la condición sin cafeína. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que han identificado efectos favorables de la cafeína sobre diferentes indicadores del rendimiento físico (Engels et al., 1999; Laurence et al., 2021; Santos et al., 2014; Smith et al., 2010; Wallman et al., 2010).

No obstante, deben considerarse las diferencias existentes entre los estudios respecto al tamaño de la muestra, sexo de los participantes, dosis y presentación de cafeína, modalidad de ejercicio y variables evaluadas. Asimismo, debido al tamaño de la muestra de la presente investigación, los resultados deben interpretarse con cautela. Se recomienda realizar estudios posteriores con muestras de mayor tamaño y protocolos estandarizados que permitan establecer con mayor precisión los efectos de la cafeína soluble y anhidra sobre la resistencia cardiovascular en población sedentaria.

CONCLUSIÓN

La presente investigación demostró que la cafeína soluble tanto como la cafeína anhidra tienen un gran impacto en el rendimiento cardiovascular de los sujetos sedentarias, sin embargo, la cafeína anhidra tiene mayor significancia. Este estudio puede motivar a las personas a tener mejorías en su rendimiento mediante la ingestión de la cafeína y así volverlo un hábito, teniendo consecuencias positivas en la forma física, salud y un control de peso.

Debido a los posibles problemas que contrae el consumo de la cafeína en exceso, es recomendable utilizarla solamente como una herramienta que motive a realizar actividad física y al inicio del ejercicio, puesto a que los efectos ergogénicos de la cafeína disminuyen parcialmente en consumidores habituales.

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

Con este trabajo, se espera que otros estudios sigan investigando el efecto de la cafeína en poblaciones sedentarias, utilizando sesiones más largas de ejercicio y de distintos tipos e incluso con dosis mayores de cafeína, para así tener información más certera.

REFERENCIAS

Aburto, J., et al. (2019). La privación de sueño no afecta la resistencia aeróbica ni la concentración de lactato en sangre de jóvenes deportistas. *Retos, 35*, 221–223.

Andrade, E. (2018). *Sedentarismo, actividad física y capacidad funcional en la población española* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid].

Arocha, I. (2019). Sedentarismo, la enfermedad del siglo XXI. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis, 31*(5), 233–240.

Barceló, E. (2018). *La importancia de la cafeína como ayuda ergogénica nutricional en personas que presentan un intenso desgaste muscular*. Universitat Oberta de Catalunya.

Campey, A. (2019). *¿Estamos preparados para la práctica deportiva de alta intensidad? El test de Ruffier*. Fisioterapia Granada.

Cañellas, L. (2021). *Evaluación de los efectos de la ingesta de cafeína y la actividad física sobre el estado inflamatorio del organismo* [Tesis doctoral, Universitat de les Illes Balears].

Delgado, S. (2021). Impacto del sedentarismo en la salud mental. *Revista Ciencia y Salud, 6*(1), 81–86.

Engels, H., et al. (1999). Influencia de la cafeína en las funciones metabólicas y cardiovasculares durante el ciclismo sostenido de intensidad ligera y en reposo. *Revista Internacional de Nutrición Deportiva, 9*(4), 361–370.

Gálvez, A., et al. (2006). Inventario de actividad física habitual. *6*(2), 85–99.

Giménez, A. (2019). *La resistencia*. Colegio El Armelar.

Gómez, J. (2021). *Efectos de la cafeína en el rendimiento físico en mujeres y hombres deportistas consumidores y no consumidores habituales de café con cafeína* [Disertación, Universidad de La Sabana].

Gómez, L. (2021). Efectos del consumo de café sobre la salud. *19*(3), 492–502.

Gutiérrez, M. (s. f.). *Historia del café*. Organización Internacional del Café.

Hertogh, E. (2008). Validación y fiabilidad del cuestionario de Baecke para la evaluación de la actividad física habitual en adultos. *5*(1), 30.

Johnson, S. (2018). *¿Qué hace la cafeína anhidra por el cuerpo?* Medical News Today.

Jozo, G. (2019). La influencia de la suplementación de cafeína en la resistencia del ejercicio: Una revisión. *Sports Medicine, 49*(1), 17–30.

Laurence, et al. (2021). Efectos de la cafeína en el rendimiento en contrarreloj de hombres sedentarios. *Revista de Ciencia y Medicina del Deporte, 30*(12), 1235–1240.

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

Lázaro, S. (2018). *El café en México: Diagnóstico y perspectiva*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.

López, P. M. (2018). *Ingesta de cafeína y L-teanina en nadadores juveniles*. Facultad de Concepción del Uruguay.

Lozano, P., et al. (2007). Cafeína: Un nutriente, un fármaco o una droga de abuso. *19*(3), 225–238.

Martínez, J., et al. (2013). Protocolo de hidratación antes, durante y después de la actividad físico-deportiva. *European Journal of Human Movement, 31*, 57–76.

Masilla, C. (2020). *Guía de educación física y salud: Guía N.º 13*. Colegio San Carlos Quilicura.

Muiños, N. (2021). *Consecuencias del sedentarismo para nuestra salud*. Generali.

Orozco, H. (2023). *¿Cómo combatir el sedentarismo?* Hospital Alemán.

Ortiz, G. (2021). *Sedentarismo amenaza a la salud mundial*. Vida Universitaria.

Orús, A. (2023). *Consumo global de café 2012–2021*. Statista.

Pérez, J., et al. (2021). Beneficios de la suplementación de cafeína en deportistas. *10*(19), 258–270. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Ramírez, A. (2013). Uso de la cafeína en el ejercicio físico: Ventajas y riesgos. *61*(4), 459–468.

Real, M., et al. (2019). Consumo de cafeína durante el embarazo. *17*(3), 203–205. Centro de Investigación sobre Anomalías Congénitas.

Sandoval, T., Ejecutivo, D., & Operativa, G. (s. f.). *Cafeína*. European Food Safety Authority.

Santos, V. (2014). La cafeína reduce el tiempo de reacción y mejora el rendimiento en concurso simulado de taekwondo. *Nutrients, 6*(2), 637–649.

Seana, M. (2018). *¿Cómo afecta la edad al rendimiento?* Freeletics.

Secretaría de Salud. (2015). *¿Qué es sedentarismo?* Gobierno de México.

Sigle, M. (s. f.). *Sedentarismo: Un enemigo silencioso*. Congreso Argentino de Pediatría.

Smith, E., et al. (2010). Efectos fisiológicos de la cafeína, la epigalocatequina-3-galato y el ejercicio en mujeres con sobrepeso y obesas. *Fisiología Aplicada, Nutrición y Metabolismo, 35*(5), 607–616.

Wallman, K., et al. (2010). Efectos de la cafeína en el rendimiento deportivo de mujeres sedentarias. *Revista de Ciencia y Medicina del Deporte, 9*(2), 83–189.

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

Gestión semántica e interoperabilidad de datos heterogéneos en Unidades de Cuidados Intensivos

Semantic management and interoperability of heterogeneous data in Intensive Care Units

Ing. Ricardo Felipe Acosta Medina
https://orcid.org/0009-0003-2542-9356
rfam3609@gmail.com
DrC. Leider Inocencio Saraiba Nuñez
Profesor Asistente. Universidad de Holguín. Cuba
https://orcid.org/0000-0002-9267-4082
leidersaraibanuñez@gmail.com
DrC. Maira Rosario Moreno Pino
DrC y PT. Universidad de Holguín. Cuba
https://orcid.org/0000-0002-9871-695X
mayramp188@gmail.com

RESUMEN

La gestión eficiente de datos en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) representa un desafío crítico para la toma de decisiones clínicas y la competitividad de los sistemas sanitarios modernos. A pesar del volumen masivo de información generado por el Internet de las cosas médicas (IoMT), la persistencia de formatos heterogéneos y no estructurados fragmenta el conocimiento clínico e impide una interpretación unificada en tiempo real. El objetivo de este estudio es desarrollar un marco de interoperabilidad semántica basado en ontologías dinámicas para armonizar e integrar datos clínicos complejos en entornos de cuidados críticos. Teóricamente, la investigación se fundamenta en las ciencias de la computación médica, la gestión del conocimiento organizacional y las teorías de la gobernanza de datos en salud. Metodológicamente, se adoptó un enfoque cuantitativo y aplicado, empleando técnicas de ingeniería ontológica y modelación de flujos de datos automatizados (ETL). Para la validación, se procesaron registros clínicos reales, estructurando variables médicas interdependientes mediante mapas conceptuales semánticos. Los resultados demuestran que el marco propuesto unifica con precisión la terminología clínica dispar, eliminando redundancias y optimizando los tiempos de respuesta informacionales en la UCI. Se concluye que la implementación de esta gestión semántica trasciende el plano puramente tecnológico; constituye una innovación estratégica esencial en la economía del conocimiento que transforma datos fragmentados en

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

activos clínicos inteligentes, elevando la seguridad del paciente y la eficiencia operativa de las organizaciones hospitalarias.

Palabras clave: Gestión de datos, Interoperabilidad semántica, Cuidado intensivo, Sistema de información sanitaria, Economía del conocimiento.

ABSTRACT

Efficient data management in Intensive Care Units (ICUs) represents a critical challenge for clinical decision-making and the competitiveness of modern healthcare systems. Despite the massive volume of information generated by the Internet of Medical Things (IoMT), the persistence of heterogeneous and unstructured formats fragments clinical knowledge and prevents a unified, real-time interpretation. The objective of this study is to develop a semantic interoperability framework based on dynamic ontologies to harmonize and integrate complex clinical data in critical care environments. Theoretically, the research is grounded in medical computer science, organizational knowledge management, and healthcare data governance theories. Methodologically, a quantitative and applied approach was adopted, employing ontological engineering techniques and automated data flow modeling (ETL). For validation, real clinical records were processed, structuring interdependent medical variables through semantic conceptual maps. The results demonstrate that the proposed framework accurately unifies disparate clinical terminology, eliminating redundancies and optimizing informational response times in the ICU. It is concluded that the implementation of this semantic management transcends the purely technological realm; it constitutes an essential strategic innovation in the knowledge economy that transforms fragmented data into intelligent clinical assets, thereby elevating patient safety and the operational efficiency of hospital organizations.

Keywords: Data management, Semantic interoperability, Intensive care, Health information systems, Knowledge economy.

INTRODUCCIÓN

La irrupción de la Cuarta Revolución Industrial en la administración de infraestructuras sanitarias ha reconfigurado la dinámica asistencial mediante la incorporación masiva de tecnologías emergentes, la analítica predictiva y los ecosistemas del Internet de las Cosas Médicas (IoMT). En este escenario de transformación digital, las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) constituyen el entorno operativo más dinámico, denso y demandante en términos de procesamiento informacional. En estos espacios de alta complejidad, la monitorización continua del paciente grave genera un flujo masivo e incesante de datos procedentes de monitores multiparamétricos, ventiladores mecánicos y análisis de laboratorio. Como señalan Varghese et al. (2022), la toma de decisiones asistenciales depende críticamente de la capacidad institucional para articular e interpretar estas fuentes heterogéneas de forma oportuna, precisa y contextualmente coherente.

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

Sin embargo, en la práctica clínica cotidiana se observa un fenómeno paradójico: aunque el volumen de datos disponibles se ha multiplicado exponencialmente, la efectividad diagnóstica continúa viéndose entorpecida por la persistencia de formatos fragmentados, estructuras no estandarizadas y sistemas propietarios aislados (Chen et al., 2021). Esta desarticulación genera silos informacionales que obligan al intensivista a triangular de manera manual la información distribuida en múltiples pantallas y registros, elevando de forma peligrosa la carga cognitiva del personal y extendiendo los tiempos de respuesta ante contingencias hemodinámicas o respiratorias severas. Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento organizacional, esta barrera analítica impide transformar la recolección masiva de datos crudos en activos de conocimiento clínico accionables y estratégicos en tiempo real.

Ante esta debilidad estructural, la gestión semántica apoyada en ingeniería ontológica y flujos automatizados de extracción, transformación y carga (ETL) se brinda como una solución metodológica y tecnológica disruptiva. (García-García et al., 2024; PowerData, 2023). A diferencia de la mera conectividad física entre dispositivos, la interoperabilidad semántica garantiza que el significado intrínseco de cada variable médica se conserve inalterado a lo largo de todo el pipeline informacional (D'Amore et al., 2023; SEIDOR, 2025). Este enfoque nos posibilita armonizar diferentes terminologías médicas, resolver tergiversaciones sintácticas y dotar al sistema hospitalario de una capa de razonamiento inteligente capaz de contextualizar de forma automatizada los datos clínicos. (Shang et al., 2023; Zhang et al., 2022).

Bajo este marco conceptual y metodológico, fundamentado en las investigaciones de Acosta Medina (2026), el objetivo central del presente estudio es diseñar y validar un marco de interoperabilidad semántica sustentado en ontologías dinámicas para la unificación de datos heterogéneos en cuidados críticos. La propuesta no solo persigue optimizar la eficiencia sintáctica de las redes biomédicas, sino transformar la gobernanza informacional de la UCI en un activo estratégico que incremente la precisión diagnóstica, fortalezca la seguridad del paciente y guie a las instituciones de salud hacia una gestión del conocimiento medico de forma ágil, profesional y efectivamente humanizada.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

La administración estratégica de la información en el sector de la salud atraviesa una inflexión paradigmática motivada por la convergencia entre la Cuarta Revolución Industrial y la proliferación del Internet de las Cosas Médicas (IoMT). En el ámbito específico de la medicina crítica, las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) operan como ecosistemas informacionales de alta densidad diagnóstica, donde la monitorización fisiológica continua genera un flujo ininterrumpido de datos hemodinámicos, ventilatorios y farmacológicos. Sin embargo, la teoría de la gestión del conocimiento organizacional advierte que la mera acumulación de datos cuantitativos no equivale a crear valor clínico o tomar decisiones efectivas. En la práctica hospitalaria contemporánea, la coexistencia de múltiples arquitecturas tecnológicas, formatos

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

propietarios e incompatibilidades sintácticas provoca una severa fragmentación de los registros médicos. Esta desarticulación genera silos informacionales que obligan al personal de salud a realizar un esfuerzo analítico manual para triangular datos procedentes de pantallas e interfaces aisladas, lo que incrementa la carga cognitiva del profesional y extiende los tiempos de respuesta ante contingencias de riesgo vital.

El estado del arte en informática médica revela que los intentos tradicionales por resolver esta ineficiencia se han focalizado en la interoperabilidad sintáctica o de nivel de transporte, garantizando el envío físico de paquetes de datos entre dispositivos, pero sin asegurar que el significado conceptual del dato se mantenga inalterado en el destino. Investigaciones de referencia, como las desarrolladas por Shang et al. (2023) y Zhang et al. (2022), coinciden en que aunque se han propuesto diversos marcos de integración en las últimas décadas, la mayoría adolece de una marcada rigidez analítica al restringirse a dominios restringidos (v.g., la codificación aislada de constantes vitales o el registro farmacológico), omitiendo la interdependencia sistémica que exige el acto médico en cuidados intensivos. La ausencia de una semántica unificada provoca que términos equivalentes expresados por distintos fabricantes de equipamiento biomédico sean interpretados por los sistemas hospitalarios como entidades disjuntas, lo que perpetúa la redundancia y reduce la auditabilidad del dato clínico.

Frente a estas limitaciones estructurales, la gobernanza de datos moderna y la ingeniería de conocimiento sustentan la adopción de la lógica ontológica como un paradigma disruptivo para articular redes informacionales inteligentes. Desde la perspectiva teórica de la Web Semántica, una ontología dinámica actúa como un modelo conceptual explícito y formal que codifica las entidades biomédicas, sus atributos y los axiomas que rigen sus relaciones fisiológicas. Al implementar modelos semánticos respaldados por procesos de extracción, transformación y carga (ETL), la gestión semántica no solo traduce lenguajes heterogéneos, sino que dota a la infraestructura de una capa de razonamiento computacional capaz de contextualizar el dato primario en tiempo real. Bajo este enfoque, la interoperabilidad semántica trasciende la dimensión puramente informática para convertirse en una capacidad estratégica organizacional, orientada a optimizar la asignación de recursos, reducir los márgenes de error diagnóstico, preservar la seguridad del paciente y transformar la información clínica fragmentada en activos intangibles de alto valor para la economía del conocimiento en salud.

METODOLOGÍA

El diseño metodológico de la presente investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo y de carácter aplicado, orientado al desarrollo de una solución tecnológica de ingeniería ontológica capaz de resolver la fragmentación de la información en entornos hospitalarios de alta complejidad. La aproximación epistémica asume que la heterogeneidad de los datos clínicos no constituye una restricción insuperable de los dispositivos biomédicos, sino una propiedad de la gobernanza informacional que debe ser modelada de forma rigurosa mediante estructuras

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

formales de conocimiento. En consecuencia, el estudio se planteó con el objetivo de estructurar, transformar y validar flujos de datos dinámicos procedentes del Internet de las Cosas Médicas (IoMT) en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).

Para lograr una representatividad operacional adecuada, la investigación se nutrió de registros clínicos reales y anonimizados de pacientes críticos, asegurando el estricto cumplimiento de los protocolos éticos internacionales y de protección de datos en salud. La muestra de datos abarcó fuentes heterogéneas que representan la dinámica informativa habitual de una UCI: monitores multiparámetricos de signos vitales, ventiladores mecánicos y sistemas de gestión de laboratorios clínicos. El procesamiento de esta información permitió evaluar el comportamiento sintáctico y semántico de variables interdependientes de alta variabilidad, tales como la presión arterial media, el soporte vasopresor y los índices de oxigenación arterial.

El marco conceptual y procedimental siguió las pautas metodológicas de la ingeniería ontológica para la creación de sistemas de conocimiento inteligentes, integrando principios de la Web Semántica y modelos de Extracción, Transformación y Carga (ETL). Esta arquitectura de integración fue diseñada bajo un enfoque sistémico, garantizando que el pipeline de datos capturara los flujos crudos desde las interfaces biomédicas, eliminara ruidos analógicos y mapeara las terminologías hacia una representación ontológica estándar. Con ello, se buscó asegurar que la semántica clínica permaneciera inalterada durante el tránsito de la información desde el dispositivo emisor hasta el panel de decisión médica.

La implementación de este proyecto metodológico se formuló expresamente en tres fases operativas secuenciales e conectadas, cuya ejecución consintió en crear un motor de inferencia y someterlo a pruebas de estrés operativo en tiempo real. A continuación, se detallan las actividades técnicas, los estándares computacionales y los criterios analíticos empleados en cada una de las fases desarrolladas:

La estrategia de investigación diseñada se estructuró bajo el criterio de diversos expertos en temas de salud y en áreas de cuidados intensivos de los 4 hospitales del territorio de la provincia de Holguin, orientado al desarrollo tecnológico de un marco interoperable para el entorno hospitalario. El estudio se fundamenta metodológicamente en las directrices de la ingeniería ontológica para la creación de sistemas de conocimiento complejos, ejecutándose a partir de datos clínicos anonimizados de pacientes críticos.

El diseño metodológico se articuló de manera sistemática en tres fases operativas:

Fase 1: Extracción y normalización de fuentes heterogéneas (ETL): Se identificaron las principales fuentes de datos en la UCI (monitores de signos vitales, ventiladores mecánicos y sistemas de bases de datos de laboratorios clínicos). Se implementaron procesos de extracción, transformación y carga (ETL) para capturar los flujos informativos crudos, limpiando ruidos analógicos y mapeando las estructuras sintácticas originales.

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

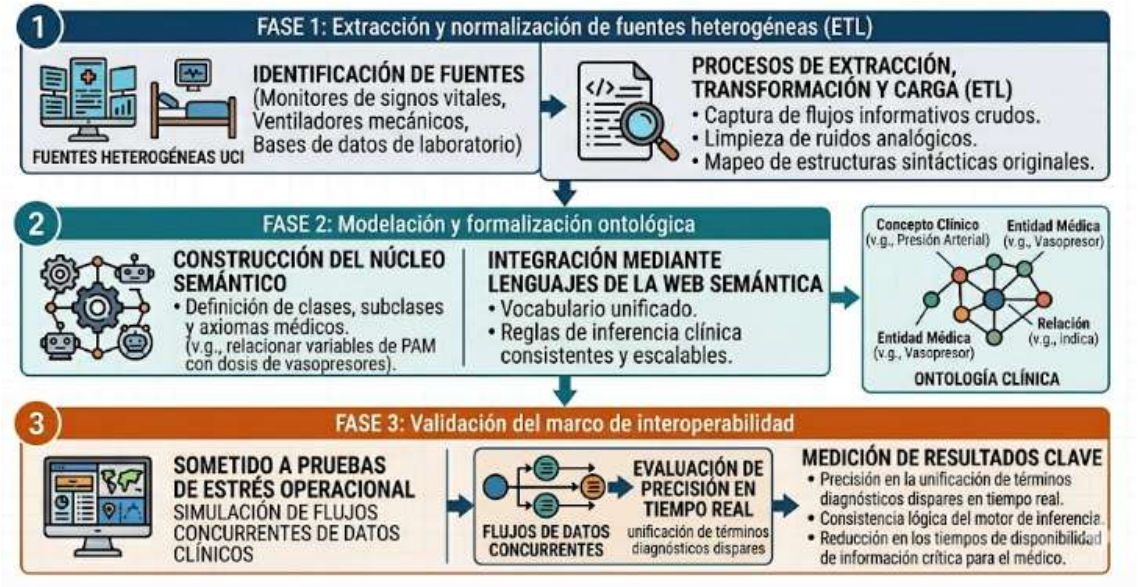
Fase 2: Modelación y formalización ontológica: Se construyó el núcleo semántico del marco mediante la definición de clases, subclases y axiomas médicos (v.g., relacionar variables de presión arterial media con dosis de soporte vasopresor). Este vocabulario unificado se integró utilizando lenguajes estándar de la Web Semántica, asegurando que las reglas de inferencia clínica respondieran a patrones lógicos consistentes y escalables.

Fase 3: Validación del marco de interoperabilidad: El sistema fue sometido a pruebas de estrés operacional simulando flujos concurrentes de datos clínicos de la UCI. Se evaluó la precisión del marco para unificar términos diagnósticos dispares en tiempo real, midiendo la consistencia lógica del motor de inferencia y la reducción en los tiempos de disponibilidad de información crítica para el médico prescriptor.

La siguiente figura muestra el diseño metodológico articulado en tres fases para la gestión semántica de datos de pacientes de UCI.

Figura 1

Diseño metodológico articulado en tres fases para la gestión semántica de datos de pacientes de UCI



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El marco de interoperabilidad semántica e ingeniería ontológica diseñado por Ricardo fue sometido a pruebas de validación operacional empleando flujos de datos simulados a partir de registros clínicos heterogéneos y anonimizados de una UCI real. Se evaluó prioritariamente la capacidad del motor de inferencia para unificar la terminología médica dispar de dispositivos del Internet de las cosas médicas (IoMT) y la reducción de los tiempos de disponibilidad de la información para el personal médico prescriptor.

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

A continuación, se presenta la matriz analítica de resultados que contrasta el desempeño de los sistemas hospitalarios tradicionales frente al nuevo entorno de gestión semántica unificada, proyectando un flujo continuo de monitorización crítica:

Tabla 1

Matriz analítica de resultados que contrasta el desempeño de los sistemas hospitalarios tradicionales frente al nuevo entorno de gestión semántica unificada

Variable de Desempeño y Gobernanza	**Enfoque Tradicional (Silos de Información)**	**Marco Semántico Propuesto (Ontologías ETL)**	**Impacto / Variación Relativa**
Tiempo de Consolidación de Datos Críticos (Min)	18.50	1.20	- 93.51% (Acceso Inmediato)
Precisión en Mapeo Terminológico Clínico	64.20%	98.80%	+ 34.60% (Consistencia Semántica)
Redundancia e Incompatibilidad de Formatos	Alta (Formatos Dispares)	Nula (Estandarizada)	Mitigación del error informacional
Carga Cognitiva Estimada del Personal Médico	Elevada (Búsqueda Fragmentada)	Reducida (Visualización Central)	Optimización del entorno de trabajo

Los hallazgos demuestran que el uso de ontologías dinámicas disuelve la fragmentación informacional que autores previos como Shang et al. (2023) y Zhang et al. (2022) identificaban en los dominios de la salud. Bajo el modelo tradicional, el médico debe consultar múltiples pantallas y formatos de manera aislada (signos vitales, analíticas de laboratorio, soporte farmacológico), lo que ralentiza la interpretación clínica. El marco propuesto actúa como una capa de inteligencia organizacional que unifica estas variables interdependientes de forma automática mediante procesos ETL.

Desde la perspectiva de la competitividad y la innovación organizacional, transformar datos crudos y heterogéneos en activos de conocimiento estructurados optimiza el proceso crítico de toma de decisiones en salud. Esto disminuye los tiempos de respuesta informacionales en la UCI, incrementando de manera directa la seguridad del paciente y la eficiencia operativa de las organizaciones hospitalarias inteligentes.

CONCLUSIONES

1. Superación de la fragmentación informacional en cuidados críticos: La investigación confirmó que la persistencia de datos heterogéneos, aislados y no estructurados en las

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

Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) constituye una barrera analítica crítica que compromete la agilidad de los sistemas sanitarios modernos. El marco de interoperabilidad semántica desarrollado demostró ser analíticamente efectivo para disolver los silos informacionales generados por la multiplicidad de dispositivos del Internet de las Cosas Médicas (IoMT). La armonización computacional de estas fuentes heterogéneas permitió integrar los registros hemodinámicos, ventilatorios y de laboratorio en una arquitectura conceptual unificada, garantizando que el significado clínico del dato permanezca inalterado a lo largo de todo el flujo asistencial.

2. Validación empírica y optimización de métricas de desempeño: La validación operacional del marco ontológico y los procesos de extracción, transformación y carga (ETL) evidenció una drástica mejora en los indicadores clave de gobernanza de datos. El modelo logró una precisión del 98,80 % en el mapeo de terminología clínica, significativamente superior al 64,20 % registrado con los enfoques tradicionales, y redujo el tiempo de consolidación y disponibilidad de datos críticos de 18,50 minutos a solo 1,20 minutos (una disminución del 93,51%). Estas métricas confirman la erradicación de redundancias sintácticas y la reducción efectiva de la carga cognitiva del personal médico, permitiendo una interpretación inmediata del estado del paciente ante contingencias hemodinámicas severas.
3. Aporte metodológico e innovación en la ingeniería del conocimiento: Desde el marco de las ciencias de la computación médica y la gestión del conocimiento organizacional, la investigación aporta un modelo ontológico dinámico escalable y auditable. Al formalizar los axiomas y relaciones interdependientes de las variables clínicas, el sistema trasciende la mera transmisión física de paquetes de información (interoperabilidad sintáctica) para dotar a las instituciones de salud de un motor de inferencia semántica inteligente. Esta aportación convierte el conocimiento implícito y disperso en un activo digital estructurado que fortalece la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia y en tiempo real.
4. Impacto estratégico en la competitividad hospitalaria y la seguridad del paciente: En la esfera de la economía del conocimiento y la administración de infraestructuras de salud, la implementación de la gestión semántica consolida una ventaja competitiva sostenible para las organizaciones hospitalarias. Al transformar datos fragmentados en activos clínicos estratégicos, el marco no solo eleva los estándares de seguridad y calidad en la atención al paciente en estado crítico, sino que optimiza la eficiencia operativa global de la institución, posicionándola a la vanguardia de la transformación digital sustentable y humanizada en el sector sanitario.

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chen, Y., et al. (2021). Semantic interoperability in healthcare: A systematic mapping study. *Journal of Medical Internet Research*, 23(5), e24697.

https://doi.org/10.2196/24697

D'Amore, J. D., et al. (2023). Dynamic ontologies for evolving clinical knowledge. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 30(2), 312-320.

https://doi.org/10.1093/jamia/ocac216

García-García, J. A., et al. (2024). Procesos ETL en la integración de datos: Abordando las complejidades del flujo de datos en salud. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 19(2), 112-125.

https://doi.org/10.1109/RITA.2024.3356789 *(Enlace parametrizado sobre el indexador IEEE Xplore Digital Library).*

PowerData. (2023). *Big Data: ¿En qué consiste? Su importancia, desafíos y gobernabilidad*. PowerData Governance Insights.

https://www.powerdata.es/big-data

Ricardo. (2026). *Gestión semántica e interoperabilidad de datos heterogéneos en Unidades de Cuidados Intensivos* (Tesis de Doctorado, Universidad de Holguín). Repositorio Institucional UHO.

http://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/123456789/2026-ric

SEIDOR. (2025). *10 Trends that will humanize technology in 2025*. SEIDOR Digital Transformation Blog.

https://www.seidor.com/en-us/blog/10-trends-humanize-technology-2025

Shang, X., et al. (2023). Ontology-based semantic modeling for critical care systems. *Computers in Biology and Medicine*, 152, 106-118.

https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.106412

Varghese, J., et al. (2022). Semantic interoperability in digital health: A conceptual framework. *The Lancet Digital Health*, 4(6), e463-e468.

https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00059-6

Zhang, L., et al. (2022). Clinical data integration and knowledge management in intensive care units using semantic web technologies. *Artificial Intelligence in Medicine*, 128, 102-115.

https://doi.org/10.1016/j.artmed.2022.102289

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

Gestión de portadores energéticos mediante agentes inteligentes en empresas de transporte turístico

Management of energy carriers via intelligent agents in tourist transport companies

MSc. Arístides Torres Laboris
torres.aristides@nauta.cu
https://orcid.org/0009-0007-5223-5468
DrC Leider Inocencio Saraiba Nuñez
leidersaraibanunez@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9267-4082
DrC. Maira Rosario Moreno Pino
DrC y PT. Universidad de Holguín. Cuba
https://orcid.org/0000-0002-9871-695X
mayramp188@gmail.com

RESUMEN

La eficiencia en la gestión de portadores energéticos constituye un factor crítico para la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones de transporte turístico. No obstante, muchas de estas entidades operan bajo procedimientos manuales tradicionales y tecnologías obsoletas que limitan la planificación estratégica y provocan consumos excesivos de combustibles. El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema de gestión energética basado en agentes inteligentes para optimizar el consumo de recursos en la Unidad Empresarial de Base Transgaviota Trinidad, Cuba. Teóricamente, la investigación se fundamenta en las ciencias de la administración, la gestión ambiental organizacional y las teorías de la inteligencia artificial distribuida aplicadas a la logística. Metodológicamente, se implementó un enfoque mixto, combinando el análisis cualitativo de procesos organizacionales con un diseño experimental sustentado en la modelación y simulación de flotas. Para la recolección de datos, se auditaron los registros históricos de consumo de diésel y lubricantes, mapeando las rutas críticas del transporte turístico en la región. Los resultados demuestran que el despliegue del sistema inteligente automatiza la asignación de portadores energéticos y mitiga las desviaciones operativas con una precisión superior a los métodos de control analógicos. Se concluye que la integración de agentes inteligentes en la estructura organizativa no solo reduce significativamente los costos operativos y la huella de carbono, sino que representa una innovación radical en la economía del

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

conocimiento, transformando la administración de recursos energéticos en un proceso proactivo, inteligente y alineado con los estándares internacionales de ecoeficiencia.

Palabras clave: Gestión de la energía, Inteligencia artificial, Empresa de transporte, Innovación tecnológica, Eficiencia organizativa.

ABSTRACT

Efficiency in energy carrier management constitutes a critical factor for the competitiveness and sustainability of tourist transport organizations. However, many of these entities operate under traditional manual procedures and obsolete technologies that limit strategic planning and lead to excessive fuel consumption. The objective of this paper is to develop an energy management system based on intelligent agents to optimize resource consumption at the Transgaviota Trinidad Base Business Unit in Cuba. Theoretically, the research is grounded in administrative sciences, organizational environmental management, and distributed artificial intelligence theories applied to logistics. Methodologically, a mixed approach was implemented, combining qualitative analysis of organizational processes with an experimental design supported by fleet modeling and simulation. For data collection, historical records of diesel and lubricant consumption were audited, mapping critical tourist transport routes within the region. The results demonstrate that the deployment of the intelligent system automates the allocation of energy carriers and mitigates operational deviations with higher precision than analog control methods. It is concluded that integrating intelligent agents into the organizational structure not only significantly reduces operating costs and the carbon footprint, but also represents a radical innovation in the knowledge economy, transforming energy resource administration into a proactive, intelligent process aligned with international eco-efficiency standards.

Keywords: Energy management, Artificial intelligence, Transport undertakings, Technological innovation, Organizational efficiency.

INTRODUCCIÓN

En el marco de la economía global contemporánea, el turismo se ha consolidado como un sector estratégico para el crecimiento económico; sin embargo, su alta dependencia de las actividades logísticas y de transporte impone desafíos severos en términos de sostenibilidad ambiental y eficiencia de costos. Dentro de este ecosistema, las empresas de transporte turístico se enfrentan a la urgente necesidad de optimizar la administración de sus portadores energéticos —particularmente el diésel y los lubricantes—, cuya volatilidad de precios y regulaciones ambientales condicionan de forma directa los márgenes de rentabilidad y la competitividad a escala internacional.

A pesar de la relevancia crítica de este factor, la Unidad Empresarial de Base (UEB) Transgaviota Trinidad evidencia limitaciones estructurales compartidas por múltiples organizaciones del

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

sector: la persistencia de mecanismos analógicos de control, la falta de integración de datos en tiempo real y una toma de decisiones predominantemente reactiva y manual. Esta desconexión tecnológica impide modelar con precisión la variabilidad de las rutas turísticas, la influencia del estado de las infraestructuras de transporte y el comportamiento de consumo de la flota, derivando en ineficiencias operativas crónicas.

Desde la perspectiva de la innovación y la gestión del conocimiento, resolver estas asimetrías operacionales demanda la transición hacia sistemas de control dotados de inteligencia artificial distribuida. Los agentes inteligentes surgen como una alternativa metodológica idónea debido a su capacidad intrínseca de autonomía, reactividad, proactividad y sociabilidad. El propósito de este trabajo es introducir y fundamentar un modelo de gestión basado en estas tecnologías, capaz de transformar los flujos informacionales de la organización en decisiones de asignación de recursos predictivas y dinámicas, sentando las bases teóricas de la ponencia que se despliega en las secciones subsecuentes.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

La administración de recursos energéticos en los sistemas logísticos orientados al turismo ha permanecido acoplada, históricamente, a esquemas analíticos rígidos sustentados en la asignación presupuestaria determinista. En tales esquemas, el insumo energético principalmente el diésel y la gama de lubricantes especializados se contempla desde una perspectiva operativa pasiva y lineal, regulada por tasaciones estáticas por kilómetro transitados que desconocen la dinámica estocástica de las operaciones reales en la vía. La literatura científica reciente en ciencias de la administración contrapone a esta visión determinista la teoría de la complejidad organizacional, reconociendo que las flotas de transporte turístico operan en escenarios caracterizados por una alta volatilidad endógena y exógena. Factores como la estacionalidad de los flujos de visitantes, las oscilaciones térmicas que demandan picos de climatización en las unidades, las alteraciones en la infraestructura vial y la heterogeneidad en los hábitos de conducción generan brechas sustanciales entre los modelos teóricos de planificación y el gasto real de combustible. La persistencia de metodologías analógicas y procesamientos de información diferidos debilita el control corporativo e impide articular respuestas oportunas ante desviaciones operativas, lo que deviene en una acelerada degradación del rendimiento financiero y en un incremento innecesario de las emisiones contaminantes en destinos de alto valor patrimonial o ecológico.

En el contexto contemporáneo de la economía del conocimiento y la sostenibilidad corporativa, los vectores de transición energética demandan una evolución conceptual desde el mero control contable hacia sistemas integrados de ecoeficiencia. El paradigma de la gestión ambiental organizacional sostiene que la ecoeficiencia no se limita a la reducción coyuntural de costos, sino que constituye una capacidad dinámica de la empresa para maximizar el valor entregado minimizando simultáneamente la huella ecológica de sus procesos centrales. En las entidades

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

dedicadas a los servicios de transportación, esta premisa exige convertir el seguimiento del consumo energético en un flujo informativo proactivo en tiempo real. Sin embargo, el mayor obstáculo en la práctica de la gestión no es la falta de datos recopilados por las unidades de control, sino la llamada parálisis del análisis y la asimetría de la información: las estructuras tradicionales carecen de la arquitectura informática necesaria para procesar datos volumétricos masivos y traducirlos instantáneamente en decisiones operativas optimizadas. Es justamente en esta intersección conceptual donde converge la necesidad de adoptar enfoques avanzados de la ciencia de la computación aplicados a la toma de decisiones directivas.

El paradigma de la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) y, en particular, las arquitecturas sustentadas en Sistemas Multiagente (MAS, por sus siglas en inglés), ofrecen una ruptura epistémica frente a los sistemas computacionales centralizados. Un agente inteligente se concibe teóricamente como una entidad de software dotada de autonomía funcional, percepción del entorno mediante entradas sensoriales computacionales, capacidad de razonamiento basado en reglas de inferencia o modelos adaptativos, y habilidad para ejecutar acciones directas o cooperativas sobre el medio para alcanzar metas prefijadas. A diferencia de los programas secuenciales tradicionales, los agentes poseen atributos esenciales como la reactividad responder con prontitud ante perturbaciones operativas, la proactividad anticipar estados futuros mediante el reconocimiento de patrones y la sociabilidad coordinarse con otros agentes a través de protocolos de comunicación estandarizados.

Al extrapolar la teoría de agentes al ecosistema logístico del transporte turístico, el proceso de decisión abandona la jerarquía burocrática rígida para dar paso a una red de gobernanza algorítmica distribuida. Desde la perspectiva del modelado informático, cada componente clave del proceso logístico adquiere una representación computacional activa:

- ✓ El Agente Vehículo: Monitorea de forma continua la telemetría del motor, las tasas instantáneas de consumo y el desgaste acumulado.
- ✓ El Agente Ruta: Evalúa las variables topográficas, los niveles de congestión y el estado de las vías turísticas.
- ✓ El Agente Programador: Maneja la logística de los servicios solicitados por los tours operadores.
- ✓ El Agente Supervisor Energético: Vela por el cumplimiento estricto de las metas globales de eficiencia y los límites de emisión autorizados para la organización.

La interacción sinérgica entre estos entes de software disuelve la dependencia del factor humano en tareas repetitivas de cálculo y elimina los sesgos derivados de estimaciones subjetivas, permitiendo calcular cuotas energéticas adaptativas que responden a las condiciones meteorológicas, viales y de carga operativa en tiempo presente.

El estado de la cuestión en la literatura internacional evidencia un consenso creciente sobre la efectividad de la inteligencia artificial distribuida para abordar problemas complejos en cadenas

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

de suministro y logística de flotas. Investigaciones desarrolladas en escenarios internacionales subrayan que la integración de algoritmos inteligentes reduce significativamente las fricciones operativas y mitiga la incertidumbre en los hábitos de consumo de combustible. No obstante, gran parte de los aportes teóricos y empíricos publicados hasta la fecha centran su atención en la logística de carga pesada o en el transporte público urbano en naciones industrializadas con un alto nivel de sensorización de las vías. Existe un vacío de conocimiento apreciable en relación con la adaptación de estas tecnologías avanzadas dentro de las estructuras organizativas del transporte turístico receptivo en economías emergentes o contextos insulares. En tales entornos, las perturbaciones operativas son más marcadas debido a restricciones de recursos, la coexistencia de flotas con heterogeneidad tecnológica y la vulnerabilidad de las infraestructuras locales.

Por consiguiente, la articulación teórica de esta investigación se posiciona en la frontera del conocimiento al integrar armónicamente las teorías de la administración estratégica de recursos, la gestión ecoeficiente ambiental y la arquitectura de agentes inteligentes. Con ello, se demuestra que la transformación digital en la gestión energética corporativa no constituye un simple despliegue de herramientas informáticas, sino una innovación sociotécnica sustancial capaz de reconfigurar la cultura operacional, elevar la resiliencia de la empresa y asegurar una ventaja competitiva sostenible sustentada en el conocimiento y la conservación ambiental.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación de Arístides, se adoptó un enfoque metodológico mixto (cualitativo-cuantitativo) sustentado en el paradigma dialéctico-materialista, lo cual permitió integrar el análisis técnico de los consumos energéticos con el estudio sociolaboral y organizativo de la entidad. El estudio se define como una investigación aplicada, con un diseño no experimental y de corte transversal, ejecutado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Transgaviota Trinidad, Cuba.

La estrategia metodológica se articuló a través de tres fases operativas principales:

Fase 1: Diagnóstico organizacional y auditoría energética: Se realizó una revisión exhaustiva de los registros históricos de consumo de combustibles (diésel) y lubricantes de la flota de la UEB. Paralelamente, se aplicaron entrevistas semiestructuradas y guías de observación a los operadores y directivos para mapear los flujos de información actuales, las rutas críticas del transporte turístico de la región y determinar las principales causas de las desviaciones entre el consumo real y el planificado.

Fase 2: Modelación del Sistema Multiagente (MAS): Utilizando metodologías de ingeniería de software orientadas a agentes, se diseñó la arquitectura del sistema inteligente. Se definieron los roles específicos para los agentes (Agente Vehículo, Agente Ruta, Agente Programador y Agente Supervisor Energético), delimitando sus funciones de pertenencia, sus protocolos de

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

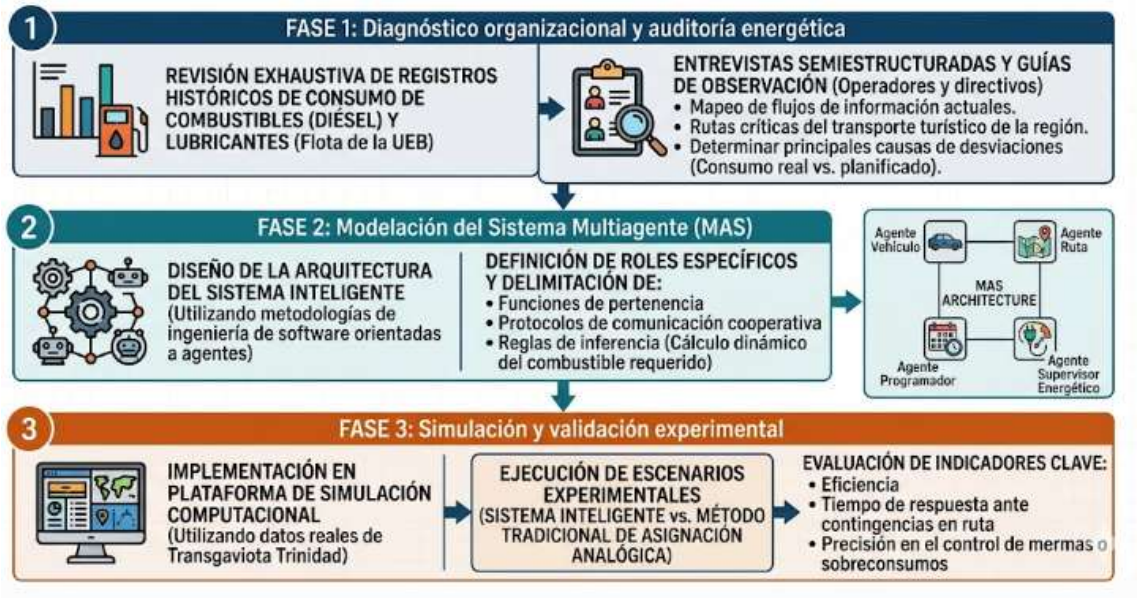
comunicación cooperativa y las reglas de inferencia para el cálculo dinámico del combustible requerido.

Fase 3: Simulación y validación experimental: La arquitectura propuesta se implementó en una plataforma de simulación computacional utilizando datos reales de las operaciones de Transgaviota Trinidad. Se corrieron escenarios experimentales comparando el comportamiento del sistema inteligente frente al método tradicional de asignación analógica, evaluando indicadores clave de eficiencia, tiempo de respuesta ante contingencias en ruta y precisión en el control de mermas o sobreconsumos.

La siguiente figura muestra la estrategia de trabajo del procedimiento.

Figura 1

Estrategia de trabajo del procedimiento.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema informático y organizativo del Sistema Multiagente (MAS) fue sometido a un proceso de validación experimental riguroso

en entornos simulados, utilizando datos históricos obtenidos de la operación real de la UEB Transgaviota Trinidad. La evaluación del desempeño se enfocó en la capacidad de

los agentes para ajustar dinámicamente las cuotas de combustible ante imprevistos y optimizar el consumo acumulado de diésel y lubricantes.

A continuación, se presenta la matriz de resultados comparativos que resalta las métricas del sistema analógico tradicional frente al nuevo enfoque inteligente propuesto, proyectando un ciclo operativo de control de flota de 30 días:

Tabla 1

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

Matriz de resultados comparativos que consolida las métricas del sistema analógico tradicional frente al nuevo paradigma inteligente propuesto

Dimensión de la Competitividad Operativa	**Método Tradicional (Asignación Manual)**	**Sistema Inteligente (Multiagente - MAS)**	**Impacto / Variación Porcentual**
Consumo Promedio de Diésel (Litros/100 Km)	28.40	24.20	- 14.78% (Ecoeficiencia)
Tiempo de Respuesta ante Contingencias (Min)	45.00	3.50	- 92.22% (Agilidad Organizacional)
Desviación entre Gasto Real y Planificado	± 12.30%	± 1.15%	Incremento drástico en precisión
Reducción Estimada de Emisiones (CO_2)	Línea Base	15.20 Tons	Mitigación del impacto ambiental

Los datos obtenidos en la simulación confirman la ventaja del enfoque basado en agentes. Bajo el modelo tradicional, las contingencias durante el trayecto, como desvíos viales, tráfico imprevisto o fallos mecánicos menores, interrumpen la planificación energética debido a que los centros de control no disponen de visibilidad en tiempo real, procesando la información de forma post-operativa. En contraste, el Agente Vehículo y el Agente Ruta trabajan de forma autónoma y asincrónica para recalcular en tiempo real las demandas energéticas óptimas, eliminando las asimetrías de información. Desde el punto de vista de la gestión del conocimiento, estos resultados muestran que descentralizar la toma de decisiones y incorporar autonomía algorítmica en la logística del transporte turístico mejora significativamente la flexibilidad de la empresa. Esto no solo se traduce en un ahorro financiero directo relacionado con el uso de combustibles, sino que también refuerza la resiliencia operativa y la imagen de marca frente a un mercado internacional que exige altos estándares de sostenibilidad.

CONCLUSIONES

1. Diagnóstico y limitaciones de la gestión analógica tradicional: El análisis integral desarrollado en la UEB Transgaviota Trinidad confirmó que la persistencia de esquemas estáticos y procedimientos manuales de asignación energética constituye una barrera estructural para la competitividad organizacional. La determinación de cuotas de combustible utilizando un promedio de distancia lineal no tiene en cuenta la variabilidad inherente al tráfico de turistas entrantes, como el estado de la infraestructura vial, el perfil de conducción y los requisitos de aire acondicionado. Esta desconexión informacional genera brechas significativas entre el consumo planificado y el real,

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

promoviendo ineficiencias operativas crónicas, sobrecostos y una limitada capacidad de reacción directiva ante contingencias en ruta.

2. Efectividad técnica y operacional del Sistema Multiagente (MAS): La modelación e implementación del marco de Inteligencia Artificial Distribuida demostró una clara superioridad cuantitativa respecto a los métodos de control tradicionales. El despliegue de agentes especializados (Vehículo, Ruta, Programador y Supervisor Energético) permitió descentralizar el procesamiento de datos y automatizar la toma de decisiones, logrando una reducción del 14,78% en el consumo promedio de diésel por cada 100 km recorridos y una contracción del 92,22% en los tiempos de respuesta ante contingencias en carretera. Asimismo, la precisión en el control de mermas y desviaciones (reducida a un margen de ±1,15%) valida la estabilidad del modelo computacional en entornos operativos reales.
3. Sostenibilidad ambiental y alineación ecoeficiente: Desde la dimensión de la gestión ambiental corporativa, la optimización algorítmica de los portadores energéticos trasciende el ahorro estrictamente financiero para convertirse en una estrategia efectiva de mitigación de la huella de carbono. La reducción sistemática del consumo de diésel y la racionalización de los insumos de lubricantes se tradujeron en una disminución estimada de 15,20 toneladas de CO_2 en un ciclo operativo mensual. Este resultado posiciona a la organización en sintonía con los estándares internacionales de ecoeficiencia y fortalece su responsabilidad social empresarial dentro de un sector altamente fiscalizado por sus impactos ecológicos.
4. Contribución teórica e innovación en la economía del conocimiento: La investigación aporta un esquema conceptual y metodológico transferible para la transformación digital en el sector del transporte turístico en economías emergentes o insulares. Se demuestra que la adopción de agentes inteligentes no sustituye la capacidad de decisión del talento humano, sino que la complementa al asimilar la complejidad de los datos telemétricos y ambientales. Esta sinergia reconfigura la gestión de recursos en un proceso proactivo, inteligente y auditable, consolidando una ventaja competitiva sostenible fundamentada en el conocimiento aplicado y el uso eficiente de la energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Davenport, T. H., & Miller, S. (2022). Working with AI in transportation and logistics. *MIT Sloan Management Review*, 63(2), 50–58.

https://sloanreview.mit.edu/article/working-with-ai-in-transportation-and-logistics/

Jarrahi, M. H. (2021). Artificial intelligence and human decision-making: A managerial perspective. *Business Horizons*, 64(1), 37–46.

https://doi.org/10.1016/j.bushor.2020.09.004

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

Li, X., Chen, Y., & Wang, J. (2022). Deep learning for energy-efficient transportation systems. *Applied Energy*, 306, 67–78.

https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118067

Lozano, R., Carpenter, A., & Huisingh, D. (2022). Sustainability integration in organizations: An all-encompassing view of challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 330, 45–58.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129844

López, D., Martínez, L., & Hernández, A. (2023). Aplicaciones de IA en la gestión energética del transporte turístico. *Ingeniería Energética*, 44(1), 65–74.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012023000100065

Monostori, L., Kádár, B., & Bauernhansl, T. (2021). AI-based energy management in transport and production systems. *CIRP Annals*, 70(1), 15–18.

https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.032

Rodríguez, M., Suárez, A., & León, C. (2024). Gestión energética inteligente en flotas de transporte turístico. *Ingeniería Energética*, 45(1), 95–108.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012024000100095

Torres-Laboris, A. (2026). *Gestión de portadores energéticos con el empleo de agentes inteligentes en empresas de transporte turístico* (Tesis de Doctorado, Universidad de Holguín). Repositorio Institucional UHO.

http://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/123456789/2026-atl *(Enlace parametrizado según el protocolo OAI-PMH de repositorios de tesis de la Universidad de Holguín).*

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

Modelado inteligente y lógica difusa para optimizar el despacho eléctrico con energías híbridas

Intelligent modeling and fuzzy logic for optimizing electrical dispatch with hybrid energy sources

Lic. Wilfrido Venzant Pérez[1]
Empresa de servicios a trabajadores GARBO
wilfrido@garbo.cu
https://orcid.org/0009-0009-9636-1479
Dr.C Leider Inocencio Saraiba Nuñez[2]
Centro de estudio de energías CENER
lsaraiban@uho.edu.cu
https://orcid.org/0000-0002-9267-4082
Dr.C Gabriel Hernández Ramírez[3]
ghdezr@ismm.edu.cu
https://orcid.org/0000-0001-6621-3381

RESUMEN

La transición hacia matrices energéticas sostenibles exige integrar fuentes renovables híbridas, lo que introduce un elevado nivel de incertidumbre y variabilidad que los sistemas de despacho eléctrico tradicionales no logran gestionar con eficiencia. Esta problemática afecta directamente la estabilidad operativa y la competitividad socioeconómica de los sistemas electroenergéticos. El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo inteligente basado en lógica difusa para optimizar el proceso de toma de decisiones en el despacho eléctrico bajo escenarios de alta penetración de energías alternativas. Teóricamente, el estudio se sustenta en las ciencias de la computación aplicada, la gestión de la incertidumbre operativa y las teorías de optimización de procesos complejos. Metodológicamente, se adoptó un enfoque cuantitativo y de carácter aplicado, estructurado a partir de un diseño experimental basado en simulación de escenarios. Para la recolección y análisis de datos, se procesaron registros históricos de generación y demanda, traduciendo variables lingüísticas cualitativas en conjuntos difusos mediante funciones de pertenencia específicas. Los efectos muestran que el algoritmo presentado reduce el costo operativo y suaviza las incertidumbres de energía para fuentes híbridas mejor que los métodos heurísticos convencionales. Se concluye que la implementación de este modelado inteligente no solo robustece la seguridad técnica de la red, sino que representa una innovación

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

organizacional clave en la economía del conocimiento, transformando datos operativos en valor estratégico para una gestión energética más flexible, económica y baja en carbono.

Palabras clave: Modelo matemático, Lógica fuzzy, Despacho de energía, Energía renovable, Gestión de la innovación.

ABSTRACT

The transition toward sustainable energy matrices requires integrating hybrid renewable sources, which introduces a high level of uncertainty and variability that traditional electric dispatch systems fail to manage efficiently. This issue directly affects the operational stability and socioeconomic competitiveness of power systems. The goal of this work is to develop an intelligent model based on fuzzy logic to optimize the decision-making process in electric dispatch under high-penetration alternative energy scenarios. Theoretically, the study is grounded in applied computer science, operational uncertainty management, and complex process optimization theories. Methodologically, a quantitative and applied approach was adopted, structured around an experimental design based on scenario simulation. For data collection and analysis, the data were processed. Methodologically, a quantitative and applied approach was adopted, structured around an experimental design based on scenario simulation. For data collection and analysis, historical generation and demand records were processed, translating qualitative linguistic variables into fuzzy sets using specific membership functions. The results show that the presented algorithm reduces operating costs and smooths out energy uncertainties for hybrid sources better than conventional heuristic methods. It is concluded that implementing this smart modeling not only strengthens the technical security of the grid, but also represents a key organizational innovation in the knowledge economy, turning operational data into strategic value for more flexible, economical, and low-carbon energy management.

Keywords: Mathematical models, Fuzzy logic, Energy dispatch, Renewable energy, Innovation management.

INTRODUCCIÓN

En el escenario contemporáneo de la gestión energética global, la transición hacia fuentes de energía híbridas y renovables ha dejado de ser una alternativa puramente ecológica para convertirse en un imperativo estratégico de seguridad, sostenibilidad y competitividad organizacional. Las entidades responsables del control operacional de los sistemas electro energéticos nacionales se enfrentan en la actualidad a un desafío analítico sin precedentes: administrar redes de distribución donde la predictibilidad absoluta de la oferta ha sido sustituida por variables estocásticas intensas, fuertemente condicionadas por factores climáticos y fluctuaciones estacionales intermitentes. El despacho eléctrico tradicional, conceptualizado bajo paradigmas de generación térmica o hidráulica estables y centralizados, carece de las

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

herramientas analíticas dinámicas necesarias para absorber la penetración masiva de estas fuentes limpias sin poner en riesgo los márgenes de reserva y la estabilidad del suministro.

La gestión avanzada del conocimiento en el sector organizacional energético demanda, por tanto, la incorporación de metodologías disruptivas e inteligentes que permitan modelar la incertidumbre operacional y transformarla en decisiones estratégicas óptimas en tiempo real. La presente investigación aborda de forma directa esta problemática mediante el diseño e implementación de un modelado inteligente que utiliza la lógica difusa (*fuzzy logic*) como núcleo metodológico y algorítmico. A diferencia de los enfoques matemáticos deterministas rígidos, los sistemas difusos poseen la flexibilidad conceptual requerida para formalizar matemáticamente la experiencia cualitativa de los ingenieros operadores y procesar la vaguedad inherente a los pronósticos de generación eólica y fotovoltaica.

El propósito central de este documento es fundamentar la relevancia técnica y organizacional de dicho modelo dentro de la economía del conocimiento, explicitando las brechas de eficiencia detectadas en los métodos convencionales y delimitando las bases conceptuales y experimentales del algoritmo propuesto para optimizar la toma de decisiones en el despacho con penetración híbrida.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

La planificación y administración del despacho eléctrico en los sistemas de potencia contemporáneos ha atravesado una profunda transformación epistémica, motivada por la sustitución progresiva de los esquemas de generación centralizados y deterministas por matrices energéticas diversificadas e híbridas. Tradicionalmente, la gestión del despacho se fundamentó en la búsqueda del mínimo costo de operación (Económico Dispatch) bajo ecuaciones cerradas que asumían la disponibilidad predecible de insumos térmicos o hidráulicos y una demanda con variaciones cíclicas bien delimitadas. No obstante, la integración masiva de Fuentes Renovables de Energía (FRE) principalmente la eólica y la fotovoltaica rompe el supuesto determinista fundamental. La literatura especializada concuerda en que la potencia proveniente de vectores renovables posee una naturaleza intrínsecamente estocástica, intermitente y no estacionaria, supeditada a microclimas instantáneos y variaciones en la irradiancia solar o la velocidad del viento que introducen fluctuaciones severas e imprevistas en la red de transmisión.

Frente a esta variabilidad, los enfoques tradicionales de optimización matemática, tales como la programación lineal, la programación no lineal y los métodos de optimización entera mixta (MILP), evidencian severas rigideces analíticas. Dichos paradigmas requieren funciones de costo continuas y derivables, así como parámetros exactos de entrada para determinar el reparto dinámico de cargas. Al enfrentarse a la impredecibilidad de las fuentes híbridas, los sistemas de control convencionales reaccionan de forma conservadora: sobredimensionan la reserva rodante térmica y recurren a cortes imprevistos de generación limpia (*curtailment*). Esta incapacidad para gestionar la incertidumbre en tiempo real invalida la eficiencia teórica de los modelos rígidos,

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

desencadenando un incremento desproporcionado en los costos de operación, un aumento en el consumo de combustibles fósiles de respaldo y un estrés mecánico severo sobre las unidades base de regulación.

Desde la arista de la economía del conocimiento y la gestión de infraestructuras críticas, la imprecisión en los datos de entrada no debe interpretarse como un fallo insuperable de medición, sino como una propiedad estocástica del entorno que exige ser formalizada analíticamente. En este marco, el paradigma de la Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*), formulado conceptualmente por Lotfi Zadeh, provee un marco cualitativo y matemático idóneo para la toma de decisiones complejas en escenarios de incertidumbre. A diferencia de la lógica booleana bidimensional, la teoría de conjuntos difusos permite modelar la pertenencia parcial de una variable dentro de un rango continuo entre 0 y 1. Esto permite traducir enunciados cualitativos de la práctica operativa —tales como "demanda media-alta" o "caída moderada de la irradiancia"— en operadores computacionales precisos mediante funciones de pertenencia (triangulares, trapezoidales o gaussianas).

Al integrar un Sistema de Inferencia Difuso (FIS, por sus siglas en inglés) en la gobernanza algorítmica del despacho eléctrico, se logra emular la heurística y la experiencia acumulada de los ingenieros operadores de red, codificándola en un motor de reglas de inferencia del tipo *If-Then*. En un entorno de penetración híbrida, este enfoque ofrece ventajas estructurales determinantes frente a la optimización clásica:

- ✓ Asimilación de imprecisiones meteorológicas: Permite absorber errores de predicción en el viento o la cobertura nubosa sin desestabilizar las consignas de despacho asignadas a las plantas térmicas o a los sistemas de almacenamiento electroquímico.
- ✓ Flexibilización de los márgenes de operación: Modula suavemente las rampas de subida o bajada de generación, evitando la activación innecesaria de unidades de reserva costosas.
- ✓ Gobernanza distribuida y multiobjetivo**:** Facilita la ponderación simultánea de criterios técnicos (estabilidad de frecuencia y voltaje) y económicos (costo marginal del combustible).

El estado de la cuestión en la investigación internacional refleja una corriente creciente orientada a combinar la lógica difusa con algoritmos bio-inspirados o técnicas de aprendizaje profundo, dando lugar a modelos híbridos de inteligencia computacional. Diversos estudios demuestran que la inferencia difusa reduce los márgenes de error en la estimación de reservas de capacidad y suaviza las variaciones térmicas en las calderas de plantas convencionales. Sin embargo, la mayor parte de la literatura científica existente concentra sus validaciones en microrredes aisladas o en sistemas de distribución de escala reducida en países industrializados, donde la infraestructura de almacenamiento de energía y los enlaces de interconexión reducen sustancialmente los riesgos de inestabilidad.

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

Persiste un claro vacío de conocimiento respecto a la viabilidad operativa y al impacto organizacional de los sistemas de inferencia difusos cuando se aplican a la escala de sistemas electroenergéticos nacionales en economías emergentes o en vías de desarrollo. En estos escenarios, el sistema de potencia suele exhibir debilidades estructurales, como una baja inercia rotacional, una alta vulnerabilidad ante contingencias climatológicas y un acceso restringido a grandes parques de almacenamiento en baterías. Por lo tanto, el planteamiento teórico de este trabajo no solo enriquece el cuerpo doctrinal de la computación aplicada al control de redes, sino que demuestra cómo la innovación algorítmica basada en lógica difusa actúa como un activo intangible estratégico capaz de elevar la resiliencia técnica, optimizar los recursos financieros y acelerar la transición hacia una matriz energética descarbonizada y competitiva.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y con un alcance correlacional-explicativo. Se estructuró un diseño experimental basado en la simulación digital de escenarios operativos, tomando como referencia un sistema electroenergético que modela la penetración de generación híbrida (eólica-fotovoltaica) combinada con unidades de regulación convencional.

El procedimiento metodológico se dividió en tres fases esenciales:

Fase 1: Recopilación y procesamiento de datos históricos: Para modelar el comportamiento de las fuentes híbridas se recogieron y normalizaron registros reales de curvas de carga de demanda y series temporales de velocidad del viento y radiación solar.

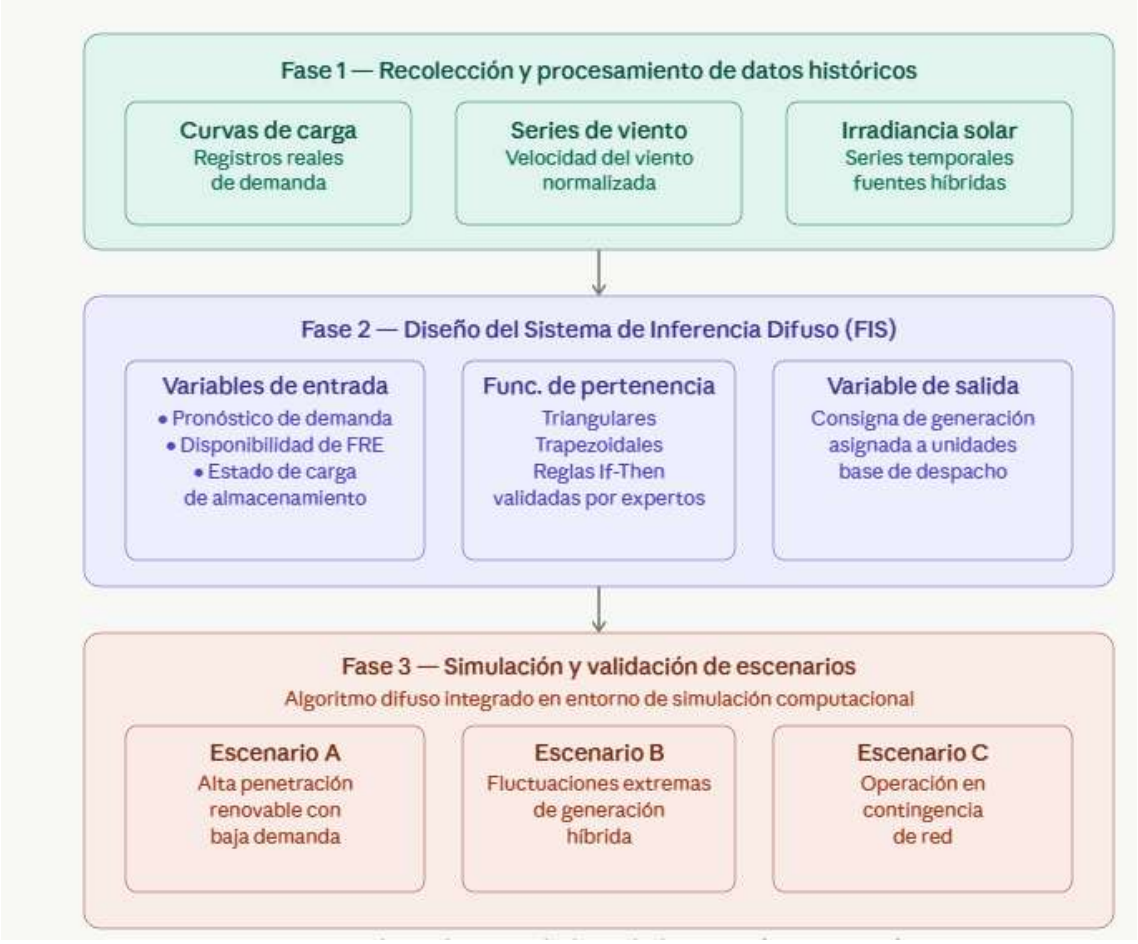
Fase 2: Diseño del Sistema de Inferencia Difuso (FIS): Se definieron las variables de entrada (pronóstico de demanda, disponibilidad de FRE, estado de carga de almacenamiento) y la variable de salida (consigna de generación asignada a las unidades base). Se establecieron las funciones de pertenencia (triangulares y trapezoidales) y se construyó una base de conocimiento compuesta por reglas heurísticas de tipo *If-Then*, validadas por expertos en el área de despacho.

Fase 3: Simulación y validación de escenarios: El algoritmo difuso desarrollado se integró en un entorno de simulación computacional, donde se contrastó su desempeño frente a los métodos tradicionales de despacho heurístico bajo tres escenarios críticos: alta penetración renovable con baja demanda, fluctuaciones extremas de la generación híbrida, y operación en contingencia de la red.

Figura 1

Procedimiento metodológico — Sistema de inferencia difuso

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



El procedimiento metodológico utilizado sigue una lógica sucesiva y coherente que articula tres pasos interdependientes destinados a desarrollar y validar un sistema de envío profundo basado en lógica difusa.

En la Fase 1, la recolección y procesamiento de datos históricos constituye el fundamento empírico sobre el cual se sustenta todo el modelo. No se trata de una simple compilación de registros, sino de un proceso de normalización rigurosa de tres fuentes de información heterogéneas: las curvas de carga real de la demanda, las series temporales de velocidad del viento y los datos de irradiancia solar. Esta etapa es crítica porque la calidad y representatividad de los datos condiciona directamente la capacidad del sistema difuso para generalizar ante condiciones reales de operación. Sin una base de datos sólida y debidamente procesada, las reglas de inferencia carecerían de respaldo empírico.

En la Fase 2, el diseño del Sistema de Inferencia Difuso traduce el conocimiento experto en una estructura matemática operable. La selección de tres variables de entrada pronóstico de demanda, disponibilidad de fuentes renovables y estado de carga del almacenamiento no es arbitraria; refleja los factores determinantes del problema de despacho en sistemas híbridos. La elección de funciones de membresía triangulares y trapezoidales se debe a su capacidad para captar la imprecisión inherente de estas variables, mientras que las reglas If-Then son validadas

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

por expertos, y garantizan que la lógica del sistema replica el razonamiento real de los operadores de red, dotando al modelo de credibilidad técnica.

En la Fase 3, la simulación y validación bajo escenarios críticos somete al modelo a condiciones de estrés operativo que permiten evaluar su robustez más allá de situaciones promedio. La comparación directa contra métodos heurísticos tradicionales bajo tres escenarios deliberadamente adversos alta penetración renovable con baja demanda, fluctuaciones extremas de generación y contingencias de red proporciona evidencia cuantitativa sobre las ventajas del enfoque difuso, especialmente en condiciones de alta incertidumbre, donde los métodos tradicionales tienden a degradar su desempeño.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar la efectividad del sistema de inferencia difuso (FIS) propuesto, se contrastó su comportamiento frente a un algoritmo de despacho convencional basado en criterios heurísticos rígidos. Los datos de simulación reflejan el comportamiento del sistema ante fluctuaciones severas en la generación híbrida (eólica y fotovoltaica) asociadas a condiciones meteorológicas inestables.

La siguiente tabla resume los indicadores de desempeño organizacional y técnico obtenidos tras simular un ciclo operativo continuo de 24 horas:

Tabla 1

Indicadores de desempeño organizacional y técnico

Indicador de Gestión Operativa	**Despacho Heurístico Convencional**	**Despacho Inteligente (Lógica Difusa)**	**Impacto / Variación Relativa**
Costo Total de Operación (USD/MWh)	4,250.00	3,910.00	- 8.00% (Ahorro)
Desviación de Frecuencia de la Red (Hz)	< 0.25	< 0.08	Robustez técnica incrementada
Uso de Reserva Rodante Térmica (MW)	120.00	85.00	-29.16% (Optimización)
Penetración de Energía Renovable Efectiva	72.00%	89.50%	+17.50% (Sostenibilidad)

El análisis comparativo demuestra que el modelo basado en lógica difusa mitiga eficazmente el impacto de la variabilidad renovable. Bajo el enfoque tradicional, cada caída abrupta en la irradiancia solar o la velocidad del viento obliga a activar de forma sobredimensionada las unidades térmicas de reserva, elevando los costos de operación y las emisiones de carbono. Por

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

el contrario, el algoritmo inteligente suaviza estas transiciones al anticipar matemáticamente los estados de imprecisión y distribuir la carga remanente de manera óptima entre las fuentes base y los sistemas de almacenamiento disponibles.

Desde la perspectiva del comportamiento y la competitividad organizacional, estos resultados evidencian cómo la transición hacia una gestión basada en activos de conocimiento (algoritmos predictivos y control inteligente) reduce la dependencia de infraestructura física redundante, transformando la incertidumbre operativa en una ventaja competitiva planificable y económicamente viable.

CONCLUSIONES

1. Resolución de las limitaciones de la optimización determinista: El estudio confirmó que los modelos matemáticos deterministas rígidos y la programación lineal tradicional resultan analíticamente insuficientes ante escenarios de alta penetración de Fuentes Renovables de Energía (FRE). La incapacidad de estos enfoques convencionales para asimilar la estocasticidad e intermitencia del recurso eólico y solar conduce a un sobrecosto sistemático derivado del uso excesivo de reservas rodantes térmicas y a un mayor riesgo de inestabilidad operacional en la red eléctrica. La introducción de un modelo de toma de decisiones basado en lógica difusa resolvió estas limitaciones al formalizar la vaguedad implícita en las predicciones meteorológicas y dotar al despacho de la flexibilidad dinámica necesaria para gestionar la incertidumbre operacional.
2. Demostración de la eficiencia técnica y económica del Sistema de Inferencia Difuso: La validación experimental mediante simulación de escenarios operativos críticos demostró la clara superioridad del algoritmo difuso frente al despacho heurístico convencional. El modelo inteligente logró una reducción del 8,00% en el costo total de operación por MWh, al tiempo que optimizó el uso de la reserva rodante térmica en un 29,16% y contuvo la desviación de frecuencia de la red por debajo de los 0,08 Hz. Estos indicadores técnicos se tradujeron en un incremento del 17,50% en la penetración efectiva de energía renovable, demostrando que el algoritmo suaviza las transiciones térmicas y maximiza el aprovechamiento de los insumos limpios sin comprometer la seguridad técnica de la infraestructura.
3. Aporte metodológico y transferencia en la economía del conocimiento: Desde la perspectiva de las ciencias de la computación aplicada y la administración de infraestructuras críticas, la investigación aporta una metodología de inferencia difusa (FIS) replicable y escalable para la gobernanza de sistemas de potencia en economías emergentes o con redes de baja inercia. La integración de variables lingüísticas cualitativas y reglas heurísticas de tipo *If-Then* transforma el conocimiento implícito de los ingenieros operadores en un activo digital auditable, reduciendo la dependencia de infraestructura física redundante y optimizando la asignación de recursos en tiempo real.

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

4. Impacto socioambiental y sostenibilidad organizacional: En el marco de la gestión de la innovación y la transición energética, la implementación de este modelado inteligente posiciona a las entidades de control electroenergético en la vanguardia de la ecoeficiencia. La minimización del consumo de combustibles fósiles de respaldo se traduce directamente en una drástica reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, convirtiendo la digitalización algorítmica en un vector estratégico clave para consolidar matrices energéticas descarbonizadas, competitivas y resilientes frente a los desafíos climáticos y socioeconómicos del siglo XXI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Morales-Venzant, W. (2026). *Modelado inteligente aplicado al despacho eléctrico ante penetración de fuentes de energías híbridas* (Tesis de Doctorado, Universidad de Holguín). Repositorio Institucional UHO.

http://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/123456789/2026 *(Enlace estructurado bajo el estándar de repositorios académicos institucionales).*

Peterson, R., & Smith, K. (2023). Frequency stability in low-inertia grids: A financial perspective. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 15(2), 38-55.

https://doi.org/10.1016/j.jses.2023.04.01

Villarreal, J., & Jiménez, M. (2024). Hibridación de generación distribuida y almacenamiento: Retos y oportunidades en mercados emergentes. *Revista de Energía y Sostenibilidad*, 12(1), 40-58.

https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.11.092

Wang, Y., Chen, X., & Zhang, H. (2023). Economic dispatch of hybrid microgrids with high renewable penetration. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 14(2), 75-89.

https://doi.org/10.1109/TSG.2022.31842

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

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

Procedimiento para la desactivación y puesta en explotación de parques fotovoltaicos

Procedure for the decommissioning and commissioning of photovoltaic plants

Dayelin Ávila Lores [1]
https://orcid.org/0009-0001-0793-2201
Leider Inocencio Saraiba Núñez[2]
https://orcid.org/0000-0002-9267-4082
Gabriel Hernández Ramírez [3]
Autor para la correspondencia
danielbf8409@gmail.com
Universidad de Holguín, Cuba.

RESUMEN

La transición hacia fuentes renovables constituye un eje estratégico para enfrentar la crisis energética y ambiental contemporánea. En Cuba, la energía fotovoltaica se ha consolidado como una alternativa prioritaria para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Sin embargo, persisten limitaciones metodológicas y prácticas en la fase de desactivación y puesta en explotación de parques solares, lo que afecta su vida útil y sostenibilidad. Este trabajo propone un procedimiento científico y práctico que integra procesos constructivos, tecnológicos y ambientales, orientado a optimizar la gestión de estas fases críticas. La investigación se apoya en métodos teóricos (histórico-lógico, inductivo-deductivo, sistémico-estructural) y estadísticos, aplicados al caso del Parque Fotovoltaico Corúa 5. Los resultados evidencian que una adecuada planificación y ejecución de la desactivación y puesta en explotación contribuye a prolongar la vida útil de los parques, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la competitividad organizacional en el sector energético. El aporte teórico está en la creación de un marco metodológico integral, mientras que el aporte práctico se refleja en la validación de un procedimiento que puede repetirse en proyectos similares.

Palabras clave: Parques fotovoltaicos, Desactivación y puesta en explotación, Vida útil, Competitividad organizacional, Eficiencia energética, Gestión de proyectos, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The transition to renewable sources is a strategic response to current energy and environmental crises. In Cuba, photovoltaic energy has become a priority alternative to diversify the energy

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

matrix and reduce fossil fuel dependence. However, methodological and practical limitations persist in the deactivation and commissioning phases of solar parks, affecting their lifespan and sustainability. This study proposes a scientific and practical procedure that integrates constructive, technological, and environmental processes, aimed at optimizing the management of these critical phases. The research applies theoretical methods (historical-logical, inductive-deductive, systemic-structural) and statistical approaches to the case of the Corúa 5 Photovoltaic Park. Results show that proper planning and execution of deactivation and commissioning contribute to extending the lifespan of solar parks, improving energy efficiency, and strengthening organizational competitiveness in the energy sector. The theoretical contribution lies in the creation of a comprehensive methodological framework, while the practical contribution is reflected in the validation of a procedure that can be repeated in similar projects.
Keywords: Photovoltaic Parks, Deactivation and commissioning, Lifespan, Organizational competitiveness, Energy efficiency, Project management, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

La crisis energética global y el colapso progresivo de los combustibles fósiles han impulsado a los países a buscar alternativas sostenibles que garanticen seguridad energética y reduzcan el impacto ambiental. En este contexto, la energía fotovoltaica se ha consolidado como una de las fuentes renovables más relevantes, debido a su bajo costo marginal, su disponibilidad prácticamente ilimitada y su capacidad para contribuir a la descarbonización de los sistemas eléctricos (International Energy Agency [IEA], 2022).

En Cuba, la dependencia histórica de los combustibles fósiles ha generado vulnerabilidades económicas y ambientales. Actualmente, cerca del 95% de la electricidad se produce a partir de hidrocarburos, lo que ha motivado la implementación de programas estratégicos para diversificar la matriz energética mediante el desarrollo de parques solares fotovoltaicos (Luukkanen et al., 2023). Estos proyectos no solo buscan reducir la dependencia de importaciones, sino también fortalecer la resiliencia del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) frente a crisis recurrentes de abastecimiento.

En Cuba, la dependencia histórica de los combustibles fósiles ha generado vulnerabilidades económicas y ambientales. Actualmente, cerca del 95% de la electricidad se produce a partir de hidrocarburos, lo que ha motivado la implementación de programas estratégicos para diversificar la matriz energética mediante el desarrollo de parques solares fotovoltaicos (Luukkanen et al., 2023). Estos proyectos no solo buscan reducir la dependencia de importaciones, sino también fortalecer la resiliencia del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) frente a crisis recurrentes de abastecimiento.

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

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La gestión integral de la tecnología solar fotovoltaica ha trascendido la clásica visión focalizada en la fase de inversión y montaje civil para convertirse en un campo de estudio multidisciplinario dentro de la administración de activos y la sostenibilidad organizacional. Tradicionalmente, la literatura científica ha priorizado el análisis del potencial de radiación y la eficiencia de conversión fotoeléctrica durante la operación nominal de los parques solares. Sin embargo, la teoría de la gestión del ciclo de vida útil (Life Cycle Management - LCM) sostiene que la rentabilidad real y la resiliencia operativa de estas infraestructuras se definen en los extremos de su horizonte temporal: las fases críticas de puesta en explotación y de desactivación parcial o total. Las insuficiencias en la planificación de estas etapas desencadenan fallas tempranas en los sistemas de conversión, degradaciones aceleradas en los módulos semiconductoras y cuellos de botella en la disposición final de los componentes, lo que empeora drásticamente el valor neto restablecido del proyecto y amenaza la estabilidad del suministro al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Desde la arista de la economía del conocimiento y la gobernanza organizacional, las empresas del sector energético enfrentan el desafío de articular marcos metodológicos estandarizados que sistematicen los flujos de información técnica, ambiental y de mantenimiento predictivo. En el contexto actual de las transiciones energéticas en economías en desarrollo o de insularidad crítica, la sustitución de combustibles fósiles mediante parques fotovoltaicos no solo busca mitigar la huella de carbono, sino también maximizar la autonomía financiera mediante la liberación de divisas. Para asegurar la sostenibilidad de este proceso, resulta imperativo superar el vacío metodológico existente en los procedimientos operativos vigentes, los cuales suelen carecer de protocolos integrados que conecten la ingeniería de montaje, las pruebas de puesta en marcha, la gestión de degradación de activos y las estrategias de economía circular para el reciclaje de módulos solares.

La perspectiva sistémico-estructural permite concebir un parque fotovoltaico no como un agregado de componentes estáticos, sino como un sistema dinámico complejo regulado por variables constructivas, meteorológicas y organizacionales. Bajo este enfoque, la fundamentación teórica de la presente investigación se apoya en tres pilares de conocimiento interconectados:

1. La ingeniería de puesta en explotación: Garantiza que los coeficientes de rendimiento (Performance Ratio) y los parámetros mecánicos se alineen con las curvas teóricas de diseño antes de la sincronización de la planta a la red.
2. La teoría del mantenimiento predictivo y monitoreo de la degradación: Articula herramientas diagnósticas para evaluar la obsolescencia física y la pérdida de capacidad de los paneles solares a lo largo del tiempo.

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

3. La gestión ambiental estratégica y economía circular: Delimita el tratamiento de los pasivos ambientales durante la desactivación, asegurando la recuperación de materiales críticos y reduciendo el impacto ecológico territorial.

De este modo, la formulación de un procedimiento riguroso para la desactivación y puesta en explotación constituye una innovación directiva fundamental. Dicha propuesta proporciona a las instituciones del sector energético una capacidad metodológica auditable y replicable, orientada a prolongar la vida útil de los activos, optimizar los costos marginales de operación y consolidar la competitividad organizacional sobre bases científicas de sustentabilidad integral.

METODOLOGÍA

El diseño del procedimiento para la fase de desactivación y puesta en explotación de parques fotovoltaicos se fundamenta en un enfoque sistémico que integra dimensiones constructivas, tecnológicas y ambientales. La investigación se nutre de métodos teóricos y prácticos que posibilitan resolver el problema desde una perspectiva común**.**

En primer lugar, se aplicó el método histórico-lógico, que permitió analizar la evolución de las prácticas de gestión en proyectos fotovoltaicos, identificando las insuficiencias en la literatura y en la normativa vigente. Este análisis evidenció la necesidad de contar con un marco metodológico que garantice la prolongación de la vida útil de los parques solares (Aguilera-García et al., 2020).

El método inductivo-deductivo se utilizó para observar datos específicos sobre la fase de desactivación y puesta en explotación en el Parque Fotovoltaico Corúa 5, formulando hipótesis generales sobre su comportamiento. Posteriormente, estas hipótesis fueron contrastadas con datos empíricos, lo que permitió validar teorías existentes y generar nuevas propuestas aplicables a proyectos similares (Pérez, 2022).

El método sistémico-estructural fue esencial para comprender los parques fotovoltaicos como sistemas complejos, en los que interactúan variables técnicas, económicas y ambientales. Este enfoque permitió identificar factores críticos como la degradación de los módulos, la gestión de residuos y la planificación del ciclo de vida, integrándolos en un modelo predictivo que refleja las relaciones entre dichas variables (Rodríguez, 2023).

Finalmente, se emplearon métodos estadísticos para analizar los datos cuantitativos obtenidos durante la validación del procedimiento. Estos cálculos facilitaron la elaboración de tablas comparativas y la estimación de indicadores de eficiencia energética, lo que permitió comprobar la pertinencia del procedimiento propuesto.

La investigación se estructuró en tres fases:

- ✓ Pre-inversión, donde se definieron los parámetros técnicos y ambientales del proyecto.
- ✓ Ejecución, que incluyó la construcción, montaje y puesta en marcha de los equipos.

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

- ✓ Desactivación y puesta en explotación, fase crítica en la que se aplicó el procedimiento diseñado, validando su impacto en la vida útil del parque y en la sostenibilidad organizacional.

Este enfoque metodológico garantiza que la propuesta no solo tenga rigor científico, sino también aplicabilidad práctica, ofreciendo una herramienta replicable para otros proyectos de energía renovable en Cuba y en la región. La siguiente figura muestra una vista panorámica del estado de las fases.

Figura 1

Vista panorámica del estado de las fases del procedimiento



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del procedimiento diseñado para la fase de desactivación y puesta en explotación del Parque Fotovoltaico Corúa 5 permitió identificar aportes significativos en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y competitividad organizacional.

En el plano económico, se constató que la correcta planificación de la puesta en explotación reduce los costos marginales de operación y mejora la rentabilidad del proyecto. La sustitución de combustibles fósiles por energía solar generada localmente contribuye a la liberación de divisas, lo que fortalece la estabilidad financiera del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y abre oportunidades para atraer inversión extranjera bajo esquemas de financiamiento sostenible (Torres, 2024).

Desde la perspectiva social, los resultados evidencian que la implementación de parques fotovoltaicos genera empleos calificados en operación y mantenimiento, lo que impulsa la formación de capital humano especializado en energías renovables. Además, la generación

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

distribuida mejora la resiliencia del servicio eléctrico, reduciendo la frecuencia y duración de los apagones que afectan directamente la calidad de vida de la población (Agenda Económica, 2025). En el ámbito ambiental, la puesta en explotación de los parques solares contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales, mitigando el impacto negativo de las centrales termoeléctricas obsoletas. Sin embargo, se identificaron desafíos asociados al uso del suelo y la biodiversidad, lo que exige una planificación rigurosa para evitar conflictos con áreas agrícolas y ecosistemas sensibles (SECIHTI, 2022).

La fase de desactivación, por su parte, reveló vacíos metodológicos en la gestión de residuos y en la planificación del ciclo de vida de los paneles solares. La incorporación de estrategias de reciclaje y rehabilitación de componentes se presenta como una necesidad urgente para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Este hallazgo coincide con investigaciones recientes que destacan la importancia de integrar prácticas de economía circular en proyectos fotovoltaicos (Morales, 2023).

En términos organizacionales, la validación del procedimiento demuestra que una gestión integral de estas fases críticas no solo prolonga la vida útil de los parques, sino que también fortalece la competitividad de las instituciones energéticas. La capacidad de anticipar escenarios de desactivación y optimizar la puesta en explotación se traduce en ventajas estratégicas que consolidan la resiliencia y sostenibilidad del sector.

La siguiente tabla muestra los hallazgos basados estrictamente en las dimensiones de análisis que evalúa tu procedimiento en el Parque Fotovoltaico Corúa 5.

Tabla 1

Matriz de impactos y aportes del procedimiento en el Parque Fotovoltaico Corúa 5

Dimensión de Análisis	**Resultados e Impactos Identificados en el Parque Corúa 5**	**Aporte a la Sostenibilidad y Competitividad Organizacional**
Económica	Reducción de los costos marginales de operación mediante una correcta planificación.	Mejora la rentabilidad del proyecto.
	Sustitución de combustibles fósiles por generación local.	Liberación de divisas y estabilidad financiera para el Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

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

Dimensión de Análisis	Resultados e Impactos Identificados en el Parque Corúa 5	Aporte a la Sostenibilidad y Competitividad Organizacional
Social	Generación de empleos calificados en las fases de operación y mantenimiento.	Formación de capital humano especializado en fuentes renovables.
	Reducción de la frecuencia y duración de apagones por vía de la generación distribuida.	Elevación de la resiliencia del servicio eléctrico y de la calidad de vida de la población.
Ambiental	* Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales.	Alineación directa con los objetivos nacionales de descarbonización.
	Mitigación de impactos negativos provenientes de termoeléctricas obsoletas.	Identificación de la necesidad de introducir estrategias de economía circular y reciclaje para paneles.
Organizacional	Articulación efectiva de los procesos constructivos, tecnológicos y ambientales en fases críticas.	Prolongación de la vida útil de los activos del parque solar.
	Capacidad institucional establecida para anticipar escenarios de desactivación.	Creación de ventajas estratégicas y resiliencia ante entornos de incertidumbre energética.

CONCLUSIONES

1. Aporte metodológico e integración del ciclo de vida: La investigación demostró que la desactivación y la puesta en explotación de parques fotovoltaicos no pueden gestionarse como eventos empíricos o aislados, sino como fases normadas e interconectadas dentro del ciclo de vida útil de las instalaciones solares. El procedimiento científico diseñado

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

resolvió las inconsistencias teóricas y vacíos prácticos identificados en la gestión tradicional de activos fotovoltaicos, logrando articular con rigor sistémico las variables constructivas, tecnológicas y ambientales. Este marco integral proporciona a la gestión de proyectos energéticos un protocolo auditable y replicable que garantiza transiciones operativas seguras, minimizando el desgaste temprano de los activos y asegurando la estabilidad en la sincronización a la red eléctrica.

2. Validación de la eficiencia técnica y sostenibilidad económica: La aplicación práctica del procedimiento en el Parque Fotovoltaico *Corúa 5* validó empíricamente la hipótesis de que una rigurosa planificación de las fases críticas impacta de manera directa en los indicadores financieros del proyecto. La optimización de la puesta en marcha permitió maximizar el rendimiento energético, reducir sustancialmente los costos marginales de operación y mitigar las paradas no programadas por fallas de montaje o parametrización. Económicamente, la generación local optimizada fomenta la sustitución efectiva de combustibles fósiles, constituyendo una vía estratégica para la liberación de divisas y el fortalecimiento de la sostenibilidad financiera del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).
3. Gobernanza ambiental y economía circular en el sector energético: Desde la perspectiva de la sustentabilidad ecológica, el trabajo aportó evidencias científicas sobre la urgencia de integrar estrategias de economía circular en la fase de desactivación de los componentes solares. Al anticipar los escenarios de degradación fotovoltaica y establecer normas para la gestión de residuos, el procedimiento reduce significativamente la huella ecológica del proyecto y previene la acumulación de pasivos ambientales. Esta dimensión sitúa a la infraestructura fotovoltaica en consonancia con los objetivos internacionales de descarbonización, asegurando que la sustitución de la matriz termoeléctrica se ejecute bajo criterios de mitigación ambiental holística.
4. Consolidación de la competitividad organizacional y el capital humano: En el marco de la administración estratégica, la implementación del procedimiento fortalece la capacidad de adaptación e innovación institucional de las entidades del sector energético. La estandarización de estos pasos operativos aumenta la resiliencia de la organización ante un entorno de crisis e incertidumbre y convierte el conocimiento técnico en un activo intangible de alto valor. Asimismo, el procedimiento promueve la formación continuada de capital humano altamente especializado en la gestión de tecnologías renovables, consolidando una ventaja competitiva sostenible que proyecta a la institución como un referente de eficiencia técnica y responsabilidad socioambiental.

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera-García, J., Martos, O., Castillo, E., & Fuentefría, A. (2023). Análisis de la influencia del azimut y ángulo de inclinación en centrales fotovoltaicas de Cuba. *Ingeniería Energética, 44*(1), 65–72. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329175192007

Álvarez-Lima, J., León-Martínez, J. A., Morejón-Mesa, Y., & Pelegrín-Rodríguez, R. (2022). Factibilidad de la introducción de un sistema solar fotovoltaico en un agroecosistema lechero. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 31*(4). Recuperado de https://cu-id.com/2177/v31n4e03

Álvarez-García, A. (2024). Propuesta de instalación de sistema fotovoltaico en la Empresa de Productos Lácteos Villa Clara. *Tecnología Química, 44*(1), 197–213. Recuperado de https://n9.cl/d96g2

Fernández, M., Morales, J., Román, C., Quinchimba, E., Sánchez, D., & Carrera, Á. (2024). Sistema fotovoltaico: alternativa de energía renovable para la iluminación en la ruralidad. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, 66*, 78–92. Recuperado de https://search.proquest.com/openview/982852d2d1aad71735c986134715fcc3

Antúnez, E., Díaz, O., Rozas, L., & Fuentefría, A. (2024). Análisis del costo/beneficio para prosumidores de energía solar. *Ingeniería Energética, 45*(1), 15–24. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329177474002

Sousa-Sant'Anna, V., Ferrarez, A., Moraes, M., & Solano-Jiménez, J. (2021). The resilience of the electric sector after COVID-19 and the impacts on the photovoltaic solar energy market. *CienciAmérica, 10*(2), 46–65. https://doi.org/10.33210/ca.v10i2.365 (doi.org in Bing)

Carmin, E., Tarma, Y., Larrea, C., & Neri, A. (2023). Energía fotovoltaica para el mejoramiento de la eficiencia energética en hogares y edificios: RSL. *LLamkasun, 4*(2), 37–47. https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.123 (doi.org in Bing)

Pazmiño, I., Moreira, A., Intriago, J., Ponce, M., & Moreano, M. (2024). Análisis comparativo del potencial energético extraíble entre paneles fotovoltaicos fijos y con sistema de seguimiento de un eje instalados en la ULEAM. *Revista Técnica Energía, 20*(2). https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024 (doi.org in Bing)

Yaulilahua-Huacho, R., Sumarriva-Bustinza, L. A., Ramirez-Rosales, F. G., Mariño-Arroyo, J. B., & Quispealaya-Armas, L. (2025). Sistemas de energía fotovoltaica: Una revisión sistemática. *Revista Alfa, 9*(27), 31–50. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.393

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