Multidisciplinas de la Ingeniería

Vol. 13, No. 22. Noviembre 2025 – Mayo 2026
https://mdi.uanl.mx/

EISSN: 2395 - 843X
Semestral

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FIME
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Rector
Dr. Santos Guzmán López
Secretario General
Dr. Mario Alberto Garza Castillo
Secretario Académico
Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario de Extensión y Cultura
Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado
Director de Editorial Universitaria
Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Dr. Arnulfo Treviño Cubero
Director de la Revista Multidisciplinas de la Ingeniería
Dr. Arturo Torres Bugdud
Editores Responsables
Dra. Martha Elia García Rebolloso
M.A. Alfredo López Vázquez
Edición web
Dr. Juan Diego Guerrero Villegas
Edición de estilo y formato
Dr. Juan Diego Guerrero Villegas

Multidisciplinas de la Ingeniería, Vol. 13, No. 22. Noviembre 2025 – Mayo 2026. Es una publicación semestral, editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Domicilio de la publicación: Av. Pedro de Alba S/N, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 64440. Teléfono: + 52 81 83294020. URL: https://mdi.uanl.mx/

Editores Responsables: Martha Elia García Rebolloso y Alfredo López Vázquez. Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2014-102111590900-203. EISSN: 2395-843X. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: en trámite. Responsable de la última actualización: Juan Diego Guerrero Villegas, Av. Pedro de Alba S/N. Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L., México. Fecha de última actualización: 01 de noviembre 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

La Revista tiene un Consejo Editorial conformado por miembros de la Universidad Autónoma de Nuevo León y un Comité Científico Internacional con representantes de diferentes partes del mundo. La Revista cuenta con un banco de árbitros(as) pares externos especialistas para el proceso de arbitraje.

El sistema de arbitraje: todos los trabajos serán sometidos al proceso de dictaminación con el sistema de revisión por pares externos, con la modalidad doble ciego.

Índice

Estrategias para lograr la excelencia educativa de nivel superior en México, frente a la creciente utilización de la inteligencia artificial.

Págs. 01 – 12

Optimización y caracterización de biocompuestos de PLA con fibras de Elaeis guineensis.

Págs. 13 – 23

Sistema de riego por goteo para palma de cocos.

Págs. 24 – 37

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar.

Págs. 38 – 52

Disipadores de calor a base de esponja de aluminio sinterizada para aplicaciones electrónicas

Págs. 53 – 60

Análisis metodológico del impacto ambiental en el rendimiento estudiantil: Ruido, iluminación y temperatura

Págs. 61 – 72

Metodología Kaizen en línea de producción para mejora de la eficiencia

Págs. 73 – 83

Desarrollo de películas biodegradables basadas en un sistema ternario almidón de yuca–alcohol polivinílico–bentonita sódica para aplicaciones en la conservación de frutas tropicales

Págs. 84– 93

Desempeño térmico y mecánico de biocompuestos de ácido poliláctico con cargas lignocelulósicas

Págs. 94– 103

Estudio exploratorio sobre la implementación de dos metodologías de desarrollo de software en un contexto escolar

Págs. 104 – 119

Análisis de recurrencia: de señales de ingeniería a la mejora continua en procesos de manufactura

Págs. 120 – 128

El cine-foro como herramienta para la reflexión crítica en la formación de ingenieros

Págs. 129 – 136

Red de colaboración en aporte de casos de éxito en una Dependencia de Educación Superior

Págs. 137 – 146

Implementación y verificación de un método selectivo para la determinación de nitrógeno amoniacal en agua destinada al consumo humano

Págs. 147 – 155

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Págs. 156 – 169

Aprendizaje activo para las ciencias básicas en los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL: una revisión de literatura

Págs. 170 – 179

Percepción y adaptación de los docentes de ingeniería ante la incorporación de TIA Portal v17 en la enseñanza universitaria

Págs. 180 – 189

Mejora en la Optimización de Inventarios y Producción: Prospectiva y Metodología 'Cobertura de Materiales' Integrando Tecnologías de la Información

Págs. 190 – 199

Estrategias para lograr la excelencia educativa de nivel superior en México, frente a la creciente utilización de la inteligencia artificial

Strategies to achieve educational excellence in higher education in Mexico amid the growing use of artificial intelligence

Rafael Casas Cárdenaz [1]
Edgar Omar Casas Villa [2]
Jesús Felipe Vázquez Barrios [3]

RESUMEN

La inteligencia artificial (IA), es una herramienta basada en un sistema informático, que realiza tareas que de manera común desarrolla la mente humana, poniendo a disposición de los usuarios, entre ellos maestros y estudiantes, gran cantidad de información y notas en pocos minutos. Lo anterior, optimiza la integración de datos con diferentes propósitos académicos de alumnos y docentes, sin embargo, si no se hace un uso responsable y ético, difícilmente aportará en la formación académica de excelencia. Por lo antes mencionado, es necesario realizar una transformación en el proceso de enseñanza aprendizaje que, si bien es esencial, se adapte a la realidad tecnológica actual del entorno, estableciendo las mejores prácticas institucionales, alineadas con la misión, visión y perfil de egreso institucional, privilegiando un enfoque educativo humanista, inclusivo y honesto comprometido con la sociedad. Por lo que antecede el presente trabajo propone las estrategias más urgentes para lograr la excelencia educativa de nivel superior.

PALABRAS CLAVES: Calidad educativa, enseñanza aprendizaje, excelencia educativa, inteligencia artificial.

Código Jel: I24, I26, 121, O33

Fecha de recepción: 10 de abril, 2025.

Fecha de aceptación: 12 de agosto, 2025.

[1] Departamento de Ciencias Económico Administrativas. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, rafael.casas@lcardenas.tecnm.mx, https://orcid.org/0000-0001-8317-6068
[2] Docente de honorarios del Departamento de Ciencias Económico-Administrativas, del Tecnológico Nacional de México, instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, eomar.cvilla@lcardenas.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0002-2538-754X
[3] Docente de honorarios del Departamento de Electrónica del Tecnológico Nacional de México, instituto tecnológico de Lázaro Cárdenas, jf.vbarrios@lcardenas.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0005-7119-2913

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is a tool based on a computer system that performs tasks typically carried out by the human mind, providing users, including teachers and students, with a large amount of information and notes in just a few minutes. This optimizes the integration of data for various academic purposes of students and teachers. However, if not used responsibly and ethically, it is unlikely to contribute to the development of academic excellence. Due to the above, it is necessary to transform the teaching-learning process, which, while essential, must adapt to the current technological reality of the environment, establishing best institutional practices aligned with the mission, vision, and graduate profile of the institution, prioritizing a humanistic, inclusive, and honest educational approach committed to society. Therefore, this paper proposes the most urgent strategies to achieve excellence in higher education.

KEYWORDS: Educational quality, teaching and learning, educational excellence, artificial intelligence

JEL Code: I24, I26, I21, O33

INTRODUCCIÓN

En los años 70 y 80, muchos de los esfuerzos en la IA se centraron en el desarrollo de una herramienta matemática llamada redes neuronales artificiales, una abstracción que pretendía imitar la forma en que el cerebro procesa la información. Sin embargo, en esas décadas, se llegó al consenso de que estas técnicas no eran útiles y carecían de un futuro claro. Esto, sumado a la falta de avance en el área, causó lo que se conoce como el invierno de la IA, evento que hizo que gran parte del financiamiento desapareciera y muchos investigadores abandonaran el campo (Palafox, 2023).

De acuerdo con lo mencionado por Ganascia (2023), la inteligencia artificial es una disciplina científica que nació oficialmente en 1956 en el Dartmouth College, en Hanover Estados Unidos, durante un curso de verano organizado por cuatro investigadores estadounidenses: John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon. Para los organizadores del evento del Dartmouth College, la IA tiene por objetivo inicialmente la simulación con máquinas de cada una de las distintas facultades de la inteligencia ya sea de la inteligencia humana, animal, vegetal, social o filogenética.

Los estudiantes de nivel superior, en el desarrollo de sus trabajos extra clase y de investigación, están utilizando la IA, lo que hace necesario establecer métodos de revisión y la aplicación de diferentes procedimientos de enseñanza, que garanticen la calidad del proceso de aprendizaje, pues se siguen empleando por lo general las mismas técnicas de estudio y evaluación, incluyendo mecanismos de titulación obsoletos que pueden ser trabajos elaborados haciendo uso de esta nueva tecnología, sin cumplir su propósito, aunado a esto, los contenidos temáticos de las carreras universitarias públicas, no se están actualizando con la misma velocidad de los cambios tecnológicos y los programas de capacitación al personal docente, está respondiendo de manera lenta a esta transformación digital, así mismo se carece de regulaciones que moderen su utilización dentro de un marco ético, orientado hacia la conformación de competencias y habilidades, así como el respeto a los derechos de autor.

CC BY NC ND

JUSTIFICACIÓN

La inteligencia artificial es un tema que viene desde la década de los cincuentas, sin embargo, en los últimos años su utilización, ha aumentado de forma significativa, transformando el entorno laboral y profesional, principalmente en actividades administrativas, ejecutando tareas rutinarias, actividades de mercadeo, en procesos productivos de la industria manufacturera, es el caso de la automotriz, también en la medicina, las comunicaciones, en dónde se ha puesto en funcionamiento el uso de asistentes virtuales, todo esto se desarrolló con más agilidad en la pandemia de COVID 19, como consecuencia del confinamiento y la implementación de nuevas herramientas de trabajo y comunicación. Por lo expuesto previamente, la educación superior, debe atender a la tarea de transformación que exige el mercado ocupacional empresarial y de servicios presente.

Con referencia a lo antes señalado es responsabilidad de las instituciones educativas, trabajar en la transformación de los procesos educativos, sin olvidar el compromiso ético y humanista, buscando cumplir la misión institucional. Para lograr lo anterior, es importante el uso responsable de la información, respetando los derechos de autor y cumpliendo el propósito de enseñanza aprendizaje. Para lograr esto, es urgente que se establezcan programas de capacitación del sector docente principalmente, encaminados a desarrollar los conocimientos y habilidades en el uso de estas nuevas tecnologías y el impacto actual que ejerce en las áreas de su perfil profesional, con esto en la impartición de clases hará uso de estas herramientas tecnológicas y aplicará las estrategias formativas de manera exitosa.

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se sustenta en fuentes científicas, literarias, electrónicas, así mismo, en documentos de instituciones educativas, relativos a los programas de estudio, que aportan información importante en este estudio, siendo determinantes en el análisis de resultados. Así mismo, se realizó la revisión en las páginas electrónicas de diferentes Universidades públicas, haciendo una inspección de las materias que ofrecen y su contenido temático, para identificar si actualmente contemplan su actualización considerando el uso de la inteligencia artificial en el proceso formativo de los estudiantes, reflejado en los recursos didácticos y las competencias genéricas a desarrollar.

En esta investigación, la variable independiente es inteligencia artificial, por tratarse del punto esencial del proyecto, que busca impactar en la variable dependiente, con la finalidad de aportar en la formación en la educación superior en México. Por lo tanto, la variable dependiente es innovación y excelencia educativa.

Objetivos de investigación

A. Objetivo general

Identificar las estrategias necesarias para lograr la excelencia educativa de nivel superior en México, frente a la utilización creciente de la inteligencia artificial por los estudiantes en el proceso académico.

Marco teórico conceptual

Con el avance de la tecnología y el aumento de la capacidad de almacenamiento de datos, la inteligencia artificial ha experimentado un gran impulso en las últimas décadas. Actualmente, se pueden encontrar aplicaciones prácticas de la inteligencia artificial en diversos campos, como la medicina, la industria automotriz, la atención al cliente y el análisis de datos. Además, han surgido

CC BY NC ND

áreas especializadas dentro de la inteligencia artificial, como el procesamiento del lenguaje natural, la visión por computadora y los sistemas de recomendación (Blanco, 2024).

1) Calidad educativa

Una organización orientada la calidad promueva una cultura que da como resultado comportamientos, actitudes, actividades y procesos para proporcionar valor mediante el cumplimiento de las necesidades y expectativas de los clientes y otras partes interesadas pertinentes (Organización Internacional de Normalización, 2015).

Calidad educativa según Cabrera (2023), se refiere, de una manera general, a la eficacia de esta. Se considera que se ha dado una calidad educativa si se llegan a alcanzar esas metas y objetivos propuestos. Y decimos de manera general, en cuanto a que tiene en cuenta numerosos parámetros, buscando una mejora constante en todos los elementos que interfieren en la enseñanza.

De acuerdo con Garzón, Jiménez & ortega (2024), son factores clave para para fortalecer la gestión escolar y mejorar la calidad educativa, la formación y desarrollo de capacidades en gestión escolar para directivos y docentes, la implementación de modelos de gestión eficaces, la promoción de la participación de la comunidad, la asignación y optimización de recursos, y el seguimiento y evaluación continua.

La calidad es un término que va más allá de los procesos, incluye actitudes y comportamientos dentro de la organización, es decir; es un estilo de vida en sus integrantes, es parte de la cultura organizacional, que busca cubrir las demandas y expectativas de los clientes. En el ámbito académico, se dirige al cumplimiento de los objetivos institucionales, reflejados en su misión y evaluados por los empleadores de los egresados.
La certificación institucional y la acreditación de las carreras son un medio para establecer una mejora continua para garantizar la calidad educativa, desde la óptica externa pues da credibilidad institucional, así como la confianza de los empleadores, egresados más competitivos y a la vez ofrecer confianza a estudiantes, padres de familia y el sector empresarial y de servicios. En el caso de la certificación individual, los órganos certificadores, exigen la actualización profesional, lo que representa conocimientos vigentes en su área de conocimiento.

2) Enseñanza aprendizaje

Según lo afirmado por Vázquez (2025), la incorporación de la inteligencia artificial (IA) en la evaluación formativa ha demostrado ser una herramienta poderosa para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes, permitiendo una retroalimentación inmediata y personalizada que contribuye a fortalecer los procesos de enseñanza aprendizaje.

El docente debe comprender las dinámicas grupales en torno al análisis y reflexión permanente de las conductas, emociones y razonamientos que siguen sus estudiantes, además de tener la habilidad de identificar los conocimientos previos y diagnosticar las características internas y externas. Con ello, tendría como insumo los elementos necesarios para diseñar prácticas de inicio de una sesión o unidad temática dentro de un salón de clase (Madueño et al., 2024).

“Los contenidos y las tecnologías no son formulaciones o construcciones asépticas y aisladas, o carentes de política e historia, sino que participan en la construcción de las relaciones sociales que conducen al aprendizaje de las y los estudiantes y en las formas de enseñanza del docente” (De Agüero et al., 2022).

Tomando en cuenta las afirmaciones de los autores consultados, la inteligencia artificial es una herramienta que produce una retroalimentación inmediata, que, si se utiliza de forma efectiva, puede fortalecer los procesos de enseñanza aprendizaje, aplicando el análisis y la reflexión. Es decir,

CC BY NC ND

cuando se combinan las tecnologías con las estrategias didácticas adecuadas, que tomen en cuenta las diferentes técnicas de estudio de los estudiantes actualmente, se logrará el objetivo de enseñanza aprendizaje.

3) Excelencia educativa

De acuerdo con lo expresado por García (2016), excelencia en el ámbito de la educación superior, en primer lugar, concibe la excelencia en la enseñanza como proceso (desarrollo académico, experiencias de aprendizaje) y no solo como un producto (rendimiento académico, empleabilidad, satisfacción). En segundo lugar, adopta una perspectiva amplia sobre lo que supone una enseñanza excelente y la sitúa más allá de los límites del aula.

"Excelencia educativa aparece cuando se busca la perfección de ese proceso enseñanza-aprendizaje. Es decir, es entendida como el constante mejoramiento de dicho proceso educativo con el principal objetivo de alcanzar el máximo logro de aprendizaje en todos y cada uno de los alumnos" (Cabrera, 23).

De acuerdo con la Ley General de educación (2024), en su artículo 11º. menciona que la escuela mexicana buscará la equidad, la excelencia y la mejora continua en la educación, para lo cual colocará al centro de la acción pública el máximo logro de aprendizaje de las niñas, niños, adolescentes y jóvenes. Tendrá como objetivos el desarrollo humano integral del educando, reorientar el sistema educativo nacional, incidir en la cultura educativa mediante la corresponsabilidad e impulsar transformaciones sociales dentro de la escuela y en la comunidad.

El proceso de enseñanza trasciende las aulas, debe garantizar la construcción de las competencias y habilidades que el egresado requiere para integrarse al entorno laboral y profesional, en una dinámica global y de constante cambio, que requiere transformaciones profundas en los procesos de producción y servicios, haciendo uso de las herramientas tecnológicas que permitan optimización de recursos y calidad integral.

La excelencia educativa se construye desde involucramiento de los progenitores del estudiante, considerando los diferentes niveles formativos, así como el trabajo docente de calidad en estos, centrado en un liderazgo con objetivos claros, desarrollando la investigación enlazada con el sector productivo y de servicios, contando con el respaldo institucional que debe proporcionar la infraestructura moderna, en un entorno de equilibrio entre sus integrantes, creando una cultura con una vocación centrada en la enseñanza.

4) Innovación

Por su parte la Secretaría de Economía (2023), menciona que un país con mayores fortalezas en el ámbito de la innovación tendrá mayor capacidad para incrementar su productividad, no sólo por el efecto directo que genera cualquier innovación, sino sobre todo porque estará mejor preparado para enfrentar las incertidumbres generadas por el actual entorno de competencia global.

"La innovación disruptiva es la aplicación de ideas novedosas que conducen a la modificación de productos, servicios y procesos, generando cambios significativos en el mercado. A diferencia de la innovación incremental, que se centra en mejorar algo ya existentes, la innovación disruptiva crea soluciones nuevas que pueden desplazar o incluso reemplazar soluciones anteriores" (MIT SMR México, 2023).

"La definición de innovación educativa contempla diversos aspectos: tecnología, didáctica pedagogía, procesos y personas. Una innovación educativa implica la implementación de un cambio significativo en el proceso de enseñanza aprendizaje. Debe incorporar un cambio en los materiales, métodos, contenidos o en los contextos implicados en la enseñanza" (Murillo, 2017).

La innovación, es una fortaleza para los países que la adoptan en sus diferentes procesos, pues ello desarrolla la competitividad. En el plano educativo, es necesario adaptarse a los cambios tecnológicos, adecuar el proceso de enseñanza aprendizaje a la realidad actual, para poder satisfacer las necesidades que demanda el entorno laboral y profesional. Lo anterior hace necesario el diseño de estrategias que contemplen formación del factor humano, académico y administrativo los planes de estudio, el proceso de enseñanza y la investigación.

5) Inteligencia artificial

La inteligencia artificial no tiene que ver con las máquinas en sí mismas, con qué forma, qué aspecto tienen o qué tecnología emplean, sino con los algoritmos que funcionan en su interior. Son algoritmos que resuelven problemas, que implementan tareas. Y las tareas más complejas que somos capaces de llevar a cabo hoy en día no tienen todavía mucho que ver con lo que entendemos como decisiones conscientes (Pérez, 2020).

“La inteligencia artificial constituye uno de los campos interdisciplinarios y transfronterizos donde convergen muchas ciencias. Los sistemas expertos o basados en el conocimiento prototipos de la inteligencia artificial, son programas que simulan cadenas de razonamiento que realiza una persona experta para resolver un problema en su dominio, como el médico que realiza un diagnóstico” (Bello, 2019).

“La definición de "inteligencia" es amplia y varía según el contexto mientras que la IA puede procesar y analizar grandes cantidades de información más rápido que un humano, carece de habilidades como la autorreflexión, la empatía y el juicio moral” (Escobar, s.f.).

Inteligencia Artificial es un concepto paraguas que abarca cualquier tecnología que permite a las computadoras imitar habilidades humanas. En este sentido, áreas como la robótica, la computación paralela, el procesamiento del lenguaje natural, el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo, forman parte de la IA. Todas estas áreas buscan, a su modo, automatizar actividades que los seres humanos las hacen de manera natural e intuitiva (Collaguazo, 2019).

La inteligencia artificial es una herramienta que transforma de manera disruptiva las actividades humanas en las diferentes áreas de conocimiento, tales como la ingeniería, medicina, contaduría y finanzas, fiscalización, actividades industriales y en consecuencia la educación, sin embargo, no tiene la capacidad de sustituir la inteligencia humana capaz de analizar, emitir criterios, identificar causa y efecto en las decisiones que se toman. Por ello es necesario potencializar su utilización en la automatización de tareas que las personas realizan de manera natural, en un entorno de pensamiento crítico y respetando las regulaciones en materia de derechos de autor.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tomando en consideración lo que menciona Clarke (2023), el futuro de la inteligencia artificial se vislumbra emocionante. Las perspectivas incluyen avances en la atención médica personalizada, sistemas de transporte más seguros y sostenibles, así como la creación de nuevas oportunidades laborales en el campo de la IA promete un mundo más eficiente, conectado y lleno de posibilidades. Sin embargo, también es fundamental abordar los desafíos éticos para garantizar que beneficie a la sociedad en su conjunto.

Como resultado de la revisión efectuada en las páginas de diferentes Universidades públicas en México, se encontró que actualmente en algunas se está ofreciendo la carrera de inteligencia artificial, tales como la Universidad Autónoma de Nuevo León, el Tecnológico Nacional de México en su campus de Apizaco Tlaxcala, el Instituto Politécnico Nacional y la Universidad Autónoma del

CC BY NC ND

estado de México, sin embargo, el reto principal, es la formación docente en estas nuevas tecnologías, para su utilización adecuada en el proceso académico y potenciar su práctica en el aula en la búsqueda de la excelencia educativa. Para ello se requiere contar con la infraestructura tecnológica necesaria y la actualización de los programas de estudio considerando estas nuevas herramientas. De lo anterior, se considera aplicar un plan que contemple las siguientes estrategias.

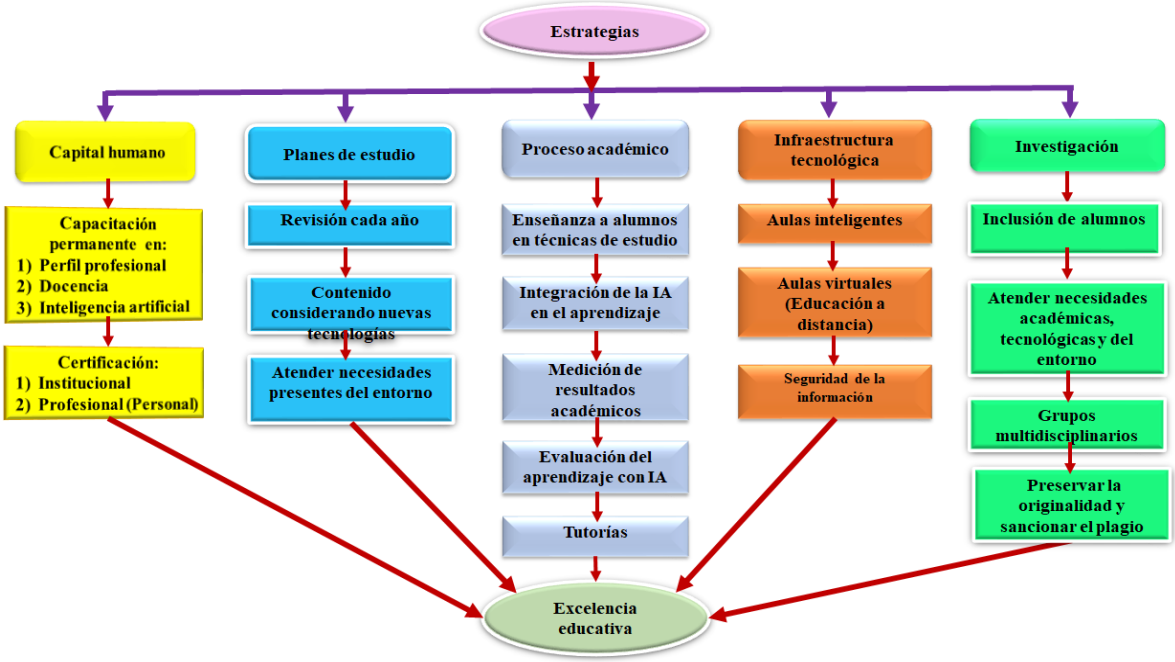


Figura 1. ***Estrategias para lograr la excelencia educativa en un entorno de la inteligencia artificial en crecimiento***

Nota: Áreas elementales que funcionan de manera articulada en la tarea formativa de nivel superior.

La inteligencia artificial es una herramienta que se está utilizando actualmente en el ámbito educativo, laboral y profesional, lo que hace necesario la actualización de los programas de estudio, los procesos de enseñanza aprendizaje, la prestación de los servicios administrativos, así como la actualización del capital humano. Por lo anterior es necesario establecer buenas prácticas y estrategias innovadoras que construyan las competencias que requiere el entorno, siendo una necesidad urgente, trabajar en los siguientes aspectos:

A. Capital Humano

Se requiere establecer programas de adiestramiento por carrera, atendiendo la detección de necesidades, por medios que midan los estándares requeridos, en su profesión, en la docencia, en el campo de la inteligencia artificial y las normas de ética. Así mismo, promover de manera más estricta la certificación institucional y la acreditación de las diferentes carreras de la oferta educativa. así como la profesional, es decir en forma individual, conforme con su perfil en su actividad académica. La capacitación interna y externa, debe reunir un determinado número de horas por año en las áreas mencionadas, así se garantizaría la actualización en su campo de conocimiento siendo continua e integral, convirtiéndose en una estrategia para lograr la excelencia educativa. La utilización de la IA debe ser para potenciar la capacidad de todos los involucrados en el proceso educativo, no se puede limitar, está claro que no sustituye la mente humana, pero debe regularse.

CC BY NC ND

El capital humano son el medio para impulsar la excelencia educativa, son quienes contribuyen en la innovación de los procesos académicos y la satisfacción del cliente, por tanto, es necesario revisar los procedimientos de selección, promoción y evaluación, con el propósito que respondan a las necesidades establecidas en los objetivos institucionales y evitar aplicación de criterios obsoletos o que no garantizan las exigencias presentes del mercado laboral nacional e internacional. Lo anterior principalmente en instituciones públicas de nivel superior, el uso de la inteligencia artificial a través de plataformas de evaluación, puede ser una opción, dando seguridad e imparcialidad en esta tarea. Así mismo operaciones de cobranza, mediante sistemas automatizados, asistentes virtuales, automatización de procesos contables y auditoría, actividades de uso de recursos tales como luz y agua, pueden a través de la IA, generar grandes ahorros.

B. Planes de estudio

Se necesita revisar de manera integral la malla curricular de preferencia cada año, pues las nuevas tecnologías impactan todas las áreas de conocimiento de manera vertiginosa, se recomienda un proceso de auscultación por mesas de trabajo, de acuerdo con los perfiles profesionales de los docentes, considerando la retroalimentación del sector productivo y de servicios, así como de organizaciones de profesionistas, para posteriormente de manera centralizada, un comité multidisciplinario reciba las propuestas y le dé seguimiento a las mismas, sin omitir el enfoque educativo actual, humanista, inclusivo ético y de compromiso con el medio ambiente. Con lo anterior analizar las materias que se deben actualizar, integrar y en su caso eliminar. Esta tarea debe considerar las necesidades del entorno nacional e internacional presentes y futuras, incluso, esta actividad abre la posibilidad de visualizar las carreras nuevas que se necesita ofrecer o cuales están en liquidación en el mercado laboral y profesional.

C. Proceso académico

El principal reto es asegurar la construcción del conocimiento, debe centrarse en la discusión, análisis, pensamiento crítico, humanismo y construcción de las competencias, buscando la participación de todos los alumnos siendo una excelente alternativa el estudio de casos. Para ello es importante contar con las fuentes bibliográficas actualizadas, principalmente electrónicas, que sirvan de cruce de la información obtenida mediante la IA, básicamente de tareas extra-clase. Así mismo, se recomienda crear un repositorio con el material de cada asignatura se propone subir por cada docente al inicio del periodo, a efecto de que los alumnos cuenten con este recurso debidamente actualizado y en tiempo. Estos trabajos, deben apegarse al sistema que la institución determine para referenciar los datos y evitar el plagio y la obtención de datos con errores. Así mismo, es importante trabajar en lo siguiente:

1) **Técnicas de estudio**. Se recomienda la elaboración de cuestionarios, resúmenes, mapas conceptuales y mentales, esquemas, exposiciones guiadas, mesas de análisis y discusión, concursos de conocimientos, estudio de casos. Así mismo, es importante celebrar acuerdos de colaboración, con otras universidades nacionales e internacionales, asociaciones profesionales, para trabajar en aulas espejo, conferencias, congresos y demás actividades colaborativas de aprendizaje. Con lo anterior, la actividad educativa será más dinámica y menos monótona.

2) **Integración de la inteligencia artificial en el aprendizaje**. Se facilitará el aprendizaje mediante asistentes virtuales, lo que será más ágil y personalizado, también obtendrá la optimización de recursos y además se adaptará a las necesidades de cada alumno, en cuanto a temas y horarios. Por otro lado, se presenta la oportunidad de avanzar en la educación a distancia, utilizando diversidad de recursos didácticos y facilitando retroalimentación motivando a los estudiantes.

3) **Medición de resultados académicos**. Mediante la utilización de la IA, se podrá medir de manera constante y oportuna los resultados académicos, creando plataformas que permitan

aplicar evaluaciones diagnósticas por materia, reflejando la productividad académica, incluso detectar casos que requieran atención especial para prevenir la deserción a tiempo.

4) **Evaluación del aprendizaje con IA**. Las evaluaciones de cada asignatura se pueden elaborar de manera colegiada aprovechando la inteligencia artificial, puede ser un proceso más ágil y seguro, incluso de un gran número de estudiantes, optimizando tiempos al docente, que puede utilizar innovando esta parte del proceso. Además, puede generar un reporte de resultados al alumno y al tutor, lo que mejoraría la transparencia evitando incluso el favoritismo, propiciando la comunicación con los estudiantes y padres, logrando así, un mejor aprovechamiento.

5) **Tutorías**. Con la IA se pueden crear diferentes cursos de capacitación, principalmente en aquellas áreas en que se presentan cambios de manera más dinámica, como es en materia de impuestos, la medicina, la robótica, matemáticas, entre otros. Será posible la utilización de diversos recursos académicos en plataformas a disposición de los alumnos, como ya se mencionó, incluso con asistentes virtuales. Con ello se elevará el rendimiento escolar y disminuirá la deserción. Puede abarcar además de la tarea académica, la situación psicológica de los estudiantes, que pudieran necesitar atención para prevenir riesgos, fortaleciendo la autoestima y brindar apoyo emocional en su caso. Además de lo anterior, es un medio para prepararlos en temas necesarios en el ámbito laboral y profesional en temas como habilidades blandas.

Con lo anterior, se podrá trabajar para lograr la excelencia educativa, pues se orientará hacia la innovación del proceso educativo, colocándolo a la vanguardia de las necesidades que demanda el entorno. Así mismo, crear una conciencia ética y de medio ambiente, privilegiando siempre las mejores prácticas que permitan un mejor vivir.

D. Infraestructura tecnológica

Es uno de los retos a enfrentar en las instituciones educativas públicas de nivel superior, pues será necesario contar con la conectividad suficiente con redes wifi seguras y suficientes, el equipo de cómputo actualizado, los programas informáticos requeridos, plataformas, bases de datos académicos, bibliotecas digitales, laboratorios virtuales que permitan la simulación. Las aulas y laboratorios, deben ser escenarios adaptados a la utilización de las nuevas tecnologías, en un ambiente de confort, en donde se dé la interacción, el análisis, la reflexión que origine ideas innovadoras por parte de los alumnos y docentes.

Los estudiantes pueden involucrarse en la conservación y mantenimiento de esta infraestructura tecnológica, de acuerdo a su carrera, con la finalidad de que se convierta en un campo de aprendizaje bajo la dirección docente y supervisión de personal responsable, consiguiendo trabajar en la aplicación de la IA en funciones administrativas, actividades que pueden extenderse a las diferentes áreas de servicios académicos, laboratorios, mantenimiento y conservación de instalaciones, se pueden establecer programas de mejora continua, con la participación de los alumnos y aplicar sus conocimientos, la innovación, en áreas como la robótica, el internet de las cosas para optimizar recursos tales como consumo de luz, sistemas de riego.

Como parte de la infraestructura tecnológica de las instituciones de educación superior, debe existir un plan dirigido a la protección de la información, resguardando la confidencialidad, los datos personales y académicos de alumnos y docentes, previniendo su manipulación y uso indebido.

E. Investigación

La investigación debe centrarse en proyectos que atiendan necesidades del entorno, involucrando a un alumno como mínimo, debiendo registrarse al inicio de cada ciclo, como una actividad obligatoria para docentes de tiempo completo. Así mismo, se debe cuidar los requisitos de originalidad y evitar

CC BY NC ND

el plagio a toda costa, incluyendo los trabajos de grado. Necesariamente debe ser innovadora, multidisciplinaria, con participación de diferentes carreras y con instituciones nacionales e internacionales. Se debe buscar la aplicación de la IA, como un medio para potenciar las competencias y habilidades humanas, de ninguna manera para sustituirla.

Esta tarea, además, debe vincularse con el sector productivo, para a través los convenios que se celebran, ser un medio de inserción al aprendizaje de los estudiantes, en el campo laboral y profesional, pues en la industria se están automatizando diferentes tareas principalmente repetitivas, tales como manejo de datos para su análisis, así mismo debe ser un medio para generar recursos para las instituciones educativas. En actividades de investigación, es importante resguardad los derechos de autor y la propiedad industrial, pues a través de la IA, puede utilizarse el contenido de forma indebida.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El uso de la inteligencia artificial por parte de los alumnos de nivel superior representa un reto en el proceso de aprendizaje, principalmente porque crea una dependencia, limitando el razonamiento y propiciando el plagio, la obtención de información errónea o sesgada, lo que han denominado alucinaciones de la IA, afectando así el ciclo de enseñanza de habilidades, el pensamiento crítico y ético. Su utilización no se puede restringir, pero debe regularse su utilización en la tarea académica, aplicando los controles para aprovechar los beneficios que se obtienen, cuidando el objetivo principal que es la formación dentro del marco del nuevo modelo educativo que privilegia el pensamiento crítico y el humanismo. Esta herramienta tecnológica da oportunidad de expandir la educación a distancia, pues se puede adaptar a las necesidades de los estudiantes principalmente en horarios, desarrolla habilidades de aprendizaje autónomo y accesibilidad desde cualquier lugar.

El presente trabajo de investigación propone estrategias básicas para lograr la excelencia educativa en un ambiente disruptivo de cambios tecnológicos, que si bien es cierto la actividad académica puede ser favorecida de manera significativa, sin embargo, si no se establecen planes y estrategias que contemplen la adaptación a estos nuevos escenarios, el objetivo principal de enseñanza puede quedar a la deriva. El planteamiento que se hace sugiere ocuparse en el capital humano, planes de estudio, proceso académico, infraestructura tecnológica e investigación, por tratarse de áreas elementales que funcionan de manera articulada en la tarea formativa de nivel superior.

Los principales hallazgos del presente trabajo muestran que algunas Universidades en México están trabajando en el tema de la inteligencia artificial, sin embargo, los procesos de capacitación del personal docente en este tema, no está fluyendo de manera oportuna, pues no basta con establecer una carrera, es necesario actualizar al sector académico de toda la oferta educativa, así como reformar los planes de estudio y reacondicionar las áreas de aprendizaje.

La propuesta del presente trabajo puede adaptarse a los diferentes niveles de educación, pues la problemática planteada no es exclusiva del nivel superior, ya que el pensamiento crítico debe fomentarse desde los niveles básicos, así como la integración del uso de las tecnologías, como un medio para facilitar la construcción del conocimiento, en un marco de responsabilidad ética y humana. El docente como facilitador del aprendizaje, debe trabajar en la creación de un entorno en donde se logre el objetivo principal que es la excelencia educativa, construida por los estudiantes, aprovechando el potencial de cada uno. Para ello, es necesario transformar la tarea pedagógica.

REFERENCIAS

Bello, R. (2019). XI Congreso internacional sobre la tecnología de la información, comunicación y educación a distancia. Santo Domingo: Universidad Católica Santo Domingo UCSD.

CC BY NC ND

file:///C:/Users/Casas/Documents/Libros/Inteligencia%20artificial/15.%20Inteligencia%20artificial%20en%20educaci%C3%B3n%20autor%20Dr.%20Rafael%20Bello%20D%C3%ADaz.pdf

Blanco, J. (14 de Febrero de 2024). *UNIVERSO-IA.COM*. https://universo-ia.com/como-ha-evolucionado-la-inteligencia-artificial/

Cabrera, R. (28 de Agosto de 23). *red educa.net.* https://www.rededuca.net/blog/educacion-y-docencia/excelencia-educativa

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (7 de Junio de 2024). *Ley General de Educación*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGE.pdf

Clarke, J. (6 de Octubre de 2023). *Inteligen artificial.* https://inteligenartificial.com/revisiones-de-ia/futuro-de-la-inteligencia-artificial/

Collaguazo, D. (25 de Febrero de 2019). *Conocimiento abierto.* https://blogs.iadb.org/conocimiento-abierto/es/inteligencia-artificial/

De Agüero, M., Benavides, M., Pompa, M., Hernández, M., Rendón, V., y Sánchez, M. (2022). *Las interacciones didácticas en la UNAM durante la Pandemia.* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. https://doi.org/https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_ES

Escobar, J. A. (s.f.). *Inteligencia artificial.* https://iartificial.blog/aplicaciones/inteligencia-humana-vs-la-ia-explorando-sus-capacidades/

Ganascia, Jean. (17 de Mayo de 2023). *Unesco*. https://courier.unesco.org/es/articles/inteligencia-artificial-entre-el-mito-y-la-realidad

García, e. (Julio-Septiembre de 2016). *ScienceDirect.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1575181316300754?via%3Dihub

Garzón, K., Jiménez, J., y Ortega, L. (2024). Gestión Escolar para la mejora de la calidad educativa en la educación . *Ciencia Latina revista Multidisciplinar, 8*(2), 2944-2958. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10725

Madueño, m., Marquez, L., Pizá, R., y Lozano, a. (2024). *Formación y habilidades Docentes.* ITSON. https://doi.org/ ISBN: 978-607-5892-23-8

Mejía, J. C. (22 de Mayo de 2023). *Juan Carlos Mejía Llano*. https://www.juancmejia.com/transformacion-digital/la-historia-de-la-inteligencia-artificial-avances-y-herramientas-pioneras/

MIT SMR México. (24 de Octubre de 2023). *MITSloan Management Review*. https://mitsloanreview.mx/author/mitsloan/

Murillo, A. (3 de Octubre de 2017). *Instituto para el futuro de la educación*. Tecnológico de Monterrey: https://observatorio.tec.mx/edu-news/innovacion-educativa/

Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 9000:2015.* ISO.

Palafox, L. (24 de Agosto de 2023). *INVIDES.COM.MX*. https://invdes.com.mx/los-investigadores/la-historia-de-la-ia-mexico-y-su-lugar-en-el-mundo-el-inicio/

Pérez, J. C. (22 de Abril de 2020). *enerTIC*. https://enertic.org/entrevista-a-juan-carlos-perez-director-de-inteligencia-artificial-de-iti/

Secretaría de Economía. (10 de Marzo de 2023). *Gobierno de México*. https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/industria-y-comercio-innovacion

Vázquez, m. (2025). Integración de la inteligencia artificial en procesos de evaluación. *Innovarium International Journal, 3*(1), 1-12. https://doi.org/https://revinde.org/index.php/innovarium/article/view/34

Optimización y caracterización de biocompuestos de PLA con fibras de Elaeis guineensis

Optimization and characterization of PLA biocomposites with fibers of Elaeis guineensis

Emilio Pérez Pacheco [1]
Carlos Rolando Ríos Soberanis [2]
Olivia Guadalupe Ortiz Cel [3]

RESUMEN

El impacto ambiental generado por residuos sólidos ha impulsado el desarrollo de materiales sostenibles. Este estudio evalúa biocompuestos elaborados con ácido poliláctico (PLA) reforzado con fibras del raquis de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*.), un residuo agroindustrial subutilizado. Se incorporaron fibras cortas y whiskers de celulosa, tratadas térmica y químicamente, alcanzando una pureza celulósica del 48%. Las propiedades térmicas, estructurales y mecánicas se analizaron mediante FTIR, TGA, DSC y SEM. La adición de fibras mejoró el módulo de elasticidad del PLA hasta en un 10%; sin embargo, a una concentración del 30%, la resistencia a la tracción disminuyó por baja compatibilidad interfacial. Los análisis térmicos evidenciaron buena estabilidad y comportamiento de fusión influenciado por el contenido de refuerzo. Los resultados confirman la viabilidad técnica de emplear fibras de palma africana como refuerzo en matrices biodegradables, promoviendo la valorización de residuos agrícolas y el diseño de materiales poliméricos ecológicos.

PALABRAS CLAVES: Biocompuestos; Ácido poliláctico (PLA); Fibra de raquis de palma africana; propiedades mecánicas; Sostenibilidad.

Fecha de recepción: 21 de mayo, 2025.

Fecha de aceptación: 02 de septiembre, 2025.

ABSTRACT

The environmental impact caused by solid waste has driven the development of sustainable materials. This study evaluates biocomposites made from polylactic acid (PLA) reinforced with fibers

[1] Universidad Modelo, Centro de Investigaciones Silvio Zavala, 97305, Mérida Yucatán, México, emilioperez@modelo.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-2242-1183
[2] Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México. rolando@cicy.mx, https://orcid.org/0000-0003-3915-7331
[3] Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México. ogortiz@itescam.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-3159-457X

from the African palm rachis (*Elaeis guineensis Jacq*.), an underutilized agro-industrial byproduct. Short fibers and cellulose whiskers, thermally and chemically treated, were incorporated, achieving a cellulose purity of 48%. Thermal, structural, and mechanical properties were analyzed using FTIR, TGA, DSC, and SEM. The addition of fibers improved the elastic modulus of PLA by up to 10%; however, at a 30% concentration, tensile strength decreased due to poor interfacial compatibility. Thermal analysis revealed good stability and fusion behavior influenced by the reinforcement content. The results confirm the technical feasibility of using African palm fibers as reinforcement in biodegradable matrices, promoting the valorization of agricultural waste and the development of environmentally friendly polymeric materials.

KEYWORDS: Biocomposites; Polylactic acid (PLA); African palm rachis fiber; mechanical properties; Sustainability.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el incremento sostenido de residuos sólidos ha provocado un serio problema ambiental a nivel global, impulsando la investigación en nuevos materiales que ofrezcan soluciones sostenibles y ecológicas (TG et al., 2023). Dentro de este contexto, los materiales biocompuestos, definidos como materiales formados por una matriz polimérica biodegradable y con refuerzos de origen natural, han adquirido relevancia en la ciencia de materiales gracias a su bajo impacto ambiental, renovabilidad y potencial en aplicaciones estructurales y no estructurales (Dhakal et al., 2024).

Uno de los polímeros más destacados en este campo es el ácido poliláctico (PLA), un termoplástico biodegradable derivado de recursos naturales como el maíz o la caña de azúcar, cuya popularidad ha crecido debido a su procesabilidad y compatibilidad con técnicas de fabricación convencionales (Jayanthi et al., 2024). A pesar de sus ventajas, el PLA presenta limitaciones intrínsecas en cuanto a sus propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia al impacto, lo que ha motivado la incorporación de refuerzos naturales, principalmente fibras lignocelulósicas, con el fin de mejorar su rendimiento (Leite-Barbosa et al., 2024). Estas fibras, obtenidas de residuos agroindustriales como el bagazo de caña, cáscaras de frutas o tallos vegetales, poseen una elevada relación resistencia/peso, baja densidad y buena biodegradabilidad, lo que las hace idóneas para el diseño de materiales compuestos sostenibles (Babu, 2024). Entre las fibras naturales de interés, los residuos del raquis de la palma africana (*Elaeis guineensis Jacq.)* han emergido como una fuente abundante, infrautilizada y rica en celulosa. Este residuo se genera en grandes volúmenes como subproducto del proceso de extracción de aceite, especialmente en regiones tropicales como América Latina, África y el sudeste asiático, donde la palma aceitera es un cultivo dominante (Ajayi et al., 2025). En países como México y Colombia, los residuos del raquis son comúnmente desechados o utilizados de forma limitada como fertilizante o biomasa para combustión, desaprovechando su potencial como refuerzo mecánico en compuestos poliméricos (Bharat et al., 2025).

Los reportes en la literatura muestran un avance significativo en la caracterización de fibras vegetales aplicadas a matrices de PLA. No obstante, persisten vacíos importantes en torno a la optimización del tratamiento químico y físico de estas fibras para lograr una adecuada compatibilidad interfacial con el polímero (Yeo et al., 2024). Asimismo, estudios previos han demostrado que las propiedades térmicas y mecánicas de los biocompuestos están directamente relacionadas con el tipo de tratamiento aplicado a las fibras, su morfología, contenido de celulosa y su proporción en la matriz

CC BY NC ND

(Jayanthi et al., 2024). En este sentido, trabajos como los de Ajayi et al. (2025) han abordado la obtención de celulosa purificada a partir de residuos de palma, pero pocos han explorado su implementación dual como fibras cortas y como whiskers nanocelulósicos dentro de un mismo sistema biocompuesto.

Este estudio destaca por valorizar residuos agroindustriales, transformándolos en materiales funcionales con valor agregado. Contribuye al ODS 12 sobre producción y consumo responsables, y ofrece aplicaciones tecnológicas en envases biodegradables, diseño automotriz ecológico y biomateriales no estructurales donde se requiere biodegradabilidad y bajo impacto ambiental (Leite-Barbosa et al., 2024).

El objetivo de esta investigación fue desarrollar biocompuestos de ácido poliláctico (PLA) reforzados con fibras del raquis de palma africana en forma de fibra corta y nanocristales de celulosa. Se aplicaron tratamientos químicos (hidrólisis, blanqueamiento y descomposición alcalina) y los biocompuestos se procesaron por extrusión y termocompresión. Se evaluaron propiedades mecánicas, térmicas (DSC, TGA) y estructurales (FTIR) para analizar compatibilidad interfacial y morfología de fractura.

Hipótesis

La incorporación de fibras tratadas químicamente del raquis de palma africana en matrices de PLA mejorará las propiedades mecánicas y térmicas del biocompuesto en comparación con PLA sin refuerzo, siempre que exista una adecuada compatibilidad interfacial entre fases.

Variables

- Variable independiente: Tipo y concentración de refuerzo (fibra desfibrada -DF- o celulosa purificada -CF- en proporciones de 10 %, 20 % y 30 %).
- Variables dependientes:
  - Propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, módulo de elasticidad)
  - Propiedades térmicas (temperatura de degradación, temperatura de fusión, T_g y T_c)
  - Compatibilidad interfacial (identificada mediante FTIR y análisis morfológico)
- Variables controladas: Tipo de matriz (PLA 2002 D), método de procesado (extrusión y termocompresión), condiciones de secado, velocidad de tracción.

JUSTIFICACIÓN

El aumento en la generación de residuos agroindustriales, especialmente en regiones con alta producción de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*.), plantea una necesidad urgente de estrategias sostenibles para su aprovechamiento. Paralelamente, la creciente demanda de materiales biodegradables ha impulsado el interés en biocompuestos como alternativa a los polímeros sintéticos, que presentan baja degradabilidad y alto impacto ambiental. El ácido poliláctico (PLA), por su origen renovable, es una matriz prometedora; no obstante, su desempeño mecánico y térmico es limitado. La incorporación de fibras naturales puede mejorar estas propiedades, aunque persisten desafíos en la compatibilidad fibra-matriz. En este contexto, el raquis de palma africana, rico en celulosa y poco valorizado, surge como un refuerzo potencial para desarrollar biocompuestos funcionales. Este estudio se justifica al proponer una solución técnica y ambiental mediante el uso de residuos lignocelulósicos en materiales sostenibles, alineándose con principios de economía circular y contribuyendo a sectores como el embalaje, automotriz y construcción ligera.

CC BY NC ND

METODOLOGÍA

Materiales

La fibra de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*.) se obtuvo de la empresa Agroindustrias de Palenque S.A. de C.V. Se emplearon dos tipos de refuerzo: fibra desfibrada (DF) y fibra de celulosa (CF). La DF fue lavada con agua destilada, secada a temperatura ambiente, desfibrada manualmente, cortada en segmentos de ~30 cm y secada en estufa a 50 °C durante 24 h. Posteriormente se molió en molino de cuchillas tipo Wiley (Brabender®) y se tamizó con malla 40 (Figura 1a). La CF se obtuvo mediante el método descrito por Cazaurang-Martínez et al. (1990), también reportado por Pech-Cohuo et al. (2018), utilizando ácido sulfúrico, hidróxido de sodio (Sigma Aldrich®) e hipoclorito de sodio (CLORALEX®). Para la matriz del biocompuesto se utilizó poli(ácido láctico) (PLA) 2002 D de NatureWorks®. Las fibras fueron incorporadas como refuerzo con el objetivo de evaluar su efecto en las propiedades estructurales, térmicas y mecánicas del material final.

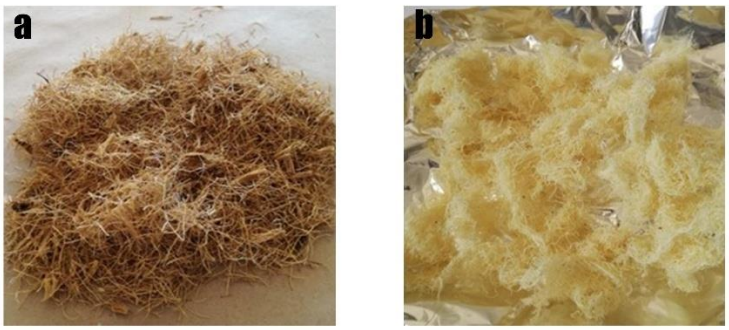


Figura 1. Fibras utilizadas como refuerzo de PLA. a) fibra desfibrada (DF), b) fibra de celulosa (CF).

Método

Extracción de fibras de celulosa

Se utilizaron 100 g de fibra de raquis de palma africana para obtener celulosa. Las fibras se trataron con ácido sulfúrico al 1 % v/v a 100 °C durante 1 h y luego se lavaron con agua destilada. Posteriormente, se sumergieron en hipoclorito de sodio al 3.5 % w/v hasta alcanzar un pH de 9.2, seguido de un nuevo lavado. Después, se trataron con hidróxido de sodio al 20 % w/v, con agitación constante a 1200 rpm por 3 h. Para el blanqueo final, se usó hipoclorito de sodio al 0.5 % w/v bajo las mismas condiciones de agitación durante 1 h. Finalmente, las fibras fueron enjuagadas y secadas a temperatura ambiente durante 24 h.

Análisis de infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR)

Con el propósito de identificar los grupos funcionales presentes en la estructura molecular de las fibras analizadas, se empleó espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier mediante reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). El análisis se aplicó tanto a las muestras de fibra cruda de *Elaeis guineensis Jacq.* (palma africana) como a las fibras purificadas de celulosa (CF). Los espectros fueron obtenidos utilizando un espectrofotómetro modelo Nicolet 8700, operado en el rango de número de onda de 4000 a 650 cm^{-1}, con una resolución de 4 cm^{-1}. Todos los análisis se realizaron por triplicado para garantizar la reproducibilidad de los resultados.

CC BY NC ND

Análisis Termogravimétrico (TGA)

La estabilidad térmica de las fibras se evaluó mediante análisis termogravimétrico (TGA) para determinar su temperatura de descomposición. Se analizaron fibras crudas de *Elaeis guineensis Jacq*. y celulosa purificada, utilizando un equipo TGA-7 (Perkin-Elmer) bajo atmósfera de nitrógeno (50 mL/min), desde 30 °C hasta 700 °C a 10 °C/min.

Elaboración de Materiales Biocompuestos

Los biocompuestos se elaboraron con PLA 2002 D como matriz y dos tipos de refuerzo: fibra corta (DF) del raquis de palma africana y fibras de celulosa (CF) en forma de whiskers, en concentraciones de 10 %, 20 % y 30 %. Antes de la extrusión, el PLA y las fibras se secaron a 85 °C durante 6 h para evitar degradación por hidrólisis. La mezcla se realizó mediante extrusión en una PRISM USA LAB 16 (Thermo Electron Corp.) con perfil de temperatura 140–170–180–160–150 °C y velocidad del husillo de 100 rpm. El material extruido se peletizó y moldeó por termocompresión en prensa hidráulica Carver 3912, empleando un molde de acero de 120 × 120 × 1 mm. El moldeo se realizó a 160 °C y 48.3 MPa durante 8 min. Posteriormente, se enfrió con agua y se extrajeron las placas, de las cuales se cortaron especímenes tipo IV según la norma ASTM D638 para pruebas mecánicas.

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

El comportamiento térmico se evaluó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) con un equipo PerkinElmer Diamond. Las muestras se calentaron desde temperatura ambiente hasta 500 °C a 10 °C/min en atmósfera de aire a fin de identificar las transiciones térmicas.

Propiedades Mecánicas

La adherencia interfacial en los biocompuestos DF/PLA y CF/PLA se evaluó mediante ensayos de tracción uniaxial en una máquina Shimadzu AGS-X (1 kN) a 1 mm/min. Esta técnica permitió analizar la resistencia mecánica y la calidad de interacción entre la matriz y el refuerzo fibroso.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Microscopia electrónica de barrido por transformada de fourier

El espectro de FTIR se muestra en la Figura 2. Estos resultados de FTIR permitieron identificar los grupos funcionales característicos presentes en las fibras de raquis de palma africana antes y después del tratamiento químico, así como su interacción con la matriz polimérica de ácido poliláctico (PLA). En el espectro correspondiente a las fibras sin tratar, se observa una banda ancha e intensa alrededor de los 3330 cm^{-1}, atribuible a la vibración de elongación del grupo hidroxilo (–OH), típico de la celulosa, hemicelulosa y lignina, indicando una alta presencia de enlaces de hidrógeno. Esta banda disminuye significativamente en las fibras tratadas, lo que sugiere una eliminación parcial de impurezas y componentes amorfos durante el proceso de extracción. Asimismo, se registra una señal en torno a los 2900 cm^{-1} asociada a las vibraciones de estiramiento de los enlaces C–H alifáticos, comúnmente presentes en las cadenas hidrocarbonadas de polisacáridos. Las bandas observadas en la región de 1735 cm^{-1} corresponden al grupo carbonilo (C=O) de los ésteres, atribuibles a residuos de hemicelulosa y componentes de la matriz PLA; dicha señal disminuye en intensidad tras el tratamiento, lo que indica una remoción efectiva de la hemicelulosa. En la región de 1600 a 1510 cm^{-1} se evidencia la presencia de anillos aromáticos derivados de la lignina, cuya intensidad disminuye notablemente después del tratamiento, confirmando la depuración parcial de esta fracción. Las bandas alrededor de 1235 cm^{-1} y 1030 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de

CC BY NC ND

estiramiento C–O–C y C–O, propias del esqueleto polisacárido de la celulosa. En las fibras tratadas, estas bandas se vuelven más definidas y desplazadas levemente, lo que indica una organización estructural más definida y un incremento en la cristalinidad. Finalmente, la comparación entre el espectro de los biocompuestos y los componentes individuales sugiere una interacción física sin formación de nuevos enlaces químicos, evidenciada por el mantenimiento de las bandas principales, aunque con ligeras variaciones en intensidad y desplazamiento, atribuibles a interacciones por puentes de hidrógeno entre las fases.

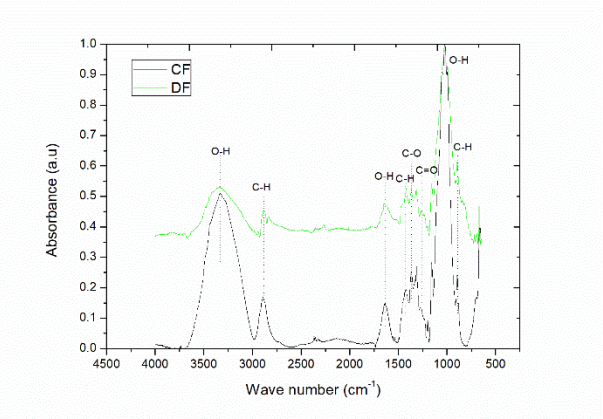


Figura 2. Espectros FTIR de DF y CF obtenidos de *Elaeis Guineensis Jacq*.

Análisis Termogravimétrico (TGA)

La Figura 3 muestra el termograma de TGA de las fibras desfibradas (DF) (Figure 3a) y de las fibras de celulosa (CF) (Figure 3b) obtenidas de *Elaeis Guineensis Jacq.* En la Figura 3a, se puede observar que, para las DF, se exhiben tres principales zonas para la pérdida de masa. La primera sección se encuentra entre los 30 °C 100 °C, lo cual se atribuye a la pérdida por evaporación de agua, y que es aproximadamente un 7 %. Después, el material permanece térmicamente estable hasta los 250 °C con una pérdida mínima de masa del 3 %. La segunda pérdida de masa fue observada entre los 260 °C y los 400 °C y dentro del cual se pierde una cantidad de masa de aproximadamente un 55 %. En este intervalo, se pueden observar dos picos importantes en la primera derivada (DTG), el primero, alrededor de los 300 °C, el primer pico pudiera ser atribuido a la descomposición de hemicelulosa y un poco de lignina. El Segundo pico, pudiera ser atribuido a la descomposición de la celulosa y la lignina remanente. La pirolisis se encuentra después de los 400 °C (degradación final), correspondiente a la pérdida de residuos con una pérdida de masa de un 10 % aproximadamente. Este comportamiento es similar al reportado por otros autores (González-Navarro et al., 2014).

En la Figura 3b, se puede observar el termograma para las fibras de celulosa (CF), y en la cual se pueden observar tres secciones principales. La pérdida de masa inicial entre los 30-100 °C asociada a la evaporación de agua presente en la celulosa y que se aproximadamente un 7 %. Después, el material se reporta térmicamente estable hasta aproximadamente los 240 °C y con una pérdida mínima de aproximadamente el 3 %. La siguiente sección de pérdida de masa, es la que se muestra entre 250 °C y 400 °C, mostrando un importante pico en la derivada (DTG) alrededor de 320 °C, y que se puede atribuir a la descomposición de celulosa, con una pérdida aproximada de 53 %. La pirolisis se encuentra después de los 400 °C (degradación final), correspondiente a la pérdida de residuos con una pérdida de masa de un 10 % aproximadamente. De acuerdo al análisis de TGA y

CC BY NC ND

DTG, se pudiera inferir que la estabilidad térmica es superior a otra como el sisal (Ahmad & Luyt, 2012), banana (Bolio-López et al., 2011), y celulosa comercial (Yang et al., 2007).

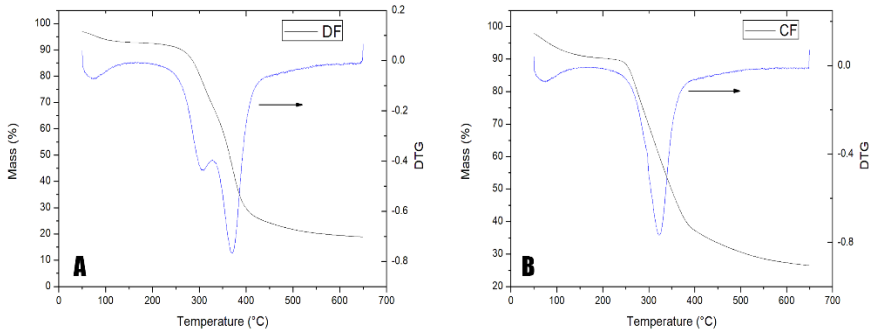


Figura 3. Resultados TGA de la descomposición térmica y su derivada (DTG) de a). DF y b) CF de Elaeis Guineensis Jacq.

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La Figura 4 muestra el resultado del análisis de las pruebas de DSC que se les realizaron a los materiales compuestos de fibra de celulosa (CF) obtenidas de *Elaeis Guineensis Jacq*. y PLA. En la Figura 4, es posible observar un comportamiento similar para los cuatro termogramas, en los valores observados para temperatura de transición vítrea (T_g), temperatura de cristalización (T_c) y temperatura de fusión (T_m) para los diferentes materiales; todas las muestras presentaron temperaturas similares, con ligeros corrimientos a temperaturas menores conforme el contenido de CF es incrementado. Para el caso de las temperaturas reportadas en la Figura 4 para el PLA puro, se muestran para la Tg un valor de 61 °C, Tc con un valor de 103 °C y en cuanto la T_m, un doble pico con valores de 145° C y 154 °C, mostrando comparaciones similares a los reportados por otros autores como Choksi y Desai (2017) y Nghiem et al. (2019). En el caso de los compuestos PLA/CF, como se mencionó anteriormente, la Figura 4 muestra que, a medida que aumenta el contenido de CF, la temperatura de transición vítrea (T_g) presenta ligeras disminuciones, lo cual podría atribuirse a que las fibras actúan como agente plastificante para la matriz (Mofokeng et al., 2012). En cuanto a la T_c, de igual manera se observa una disminución de los valores conforme aumenta el contenido del refuerzo, lo cual se puede atribuir a que el relleno pudiera actuar como un agente de nucleación que promovió la cristalización del PLA en los compuestos (Mofokeng et al., 2012). Para la T_m, la aparición del doble pico pudiera atribuirse a la velocidad de enfriamiento del material (Shi et al., 2010), debido a que pudieron aparecer pequeños cristales imperfectos formados durante el proceso de enfriamiento, y por lo tanto, la recristalización pudiera ocurrir en el proceso de fundición (Lv et al., 2019). Para el caso del cambio en la intensidad de los picos, conforme el contenido de fibra es incrementado, esto pudiera ser indicación que la presencia de la fibra pudiera cambiar de alguna manera la morfología de las fracciones amorfas y cristalinas del polímero durante el proceso de enfriamiento (Mofokeng et al., 2012).

CC BY NC ND

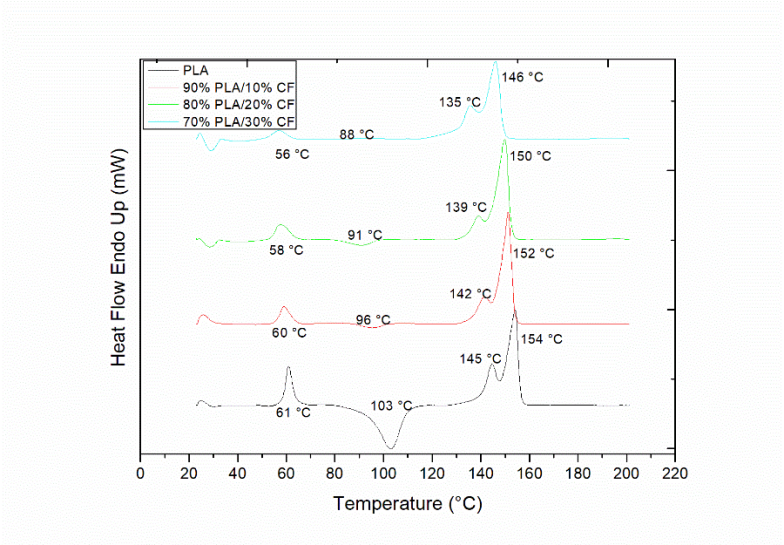


Figura 4. La Figura 4 muestra los resultados del análisis DSC del material compuesto PLA y CF de *Elaeis Guineensis Jacq.* con diferentes porcentajes.

Propiedades Mecánicas

En la figura 5 se presentan los resultados de las propiedades mecánicas de los materiales biocompuestos elaborados con las distintas concentraciones de fibra. La figura 5a se presenta el resultado de los valores de resistencia a la tensión para el PLA sin fibra y de las distintas concentraciones de fibra incorporadas en la matriz de PLA. Se puede observar que para el PLA sin fibra tuvo un valor de 58 MPa similar al valor reportado por otros autores (Graupner & Müssig, 2017). Asimismo, se observó que en la medida que el contenido de CF incrementó, el valor de la resistencia a la tensión disminuyó; por otro lado, no se observó diferencia significativa en los valores de resistencia entre concentraciones de fibra del 10 % y 20 %. Sin embargo, cuando el contenido de CF se incrementó al 30 %, la resistencia a la tensión disminuyó drásticamente, lo cual se puede deber a la pobre adherencia interfacial de los materiales debido a la incompatibilidad natural y disimilitud química de los materiales constituyentes (Spiridon et al., 2016).

En la Figura 5b se muestran los resultados del módulo de elasticidad de los especímenes elaborados con PLA sin fibra y del material biocompuesto elaborado con las distintas concentraciones de fibra en la matriz de PLA. Se observa que el valor del módulo de elasticidad para el PLA puro es de 3500 MPa, lo cual coincide con lo reportado por otros autores (Gupta & Srivastava, 2016; Piekarska et al., 2016). Asimismo, se observa que en la medida que el contenido de fibra incrementó el valor del módulo de elasticidad incrementó (Piekarska et al., 2016). Al incorporar en 10% el contenido de fibra en la matriz de PLA el valor del módulo de elasticidad aumentó un 10 %. Además, este incremento en el módulo cuando se añaden las FC en el material compuesto, pudiera sugerir que la presencia de las FC promueve las restricciones de las cadenas de PLA, permitiendo un incremento en el módulo de elasticidad (Mokhena et al., 2018; Tingaut et al., 2010).

Los resultados destacan el papel clave del tratamiento químico aplicado a las fibras del raquis de Elaeis guineensis Jacq. en las propiedades estructurales y funcionales de los biocompuestos. La eliminación de lignina y hemicelulosa, evidenciada por la disminución de bandas características en FTIR y el aumento de señales C–O y C–O–C, expone más grupos hidroxilo, mejorando la interacción

CC BY NC ND

con la matriz de PLA mediante enlaces de hidrógeno. Esto se asocia con una mayor cristalinidad de las fibras tratadas, reflejada en un mejor desempeño térmico y una mayor temperatura de degradación (TGA). El incremento del módulo de elasticidad en los compuestos CF/PLA se vincula a la rigidez aportada por fibras más puras. Sin embargo, la disminución de la resistencia a la tracción a altos contenidos de refuerzo indica que la compatibilidad interfacial sigue siendo limitada. Este desafío podría abordarse con tratamientos adicionales como la silanización o el uso de compatibilizantes. En conjunto, los hallazgos subrayan la importancia del pretratamiento de fibras para obtener biocompuestos con propiedades mejoradas.

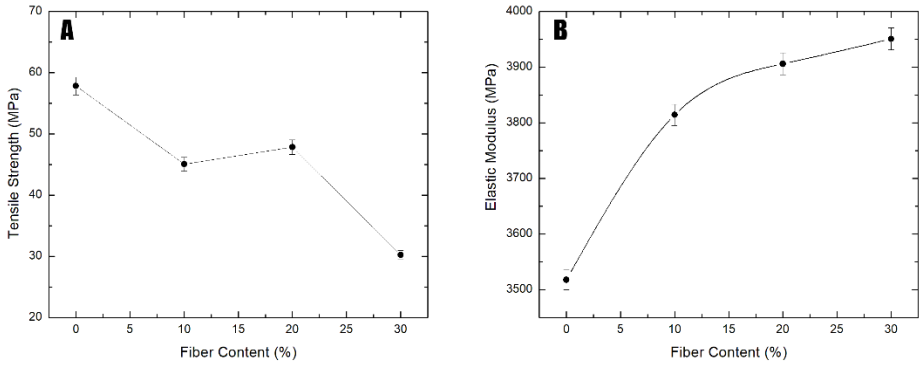


Figura 5. Resultados de las propiedades mecánicas de los materiales Biocompuestos. A: Resistencia a la Tensión; B: Módulo de elasticidad.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Este estudio demostró la viabilidad de incorporar fibras del raquis de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*.), en forma de fibra corta y whiskers de celulosa, como refuerzos en matrices de PLA para elaborar biocompuestos sostenibles. Las fibras tratadas químicamente mostraron mayor pureza y cristalinidad (FTIR), y buena estabilidad térmica (TGA, DSC). Se incrementó el módulo de elasticidad en un 10 % con 10 % de refuerzo, aunque a mayores concentraciones disminuyó la resistencia a la tracción por baja compatibilidad interfacial. Estos hallazgos confirman la viabilidad de valorizar residuos agroindustriales en materiales biodegradables funcionales.

REFERENCIAS

Ahmad, E., & Luyt, A. (2012). Morphology, thermal, and dynamic mechanical properties of poly (lactic acid)/sisal whisker nanocomposites. *Polymer Composites*, *33*(6), 1025-1032.

Ajayi, S. M., Olusanya, S. O., Didunyemi, A. E., Abimbade, S. F., Olumayede, E. G., & Akintayo, C. O. (2025). Physicochemical properties of oil palm biomass waste fibres and its cellulose for engineering applications: a review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *15*(5), 6545-6555.

Babu, N. S. A. (2024). *Investigation of chemicomechanical properties of polyamide 12 composite reinforced with fillers from agriculture biowaste as a potential dental post*

Bharat, N., Kumar, V., Veeman, D., & Vellaisamy, M. (2025). Enhancing mechanical properties of 3D-printed PLA/wood composites: a metaheuristic and statistical perspective. *European Journal of Wood and Wood Products*, *83*(3), 1-22.

Bolio-López, G., Valadez-González, A., Veleva, L., & Andreeva, A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: Obtención y caracterización. *Revista mexicana de ingeniería química*, *10*(2), 291-299.

Choksi, N., & Desai, H. (2017). Synthesis of biodegradable polylactic acid polymer by using lactic acid monomer. *Int. J. Appl. Chem*, *13*(2), 377-384.

Dhakal, H. N., Khan, S. H., Alnaser, I. A., Karim, M. R., Saifullah, A., & Zhang, Z. (2024). Potential of date palm fibers (DPFs) as a sustainable reinforcement for bio-composites and its property enhancement for key applications: a review. *Macromolecular Materials and Engineering*, *309*(10), 2400081.

González-Navarro, M. F., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2014). Preparation and characterization of activated carbon for hydrogen storage from waste African oil-palm by microwave-induced LiOH basic activation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *107*, 82-86.

Graupner, N., & Müssig, J. (2017). Cellulose Fiber-Reinforced PLA versus PP. *International Journal of Polymer Science*, *2017*(1), 6059183. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2017/6059183

Gupta, M. K., & Srivastava, R. K. (2016). Mechanical Properties of Hybrid Fibers-Reinforced Polymer Composite: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, *55*(6), 626-642. https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1098694

Jayanthi, B., Vinoth, S., Hariharan, M., Raja, R. K., Kamaraj, C., & Narayanan, M. (2024). Valorization of agro-industry wastes for nanocellulose fabrication and its multifunctional applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *57*, 103124.

Leite-Barbosa, O., Pinto, C. C. d. O., Leite-da-Silva, J. M., De Aguiar, E. M. M. M., & Veiga-Junior, V. F. (2024). Polymer Composites Reinforced with Residues from Amazonian Agro-Extractivism and Timber Industries: A Sustainable Approach to Enhancing Material Properties and Promoting Bioeconomy. *Polymers*, *16*(23), 3282.

Lv, R., He, Y., Wang, J., Wang, J., Hu, J., Zhang, J., & Hu, W. (2019). Flash DSC study on the annealing behaviors of poly (l-lactide acid) crystallized in the low temperature region. *Polymer*, *174*, 123-129.

Mofokeng, J. P., Luyt, A., Tábi, T., & Kovács, J. (2012). Comparison of injection moulded, natural fibre-reinforced composites with PP and PLA as matrices. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, *25*(8), 927-948.

Mokhena, T. C., Sefadi, J. S., Sadiku, E. R., John, M. J., Mochane, M. J., & Mtibe, A. (2018). Thermoplastic Processing of PLA/Cellulose Nanomaterials Composites. *Polymers*, *10*(12), 1363. https://www.mdpi.com/2073-4360/10/12/1363

Nghiem, P. A. P., Alesini, D., Aschikhin, A., Assmann, R., Audet, T., Beck, A.,…Cianchi, A. (2019). Eupraxia, a step toward a plasma-wakefield based accelerator with high beam quality. Journal of Physics: Conference Series.

Piekarska, K., Sowinski, P., Piorkowska, E., Haque, M. M. U., & Pracella, M. (2016). Structure and properties of hybrid PLA nanocomposites with inorganic nanofillers and cellulose fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *82*, 34-41. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.019

Shi, Q., Mou, H., Gao, L., Yang, J., & Guo, W. (2010). Double-melting behavior of bamboo fiber/talc/poly (lactic acid) composites. *Journal of Polymers and the Environment*, *18*, 567-575.

Spiridon, I., Darie, R. N., & Kangas, H. (2016). Influence of fiber modifications on PLA/fiber composites. Behavior to accelerated weathering. *Composites Part B: Engineering*, *92*, 19-27. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.02.032

TG, Y. G., Ballupete Nagaraju, S., Puttegowda, M., Verma, A., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2023). Biopolymer-based composites: an eco-friendly alternative from agricultural waste biomass. *Journal of Composites Science*, *7*(6), 242.

Tingaut, P., Zimmermann, T., & Lopez-Suevos, F. (2010). Synthesis and Characterization of Bionanocomposites with Tunable Properties from Poly(lactic acid) and Acetylated Microfibrillated Cellulose. *Biomacromolecules*, *11*(2), 454-464. https://doi.org/10.1021/bm901186u

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, *86*(12-13), 1781-1788.

Yeo, J. C. C., Muiruri, J. K., Lee, P. S. K., Vijayakumar, R., Lin, T. T., Zhang, X.,…Li, Z. (2024). Sustainable poly (lactic acid) transformation: Leveraging agri-food waste—compatibilization strategies nexus for enhanced properties. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, *7*(6), 190.

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

Drip irrigation system for coconut palms

Ofelia Barrios Vargas [1]
Julio Cesar Gallo Sánchez [2]
Jesús Felipe Vazquez Barrios [3]
Adán Rubio Cuevas [4]

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de riego por goteo en cultivos de palma de coco, con el fin de mejorar la eficiencia en el uso de la mano de obra y reducir el consumo de agua, promoviendo así una producción más sostenible. Se plantea sustituir los métodos de riego tradicionales, que suelen requerir mayor volumen de agua y una labor manual intensiva, por un sistema automatizado de goteo de precisión. Esta modificación permitirá una aplicación eficiente del agua, lo que disminuirá las pérdidas por evaporación y escurrimiento, además de liberar recursos humanos para realizar otras labores de plantación. El diseño del sistema se llevó a cabo mediante un análisis del terreno y del suelo con el objetivo de definir la distribución más adecuada de los emisores de goteo. La implementación de la tecnología de automatización se realizó mediante el diseño y construcción de una tarjeta electrónica con base en un microcontrolador PIC18F25K50 de Microchip, la cual cuenta con un reloj en tiempo real (para programar los días, la hora y la duración del riego) y unos contactos electromagnéticos para arrancar o para la bomba de riego, además cuenta con un sistema de eléctrico de fuerza con protección contra sobrecargas para proteger la bomba, un sistema eléctrico de control de arranque y paro manual mediante botones montados en un tablero eléctrico, lo que facilita la automatización del riego. La infraestructura incluye la instalación de tuberías, emisores de goteo y un sistema de control programable que ajusta la frecuencia y duración del riego, en función de las condiciones climáticas y las demandas del cultivo.

Los impactos Esperados son la optimización de recursos hídricos que prevé una reducción significativa en el consumo de agua (entre un 30% y 50% en comparación con sistemas convencionales). Reducción de la Mano de Obra que es que la automatización disminuirá la dependencia de intervenciones manuales en el riego, permitiendo que el personal se enfoque en otras tareas críticas del cultivo. Esto mejorará la Productividad y Calidad del Coco es decir un riego preciso y controlado favorece el desarrollo radicular y, por ende, incrementa la productividad y calidad de los frutos. En cuanto a la sostenibilidad ambiental es que el uso racional del agua y la reducción en los de insumos derivados de prácticas ineficientes contribuirán a una producción más amigable con el medio ambiente. La combinación de innovación tecnológica y manejo agronómico.

[1] Profesor de tiempo completo. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, ofelia.barrios@lcardenas.tecnm.mx, https://orcid.org/0000-0003-1034-1610
[2] Profesor de tiempo completo. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, jcesar.cesar@lcardenas.tecnm.mx, https://orcid.org/0000-0003-1034-1610
[3] Profesor de interinato. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, jf.vbarrios@lcardenas.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0005-7119-2913
[4] Profesor de tiempo completo. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, adan.rubio@lcardenas.tecnm.mx , https://orcid.org/0000-0002-3378-1398

La implementación del riego por goteo en la localidad de Buena Vista, Municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero, no solo permitirá un uso más eficiente de los recursos hídricos y una reducción en la mano de obra, sino que también sentará las bases para una producción sostenible y rentable a largo plazo.

PALABRAS CLAVES: Goteo, normas, palma, semiautomático, sistema de riego.

Código jel: C80, M31, O32, Q16 I + D, Q25, Q55.

Fecha de recepción: 04 de junio, 2025.

Fecha de aceptación: 29 de septiembre, 2025.

ABSTRACT

The objective of this project is to implement a drip irrigation system for coconut palm crops to improve labor efficiency and reduce water consumption, there by promoting more sustainable production. The plan is to replace traditional irrigation methods, which tend to require greater volumes of water and intensive manual labor, with an automated precision drip system. This modification will allow for efficient water application, which will reduce losses due to evaporation and runoff, as well as free up human resources for other plantation tasks. The system was designed based on an analysis of the terrain and soil in order to determine the most appropriate distribution of drip emitters. The automation technology was implemented through the design and construction of an electronic card based on a Microchip PIC18F25K50 microcontroller, which has a real-time clock (to program the days, time, and duration of irrigation) and electromagnetic contacts for starting or for the irrigation pump. It also has a power system with overload protection to protect the pump, an electrical control system for manual start and stop via buttons mounted on an electrical panel, which facilitates irrigation automation. The infrastructure includes the installation of pipes, drip emitters, and a programmable control system that adjusts the frequency and duration of irrigation based on weather conditions and crop demands.

The expected impacts are the optimization of water resources, which is expected to significantly reduce water consumption (between 30% and 50% compared to conventional systems). Reduction in labor, as automation will decrease the dependence on manual irrigation interventions, allowing staff to focus on other critical crop tasks. This will improve coconut productivity and quality, as precise and controlled irrigation promotes root development and, therefore, increases fruit productivity and quality. In terms of environmental sustainability, the rational use of water and the reduction of inputs derived from inefficient practices will contribute to more environmentally friendly production. The combination of technological innovation and agronomic management. The implementation of drip irrigation in the town of Buena Vista, Municipality of La Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero, will not only allow for more efficient use of water resources and a reduction in labor, but will also lay the foundation for sustainable and profitable production in the long term.

KEYWORDS: Drip, standards, palm, semi-automatic, irrigation system.

Code jel: C80, M31, O32, Q16 I + D, Q25, Q55.

CC BY NC ND

INTRODUCCIÓN

En los últimos 3 meses del año, la producción se mantiene relativamente constante. En abril se observa un incremento del 9.1% hasta agosto 9.4, considerando que el mes de junio llega a 8%. En septiembre hay un descenso. A 6 puntos, 5% y se da una recuperación en los últimos 3 meses octubre, noviembre y diciembre de 7.8% en promedio. Guerrero es uno de los principales productores de ojo, con un volumen de 200,000 toneladas. Con una cuota del 42% del total nacional. Después le sigue Jalisco, con más de 68000 toneladas, que equivale a un 14.5% del total. Y Quintana Roo y Michoacán se sitúan. En. Tercer y cuarto lugar. Con 43276 toneladas con 9.2% y 40, 283 toneladas, que equivale a 8.6%, respectivamente (SIAP, 2023).

Según datos de SAGARPA (2024), en la figura 1 se observan los principales estados productores de coco en México durante el año 2024. Esto evidencia la importancia del cultivo de coco en regiones estratégicas para el país y la necesidad de implementar sistemas de riego eficientes para mejorar la sostenibilidad y la competitividad de estas zonas agrícolas.

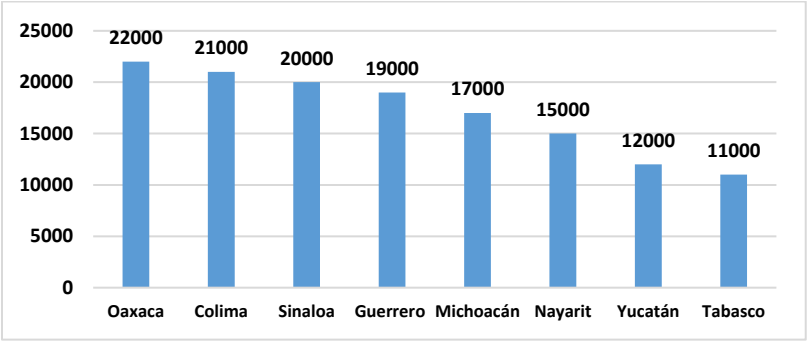


Figura 1. Producción por estado en México

El acceso y la gestión eficiente del agua constituyen uno de los principales desafíos en la agricultura contemporánea, especialmente en regiones caracterizadas por climas cálidos y una creciente presión sobre los recursos hídricos. En el municipio de Lázaro Cárdenas, Michoacán, las condiciones climáticas se distinguen por altas temperaturas, humedad relativa variable y estacionalidad en las precipitaciones, lo que intensifica la necesidad de adoptar tecnologías que garanticen la sostenibilidad en la producción agrícola. Bajo este contexto, los sistemas de riego por goteo se han consolidado como una alternativa estratégica, al permitir la aplicación localizada y controlada del agua directamente en la zona radicular de los cultivos, reduciendo pérdidas por evaporación, escurrimiento y percolación profunda.

Diversos estudios señalan que la eficiencia en el uso del agua bajo esquemas de riego por goteo puede alcanzar valores superiores al 90%, en contraste con los sistemas tradicionales de riego por gravedad o aspersión, cuya eficiencia oscila entre el 40% y 60% (Hernández-López et al., 2020; CIAT, 2023). Además, esta tecnología no solo optimiza el recurso hídrico, sino que también facilita la aplicación de fertilizantes y nutrientes mediante fertirriego, contribuyendo a mejorar la productividad y calidad de los cultivos en zonas agrícolas expuestas a estrés hídrico.

- En la región de Lázaro Cárdenas, donde se desarrollan cultivos tropicales como el coco, el mango y la papaya, el diseño e implementación de un sistema de riego por goteo representa una solución innovadora frente a la problemática del desabasto de agua, la competencia intersectorial por el recurso y los efectos del cambio climático. Por ello, resulta fundamental generar evidencia científica sobre la eficiencia técnica, económica y ambiental de este tipo de sistemas en condiciones locales, con el fin de impulsar prácticas de producción más sostenibles y resilientes.

CC BY NC ND

Planteamiento del problema

En Michoacán, el municipio de Lázaro Cárdenas es el mayor productor de coco a nivel nacional con 3,364 hectáreas sembradas. El cultivo de coco promedia 2.67 hectáreas por productor. Uno de los principales problemas en la agricultura es la utilización excesiva de mano de obra y agua debido al riego manual en las parcelas, lo que conlleva al desperdicio de agua en los cultivos.
En la figura 2 muestra el consumo de agua en la agricultura es responsable del 64% del consumo total de agua, seguido por la industria y el uso doméstico.

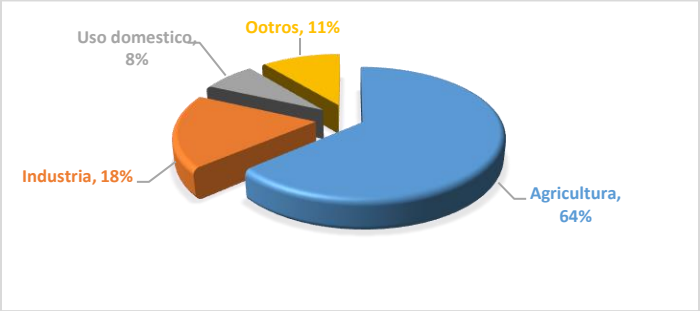


Figura 2. Distribución del uso de agua por sector

Haber (2008), indica que la periodicidad del riego para que una palma de coco sea productiva está determinada por diversos factores, tales como el clima, la naturaleza del suelo, la fase del cultivo y el sistema de riego empleado. En términos generales, en regiones de México que enfrentan una temporada de sequía considerable, se aconseja irrigar cada 7 a 10 días para mantener una humedad adecuada en el suelo sin provocar un encharcamiento, lo cual podría tener un impacto negativo en el sistema radicular. A lo largo del período de precipitaciones, la adición natural tiende a ser suficiente y el riego suplementario puede disminuir o incluso no ser requerido.

De acuerdo con CONACYT (2020) el nivel de madurez tecnológica es TRL 7: Demostración de un prototipo en un entorno espacial/real, ya que el proyecto se implementó en un cultivo bajo las condiciones reales del entorno.

Delimitación
Realizar el prototipo del sistema de riego en Buena Vista, Municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto se justifica por el desarrollo de un prototipo como un equipo de apoyo para los agricultores de la región Buena Vista, Municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero. Ante el crecimiento sostenido en la producción de coco, los productores y exportadores se enfrentan a demandas cada vez más altas y complejas, en este escenario, es crucial implementar nuevas tecnologías que no solo simplifiquen el proceso producción de coco, sino que también optimicen el uso de recursos esenciales como la mano de obra, el agua y tiempo, esto con la finalidad de aumentar los ingresos de los productores. Este cambio tendrá impactó notable en el sector agrícola al proporcionar una solución que permite un mejor uso del agua disponible, fundamentalmente para el riesgo de cultivos de coco.
La propuesta de un sistema de riego automatizado y localizado tiene un potencial de asegurar un control preciso de la cantidad de agua empleada, lo que se traduce en una disminución de costos

CC BY NC ND

laborales, mano de obra y en el uso eficiente del recurso hídrico. A través de estas innovaciones se logrará un riego uniforme lo cual es esencial para el desarrollo l desarrollo óptimo de las palmas de coco, resultando un producto de alta calidad que beneficiará al sector agrícola.

En los meses críticos de sequía —febrero, marzo, abril y mayo—, los requerimientos de agua cambian de acuerdo con la edad de la palma:

- Una palma de 1 año requiere aproximadamente 50 litros de agua diarios.
- Una palma de 2 años necesita cerca de 100 litros cada 8 días.
- Las palmas de 3 a 5 años precisan alrededor de 200 litros cada 8 días.
- En el caso de las palmas en producción, se estima un consumo de aproximadamente 500 litros cada 8 días.

Adicionalmente en la tabla 1, se observa la comparativa entre los sistemas de riego manual y automatizado, indicando la fuerte dependencia del capital humano, así como el consumo del agua.

Tabla 1. *Comparativa entre Riego Manual y Riego Automatizado*

Aspecto	Riego Manual	Riego Automatizado
Consumo de agua	Alto (poco controlado)	Bajo (control preciso)
Costo de mano de obra	Elevado (requiere personal constante)	Reducido (sistema programado)
Uniformidad del riego	Baja (depende de la habilidad del operador)	Alta (aplicación uniforme)
Control de humedad	Bajo (sin sensores de humedad)	Alto (uso de sensores de humedad)
Sostenibilidad ambiental	Limitada (desperdicio de agua frecuente)	Alta (uso eficiente del recurso)
Productividad esperada	Variable (posibles pérdidas por mal riego)	Óptima (mejor desarrollo de cultivos)

Fuente: Hernández-López, Rivas-Pérez & Feliu-Batlle (2020), Ramírez & López (2012).

Los impactos del proyecto que son tecnológico, social, económico y cultural se describen a continuación.

- Tecnológico: El prototipo incluirá tecnologías propias de la Industria 4.0, tales como la inteligencia artificial, con el objetivo de automatizar el sistema de riego. Este enfoque que permitirá a los productores mantener competitividad en un mercado que exige soluciones innovadoras y precisas en la gestión de recursos.
- Social: Desde la perspectiva, el proyecto proporcionara beneficios al sector agrícola de la región al facilitar el crecimiento de la producción y optimizar la utilización del recurso hídrico, liberando tiempo y esfuerzo que pueden dirigidos hacia otras actividades productivas.
- Económico: La automatización facilitará la reducción considerable en los costos laborales al disminuir la dependencia del riego manual, que resultará en una mayor rentabilidad para los agricultores.
- Cultural: fomentar la adopción de sistemas que ofrezcan una alternativa innovadora, que a lo largo plazo pueda consolidarse como una práctica en los procesos de riego, generará beneficios prologados para el sector agrícola.
- Ambiental: apoyar la conservación y al desarrollo sostenible del entorno al incentivar el uso responsable y eficiente de los recursos hídricos, promoviendo una cultura de ahorro y sostenibilidad.

Hipótesis

La implementación de un sistema de riego automático por goteo en los cultivos de palma de coco optimizará el uso del recurso hídrico y la eficiencia de la mano de obra, logrando una reducción significativa en los costos de producción y un incremento en la productividad agrícola. Se espera que el sistema será económicamente viable y funcional, permitiendo un suministro de agua preciso y

CC BY NC ND

sostenible que impactará positivamente en el desarrollo integral y sostenible de la región. Además, se prevé un impacto positivo en la calidad del producto final y una mejora en la sostenibilidad del proceso agrícola, al reducir el estrés hídrico y evitar el desperdicio de recursos naturales.

Estado del arte

Los estudios revisados demuestran que la tecnificación del riego es una necesidad urgente en el contexto agrícola de América Latina y el Caribe. La evidencia presentada por Delgado (2021) y Chiquito & Paguay (2020) en Ecuador, y por Hernández-López et al. (2020) en Cuba, señala que la ineficiencia de los sistemas manuales de riego genera un elevado desperdicio de agua, afectando tanto la rentabilidad económica de los productores como la sostenibilidad de los recursos hídricos. Además, la creciente demanda de agua en sectores agrícola, industrial y doméstico agrava la situación de escasez, especialmente en países en vías de desarrollo donde se destinan hasta el 70% de los recursos hídricos al riego agrícola (Hernández-López, 2020).

En el caso de México, la situación es igualmente preocupante. Ramírez (2001) y Tapia (1996) destacan la falta de tecnificación y de programas eficientes de gestión del agua en regiones estratégicas como Tierra Caliente y el Valle de Apatzingán, donde incluso se ha dejado de sembrar una parte significativa de la superficie habilitada debido al manejo inadecuado de los sistemas de riego. Por otro lado, Montes de Oca-Hernández et al. (2012) exponen que la inequidad en la distribución del agua, dependiendo de la posición aguas arriba o aguas abajo de las comunidades, agrava aún más la problemática al limitar el acceso oportuno al recurso hídrico.

En este sentido, la implementación de sistemas automatizados de riego, como los que utilizan sensores de humedad y programación inteligente, se presenta como una alternativa clave para maximizar la eficiencia en el uso del agua y mejorar la producción agrícola (Escobar & Farfán, 2018; Martínez & Hernández, 2015). Además de contribuir a la sostenibilidad ambiental, estos sistemas permiten disminuir los costos operativos, optimizar la mano de obra y mejorar la calidad de los cultivos, asegurando así una mayor competitividad en los mercados nacionales e internacionales (Ramírez & López, 2012; Jiménez & Rodríguez, 2010).

METODOLOGÍA

El riego por goteo, es un sistema presurizado donde el agua se conduce y se distribuye por conductos cerrados que requieren presión, desde el punto de vista agronómico se denominan riegos localizados porque este humedece un sector de volumen del suelo, proporcionando el recurso hídrico suficiente para el buen desarrollo del cultivo, añadiéndole que el sistema se acompaña de tecnología que facilita su utilización, con tarjetas electrónicas que le permiten al sistema programarse según las necesidades del agricultor, es decir, distribuye el agua en la ubicación, cantidad, frecuencia y horario que se desee, de esta manera el producto tiene un gran impacto en la mano de obra utilizada, debido a que es una opción cómoda y productiva para realizar el riego, ahorrando tiempo y garantizando que el cultivo se mantengan verdes y sanos.

El sistema de control de riego por goteo está compuesto por dos circuitos principales:

- El circuito eléctrico de control y fuerza.
- El circuito electrónico de control de riego automático.

El circuito eléctrico de control y fuerza, es una instalación eléctrica trifásico a 220 VAC, como se observa en la figura 3; cuenta con un interruptor termomagnético trifásico, un contactor de 50 A, un relevador de sobrecargas de 25 A, dos botones (arranque y paro) con luminarias (verde indica arranque y roja avisa falla por sobrecarga eléctrica en la bomba), que nos sirve para encender o

CC BY NC ND

apagar la bomba de manera manual, además de ofrecer protección eléctrica contra sobrecargas para la bomba de riego.

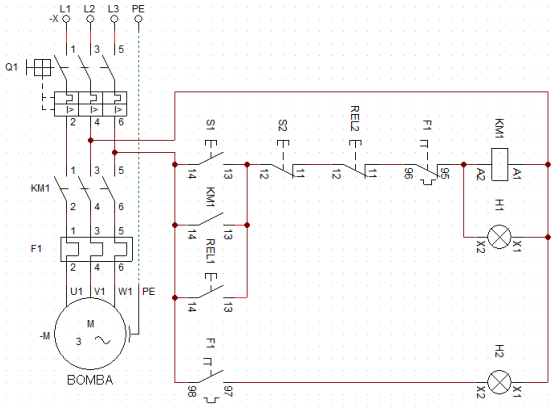


Figura 3. Diagrama eléctrico de control y fuerza, para el arranque y paro manual de la bomba.

El circuito electrónico de control de riego automático tiene como núcleo un microcontrolador de 8 bits de la compañía Microchip (PIC18F25K50), una pantalla OLED matricial de 128x64 pixeles donde muestra las instrucciones y guía al usuario en la programación de las alarmas de riego, auxiliándose de cuatro botones que nos sirven para movernos en el menú del sistema de riego automático y modificar el día, hora y duración del riego. En la figura 3 y figura 4 se muestra el circuito completo de control de riego automático.
Este sistema de control electrónico cuanta con un reloj en tiempo real RTC DS3231, y dos relevadores que se interconectan con el Circuito eléctrico de control para lograr encender o apagar la bomba de riego de manera automática cuando se cumplen las condiciones del día, hora y tiempo de riego. Este circuito fue armado en dos tarjetas de impreso y mantadas en un gabinete plástico hecho a la medida e incorporado, al circuito eléctrico de control en el tablero eléctrico.

Esta primera tarjeta contiene el microcontrolador, la pantalla OLED, cuatro botones, el led (rojo) indicador de POWER y el led (verde) indicador de Bomba encendida.

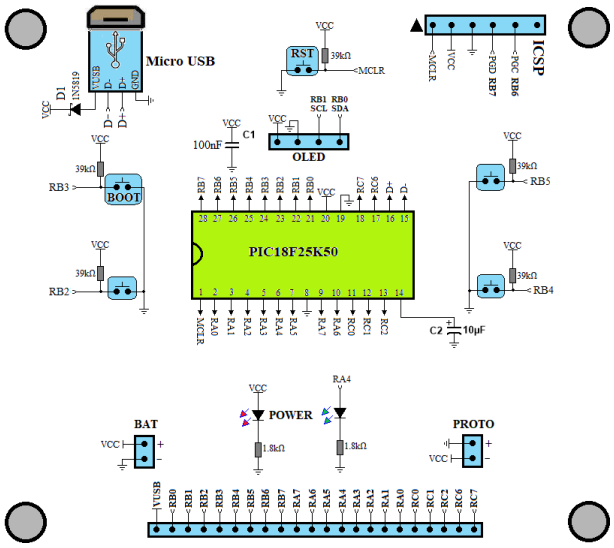


Figura 4. Diagrama de la tarjeta electrónica de control riego automático, primera tarjeta.

CC BY NC ND

La segunda tarjeta solo contiene el reloj en tiempo real RS3231 que nos proporciona la fecha (día, mes y año), el día y hora actual (hora, minutos y segundos) en que nos encontramos y dos relevadores auxiliares (START REL1 y STOP REL2) que se interconectar con el circuito eléctrico de control para encender y para la bomba mediante el sistema electrónico de control automático de riego como se observa en la figurac5.

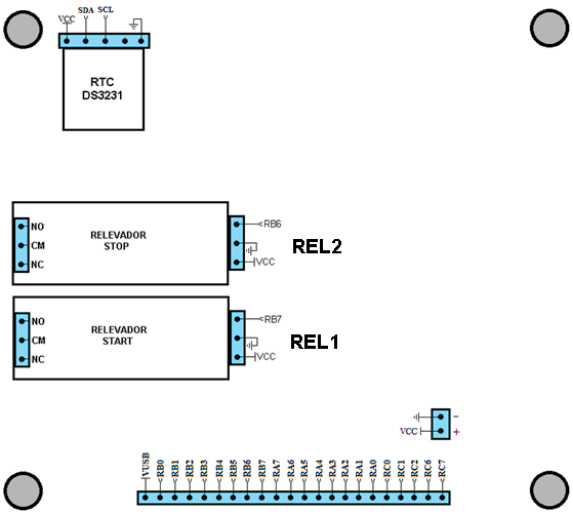


Figura 5. Diagrama esquemático de la tarjeta electrónica de control del riego automático auxiliar, segunda tarjeta.

Finalmente, la fabricación del panel electrónico de control de riego automático se muestra en la figura 6, donde podemos ver la pantalla OLED mostrando el día actual, la hora y fecha.

Figura 6. Fotografía que muestra el circuito de control electrónico automático de riego.

CC BY NC ND

El control riego terminado, montado en su gabinete impermeable y de uso rudo se puede ver en la figura 7, donde se observan los botones de arranque (verde) y de para (rojo) con luminarias que indican cuando la bomba esta encendida o entra en falla por sobrecarga.

Figura 7. Fotografía del gabinete del control de riego automático para huerto de cocos

En la figura 8 se muestra una fotografía interna del gabinete con los dos circuitos que componen el sistema de riego, el circuito eléctrico de control y fuerza trifásico y el circuito electrónico de control de riego automático.

Figura 8. Gabinete del control de riego automático para huerto de cocos.

CC BY NC ND

El sistema de riego por goteo se instaló dentro de un cuarto en la huerta de cocos, en la figura 9, se puede observar el equipo ya montado, funcionando y la bomba de riego trifásica de 220VAC de 5 HP.

Figura 9. Instalación del sistema en campo y la bomba utilizada.

En la figura 10 se muestra el diagrama de bloques del proceso del sistema de riego por goteo. Adquisición de la tarjeta electrónica Fabricación de la tarjeta electrónica Adquisición de materiales y componentes Armado de la tarjeta Medición de parcela Diseño de instalación hidráulica Pruebas de funcionalidad finales Unión de la tarjeta electrónica con el contactor Pruebas de funcionalidad a la tarjeta Diseño de instalación eléctrica Instalación del sistema de riego Pruebas de funcionalidad del sistema de riego

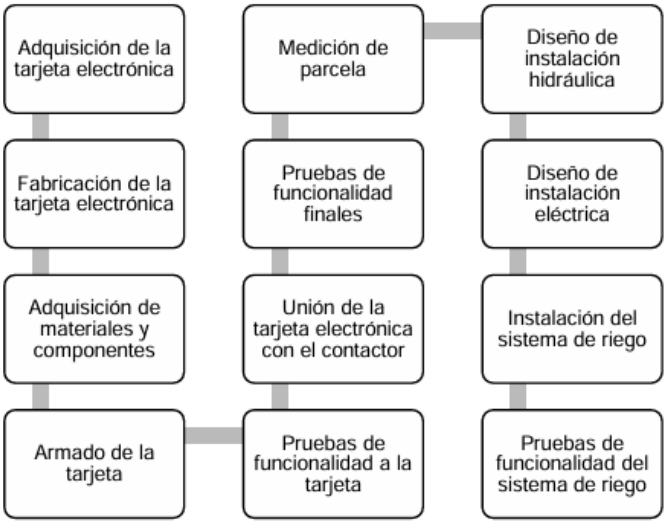


Figura 10. Diagrama de bloques del proceso de sistema de riego.

1. Adquisición de la tarjeta electrónica: Se realiza la compra al distribuidor de la tarjeta electrónica.
2. Fabricación de la tarjeta electrónica: El técnico fabrica la tarjeta que servirá para automatizar el sistema, la elaboración de la tarjeta consta de 1.5 horas, en este caso se fabricaran dos tarjetas, una para el motor de la bomba y otra que hará la función del control remoto.

3. Adquisición de materiales y componentes: Se realiza la compra al distribuidor de los materiales y componentes necesarios para el armado de la tarjeta electrónica.
4. Armado de la tarjeta: El técnico realiza el armado de la tarjeta, donde conecta la tarjeta electrónica con los materiales y componentes.
5. Pruebas de funcionalidad a la tarjeta: El técnico realiza diversas pruebas para comprobar la eficiencia y funcionalidad de la tarjeta.
6. Unión de la tarjeta electrónica con el contactor: Una vez lista la tarjeta electrónica, el técnico une la tarjeta con el contactor para terminar su proceso de fabricación de la tarjeta.
7. 7. Pruebas de funcionalidad finales: El técnico realiza las pruebas finales para comprobar la perfecta funcionalidad de la tarjeta electrónica.
8. Medición de parcela: Se mide la parcela a trabajar, tomando en cuenta la separación de las palmas que consta de 10 metros y la distancia de la noria a la huerta que son 8 metros; de esta manera se toma en cuenta el material que se debe utilizar en los diseños siguientes.
9. Diseño de instalación hidráulica: Se realiza el diseño hidráulico de todas las tuberías, filtros y demás materiales necesarios, considerando las necesidades del agricultor, tomando en cuenta las medidas previamente establecidas de la parcela.
10. Diseño de instalación eléctrica: Se realiza el diseño eléctrico para la instalación de la tarjeta que automatiza el sistema y la caja de seguridad.
11. Instalación del sistema de riego: Se instala el sistema de riego automático por goteo, agregando la primera tarjeta electrónica a la bomba, posteriormente se instala la caja de seguridad eléctrica con la segunda tarjeta electrónica, de esta manera se cumple con los requerimientos de riego del agricultor.
12. Pruebas de funcionalidad del sistema de riego: el técnico realiza las pruebas finales al sistema de riego para comprobar que cumpla con su función y con los requerimientos del agricultor.

En la figura 11 se muestra el plano de la huerta de coco con la respectiva distribución hidráulica en una hectárea de terreno, donde hay una noria que suministra el agua mediante una bomba trifásica de 5 hp, con instalación hidráulica que consta de una tubería principal y mangueras secundarias que distribuyen el agua a las palmas, cada palma tiene una distancia de 10 metros entre cada una de ellas.

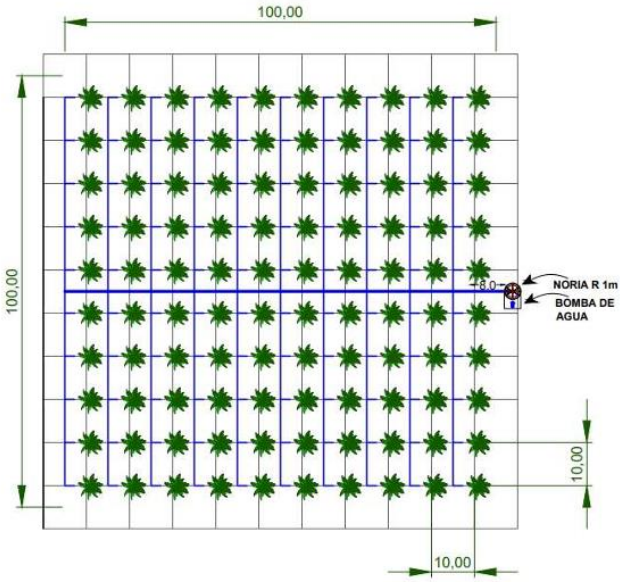


Figura 11. Plano de huerta de coco.

CC BY NC ND

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La implementación del sistema electrónico automático permitió programar y controlar el riego de manera precisa, ajustando la frecuencia y duración en función de las condiciones ambientales y las necesidades del cultivo. Esto resultó en una reducción significativa del consumo de agua entre un 30% y un 50% en comparación con métodos tradicionales y disminuyó la dependencia de la intervención manual, liberando recursos humanos para otras tareas. Además, la integración de la tarjeta electrónica con microcontrolador y reloj en tiempo real mejoró la seguridad y confiabilidad del sistema, al incluir protecciones contra sobrecargas y facilitar un monitoreo en tiempo real, lo que posiciona esta solución como un avance clave hacia una producción agrícola más sostenible y eficiente.

El abastecimiento de manera manual ocupaba dos personas y tardaba de 4 a 5 Horas, y se abastecían 50 litros por palma, con la implementación del sistema de riego por goteo es de 30 a 35 litros por palma en un tiempo de 30 minutos.

De acuerdo con la tabla 2, el análisis comparativo del sistema manual con el sistema de riego por goteo, se observa una disminución en tiempo riego y abastecimiento de agua.

Tabla 2. ***Análisis comparativo de eficiencia de riego manual con riego por goteo***

Aspecto	Riego Manual	Riego por Goteo
Eficiencia hídrica	60–70%	90–95%
Pérdidas por evaporación	Altas	Muy bajas
Pérdidas por escurrimiento	Frecuentes	Mínimas
Ahorro estimado de agua	No hay	Hasta 50% menos consumo
Frecuencia de riego	Variable, menos controlada	Precisa y programable
Impacto en malezas	Mayor humedad superficial	Menor desarrollo de malezas
Requerimiento de mano de obra	Alto	Bajo (una vez instalado)
Costo inicial	Alto (por la mano de obra)	Medio–alto (pero con retorno a mediano plazo)

En la figura 12, se observa la relación del tiempo y el volumen de agua suministrado a tres diferentes velocidades con las que cuenta el sistema por goteo automatizado. A menor velocidad de riego se mejora la eficiencia del consumo de agua, pero se incrementa el tiempo de riego, lo que resulta un gasto mayor de energía eléctrica. La recomendación es manejar una velocidad media de 2.0 m/s.

CC BY NC ND

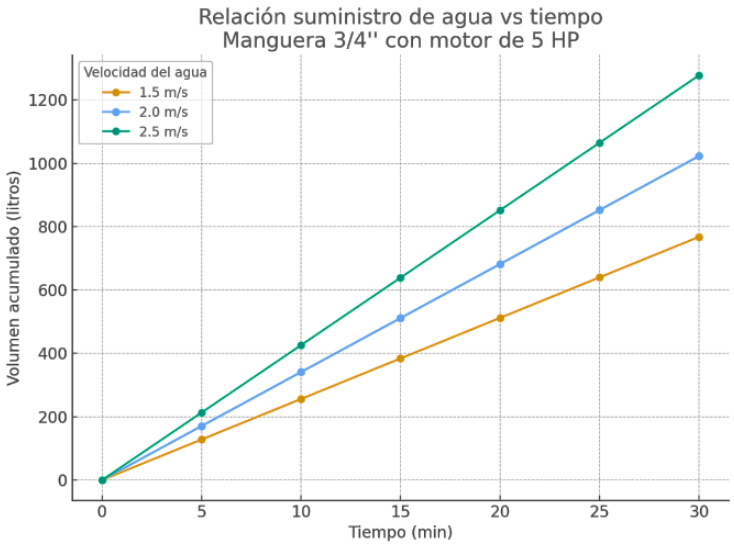


Figura 12. Relación tiempo y volumen a tres velocidades.

El sistema por goteo permite aplicar agua directamente en la zona radicular, lo que mejora la absorción y reduce el estrés hídrico. Dado que en climas tropicales como el de Lázaro Cárdenas y Guerrero, donde la evaporación es alta, el goteo es especialmente ventajoso.

Impactos Esperados:

- **Optimización de Recursos Hídricos:** Se prevé una reducción significativa en el consumo de agua (entre un 30% y 50% en comparación con sistemas convencionales).
- **Reducción de la Mano de Obra:** La automatización disminuirá la dependencia de intervenciones manuales en el riego, permitiendo que el personal se enfoque en otras tareas críticas del cultivo.
  Mejora en la Productividad y Calidad del Coco: Un riego preciso y controlado favorece el desarrollo radicular y, por ende, incrementa la productividad y calidad de los frutos.

Sostenibilidad Ambiental: El uso racional del agua y la reducción en el uso de insumos derivados de prácticas ineficientes contribuirán a una producción más amigable con el medio ambiente.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En conclusión, este proyecto ha demostrado ser una iniciativa innovadora para modernizar la producción de coco en México, al integrar tecnología avanzada con prácticas agronómicas optimizadas. La implementación del sistema de riego por goteo automatizado ha permitido mejorar la eficiencia, en tiempo de riego de 87.5% (210 minutos), en el uso del recurso hídrico se ahorra por palma de 15 a 20 litros, en las 100 palmas se ahorró total es de 1500 y 2000 litros. Además, se reduce significativamente un 50% la dependencia de mano de obra y en consecuencia, se incrementa la rentabilidad de los cultivos. Asentando las bases para una producción sostenible a largo plazo, que no solo responde a las necesidades actuales del sector agrícola, sino que también promueve el desarrollo de prácticas más responsables y eficientes en el manejo de recursos.

REFERENCIAS

Chiquito, G. R. & Paguay, T. C. A. (2020). *Diseño de un prototipo de sistema de riego automatizado mediante una red de sensores que mida la humedad del suelo en los campos agrícolas y permita controlar el consumo de agua" (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones).*

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2023). *Manual técnico de sistemas de riego sostenible. Centro Internacional de Agricultura Tropical.*

Delgado, B. J. (2021). *Estudio de un sistema de riego automatizado para mejorar la producción agrícola en la hacienda "las cabezas" del cantón Flavio Alfaro* [Tesis licenciatura]. Universidad Estatal de Sur de Manabí (UNESUM). http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3392/1/PROYECTO%20DE%20TITULACI%C3%93N_DARIO%20DELGADO%20BRAVO%20Listo.pdf

Escobar, M. C. & Farfán, O. K. (2018). *Diseño de un sistema de riego para la implementación de cultivos automatizados en el recinto playa seca del cantón el triunfo.* [Tesis pregrado]. Universidad de Guayaquil.

Haber, F. (2008). *Técnicas y herramientas para el monitoreo de la humedad del suelo*. Editorial Agropecuaria.

Hernández-López, Y., Rivas-Pérez, R., & Feliu-Batlle, V. (2020). Control automático de la distribución de agua en sistemas de riego: revisión y retos. Ingeniería. *Electrónica, Automática y Comunicaciones, 41*(2), 80-97.

Martínez, L. & Hernández, S. (2015). Manejo agronómico y prácticas culturales en la producción de coco. *Revista de Agricultura Tropical*, *6*(2), 30-45.

Hernández-López, E., Rivas-Pérez, J., & Feliu-Batlle, V. (2020). Eficiencia de los sistemas de riego en países en desarrollo: un análisis para Cuba. La Habana, Cuba.

Jiménez, J. & Rodríguez, P. (2010). Estrategias de riego para el cultivo de palma de coco en zonas semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1*(2), 67-75.

Ramírez, A. & López, M. (2012). Evaluación de la productividad y manejo agronómico de palma de coco en México. *Revista de Agricultura Tropical, 5*(1), 45-60.

Ramírez, M. & López, F. (2012). *Riego eficiente y sustentabilidad hídrica en la agricultura mexicana*. Editorial Agroproductiva

SAGARPA. (2024). Informe anual de producción agrícola: Producción de coco por estado. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México https://www.gob.mx/sagarpa

SAGARPA. (2024). *Informe anual de producción agrícola 2024*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de https://www.gob.mx/sagarpa

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Estadísticas de producción agrícola en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.gob.mx/siap

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

Successful implementation of lean manufacturing and circular economy: what every company should consider

María Blanca Becerra Rodríguez [1]
Arturo Hernández Hernández [2]
Roberto Zitzumbo Guzmán [3]
Wendy Maldonado González [4]
Cornelio Morales Morales [5]

RESUMEN

En este estudio se desarrolló en una investigación documental, descriptiva y de campo, aplicando encuestas diseñadas a partir de los factores críticos identificados en la literatura para la implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular. La muestra incluyó 40 empresas localizadas en cuatro parques industriales del estado de Querétaro, parte de los 49 existentes en municipios como El Marqués, Querétaro, Colón, Corregidora, San Juan del Río y Pedro Escobedo, pertenecientes a sectores clave como automotriz, plástico, alimentario, agrícola, entre otros.

Los hallazgos evidencian un marcado interés empresarial en incorporar estas metodologías y transitar hacia modelos operativos sostenibles. Sin embargo, persisten barreras relevantes asociadas con la cultura organizacional, la resistencia al cambio y las limitaciones en programas de formación. La integración de Lean Manufacturing y Economía Circular se perfila como una estrategia esencial para fortalecer la competitividad, optimizar procesos y reducir los impactos ambientales en la región, aportando un marco de referencia sólido para la gestión industrial con más de dos décadas de experiencia aplicada.

PALABRAS CLAVES: Economía Circular, Manufactura, Lean.

Fecha de recepción: 03 de julio, 2025.

Fecha de aceptación: 15 de septiembre, 2025.

[1] Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/IT de Querétaro (ITQ); maria.br@queretaro.tecnm.mx; https://orcid.org/0000-0003-2463-8757
[2] Profesor-Investigador de la Universidad Politécnica de Querétaro (UPQ); arturo.hernandez@upq.mx; https://orcid.org/0000-0001-7636-6488
[3] Investigador de Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC); rzitzumb@ciatec.mx; https://orcid.org/0000-0002-4124-8825
[4] Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/IT de Querétaro (ITQ); wendy.mg@queretaro.tecnm.mx; https://orcid.org/0009-0001-4558-8480
[5] Profesor-Investigador Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR); cornelio.mm@sjuanrio.tecnm.mx; https://orcid.org/0000-0002-3470-4626

ABSTRACT

In this study, a documentary, descriptive, and field investigation was carried out, applying surveys designed based on the critical factors identified in the literature for the implementation of Lean Manufacturing and Circular Economy. The sample included 40 companies located in four industrial parks in the state of Querétaro, part of the 49 existing in municipalities such as El Marqués, Querétaro, Colón, Corregidora, San Juan del Río, and Pedro Escobedo, belonging to key sectors such as automotive, plastics, food, agriculture, among others.

The findings reveal a strong business interest in adopting these methodologies and moving toward sustainable operational models. However, significant barriers remain, particularly those related to organizational culture, resistance to change, and limitations in training programs. The integration of Lean Manufacturing and Circular Economy emerges as an essential strategy to strengthen competitiveness, optimize processes, and reduce environmental impacts in the region, providing a solid reference framework for industrial management supported by more than two decades of applied experience.

KEYWORDS: Circular Economy, Manufacturing, Lean.

INTRODUCCIÓN

En un escenario industrial caracterizado por alta competitividad y demandas crecientes de sostenibilidad, las organizaciones enfrentan el reto de optimizar sus procesos productivos mientras adoptan prácticas responsables con el entorno (Parlamento Europeo, 2023). En este contexto, metodologías como Lean Manufacturing y la Economía Circular han cobrado especial relevancia, al impulsar la eficiencia, la reducción de desperdicios y la mejora continua, aunque desde enfoques distintos y complementarios (Rojas & Soler, 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2020).

El Lean Manufacturing, originado en el sistema de producción de Toyota, se centra en eliminar actividades que no generan valor, optimizar recursos y perfeccionar procesos de manera sistemática (Womack & Jones, 2003). Su implementación favorece la productividad, disminuye costos, reduce inventarios y mejora la calidad, generando beneficios tanto para la organización como para sus colaboradores y clientes (Socconini, 2019).

Por su parte, la Economía Circular propone un modelo de producción y consumo orientado a mantener el valor de productos, materiales y recursos dentro del ciclo económico el mayor tiempo posible. A diferencia del esquema lineal tradicional de “producir–usar–desechar”, fomenta la reutilización, el reciclaje, la reparación y la regeneración, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental y promoviendo economías locales resilientes (Belda, 2018; Repsol, 2024).

Ambas metodologías comparten principios esenciales como la eficiencia de recursos, la reducción de desperdicios y la mejora continua, lo que posibilita su integración como estrategia conjunta para incrementar el desempeño operativo y ambiental en las empresas (de Miguel et al., 2021).

Este estudio tiene como propósito analizar los factores críticos que inciden en la implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular en compañías ubicadas en parques industriales del estado de Querétaro. A través de una investigación basada en encuestas, se busca identificar desafíos,

CC BY NC ND

oportunidades y condiciones que determinan el nivel de adopción de estas metodologías en distintos sectores productivos de la región.

La identificación de dichos factores permitirá no solo plantear propuestas de mejora para las organizaciones participantes, sino también contribuir al diseño de estrategias efectivas que aceleren la transición hacia un modelo productivo más competitivo, eficiente y sostenible, con respaldo de más de dos décadas de experiencia aplicada (Production Tools, 2024).

JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales motivos para avanzar hacia un modelo de Economía Circular es la creciente presión sobre los recursos naturales. Varias materias primas críticas son finitas y, conforme aumenta la población mundial, también lo hace la demanda de insumos estratégicos. Ante este panorama, el diseño de productos reutilizables, la remanufactura y el reciclaje de materiales se convierten en alternativas esenciales para prolongar el ciclo de vida de los productos y reducir los residuos generados. Al mismo tiempo, este enfoque impulsa la innovación en el diseño, la manufactura y los modelos de negocio, generando mejoras sustanciales en eficiencia, productividad y competitividad (Parlamento Europeo, 2023).

En paralelo, las organizaciones enfrentan la necesidad de incrementar su eficiencia operativa y responder a exigencias ambientales cada vez más estrictas. En este contexto, Lean Manufacturing y la Economía Circular surgen como metodologías complementarias que permiten integrar la optimización de recursos con la sostenibilidad. Mientras Lean Manufacturing se orienta a eliminar actividades que no generan valor, fortalecer la mejora continua y perfeccionar procesos productivos, la Economía Circular propone abandonar el paradigma lineal de “extraer–producir–desechar” para mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, regenerar materiales y minimizar impactos negativos.

La implementación conjunta de estas metodologías representa una estrategia sólida para incrementar el desempeño económico, ambiental y social de las empresas. Su integración favorece la reducción de desperdicios desde la etapa de diseño, promueve la reutilización y el reciclaje, y convierte los residuos en nuevas oportunidades de valor agregado, consolidando un enfoque sinérgico que trasciende la mera eficiencia operativa.

En el caso del estado de Querétaro, caracterizado por un marcado dinamismo industrial y un ecosistema empresarial en constante transformación, la aplicación de estas metodologías adquiere una relevancia estratégica. Las compañías locales enfrentan desafíos como el incremento en los costos de insumos, el cumplimiento de regulaciones ambientales y la necesidad de adaptarse a consumidores cada vez más conscientes. Comprender los factores que impulsan o limitan la adopción de Lean Manufacturing y Economía Circular en este entorno resulta clave para formular estrategias de implementación viables y sostenibles.

Esta investigación busca ofrecer evidencia empírica y análisis contextual que orienten tanto a las empresas como a las instituciones en la construcción de modelos de producción más eficientes, responsables y resilientes, respaldados por más de dos décadas de experiencia en el estudio y aplicación de metodologías de mejora industrial y sostenibilidad.

CC BY NC ND

METODOLOGÍA

Uno de los principales impulsores para transitar hacia un modelo de Economía Circular es la creciente presión sobre los recursos naturales. Diversas materias primas críticas son limitadas y, a medida que la población mundial se expande, también aumenta la demanda de insumos estratégicos. Ante este escenario, el diseño de productos reutilizables, la remanufactura y el reciclaje de materiales se convierten en alternativas indispensables para extender la vida útil de los bienes y reducir la generación de desechos. Paralelamente, este enfoque fomenta la innovación en el diseño, los procesos de manufactura y los modelos de negocio, lo que se traduce en mejoras significativas en eficiencia, productividad y competitividad (Parlamento Europeo, 2023).

Simultáneamente, las organizaciones enfrentan el reto de optimizar su desempeño operativo mientras atienden crecientes exigencias ambientales. En este contexto, Lean Manufacturing y la Economía Circular emergen como metodologías complementarias que permiten articular la eficiencia de recursos con la sostenibilidad. Lean Manufacturing se orienta a eliminar actividades que no generan valor, fortalecer la mejora continua y perfeccionar procesos productivos; mientras que la Economía Circular rompe con el esquema lineal de “extraer–producir–desechar”, promoviendo mantener los recursos en uso durante más tiempo, regenerar materiales y disminuir los impactos negativos.

La integración de ambas metodologías constituye una estrategia robusta para potenciar el desempeño económico, ambiental y social de las empresas. Este enfoque sinérgico no solo reduce desperdicios desde la fase de diseño, sino que impulsa la reutilización, el reciclaje y la transformación de residuos en nuevas oportunidades de valor, superando los límites de la mera eficiencia operativa.

En el estado de Querétaro, caracterizado por su dinamismo industrial y un entorno empresarial en constante evolución, la aplicación de estas metodologías resulta particularmente estratégica. Las compañías locales enfrentan retos como el aumento en los costos de insumos, el cumplimiento de normativas ambientales más estrictas y la necesidad de responder a patrones de consumo responsables. Identificar los factores que facilitan o dificultan la adopción de Lean Manufacturing y Economía Circular en este contexto es esencial para diseñar estrategias de implementación viables, adaptables y sostenibles.

Con esta investigación se pretende aportar evidencia empírica y un análisis contextual que orienten tanto a las empresas como a las instituciones en la construcción de modelos productivos más eficientes, sostenibles y resilientes, sustentados en más de dos décadas de experiencia en la aplicación de metodologías de mejora industrial y gestión ambiental (Kim et al., 2023).

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El presente estudio se realizó en cuatro parques industriales ubicados en el estado de Querétaro, México, donde operan empresas de sectores clave como el automotriz, plástico, alimentario y agrícola. Estas organizaciones constituyen un escenario propicio para examinar la aplicación de metodologías como Lean Manufacturing y Economía Circular, dado su dinamismo productivo, alto nivel de competitividad y los retos ambientales que enfrentan actualmente.

Para sustentar el análisis, se revisaron y sistematizaron diversas fuentes, entre ellas bibliografía especializada, artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso que documentan la implementación de estas metodologías en distintos contextos. Esta fase permitió identificar una serie de factores críticos de éxito (FCE) recurrentes en la literatura, entre los que destacan:

- Liderazgo y compromiso de la alta dirección.
- Cultura organizacional orientada a la mejora continua.
- Formación y capacitación del personal.

CC BY NC ND

- Disponibilidad de infraestructura y recursos tecnológicos.
- Alineación con normativas y políticas ambientales.

Caracterización de sectores y empresas (Investigación Descriptiva)

Con base en encuestas aplicadas a 40 organizaciones, se registraron variables relacionadas con:

- Tamaño y giro industrial.
- Nivel de conocimiento y grado de aplicación de Lean Manufacturing y Economía Circular.
- Principales obstáculos percibidos en la implementación.
- Prácticas vigentes vinculadas con eficiencia operativa y sostenibilidad.

Este análisis permitió comprender la diversidad de entornos y requerimientos presentes en la muestra, así como reconocer patrones comunes entre los distintos sectores productivos evaluados.

Aplicación del instrumento (Investigación de Campo)

Se diseñó y aplicó un cuestionario estructurado orientado a los FCE previamente identificados (Kim et al., 2023). El levantamiento de información se dirigió a responsables de procesos, gerentes de producción, coordinadores de sostenibilidad y otros perfiles estratégicos dentro de las empresas participantes. Los resultados muestran que, aunque existe un interés considerable por incorporar estas metodologías, persisten barreras significativas, entre las que se destacan:

- Escaso conocimiento técnico sobre Lean Manufacturing y Economía Circular.
- Resistencia al cambio por parte del personal.
- Limitado respaldo institucional o gubernamental.
- Débil integración entre los objetivos de eficiencia operativa y sostenibilidad.

Este diagnóstico evidencia que la transición hacia modelos productivos más eficientes y responsables requiere no solo herramientas metodológicas, sino también estrategias de acompañamiento, fortalecimiento de competencias y apoyo institucional que garanticen su implementación efectiva.

RESULTADOS

Los hallazgos de esta investigación constituyen un referente relevante para el sector industrial del estado de Querétaro, al ofrecer una visión detallada sobre las prácticas actuales y los principales retos que enfrentan las empresas en la transición hacia modelos de producción más eficientes y sostenibles.

El estudio se desarrolló en 40 empresas ubicadas en cuatro parques industriales de la región Figura 1.

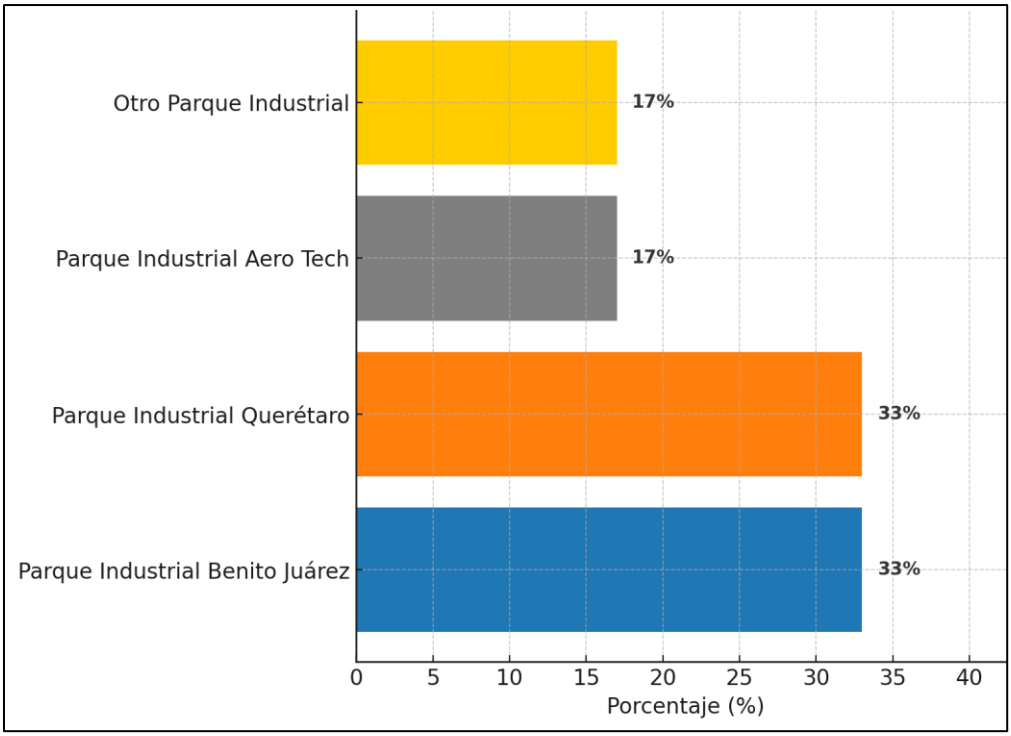


Figura 1. Distribución de Empresas por Parque Industrial

Dentro de la muestra, el sector automotriz resultó ser el más representativo, con un 42% de participación, lo que confirma su peso estratégico en la economía local y su potencial como eje para la implementación de metodologías orientadas a la eficiencia operativa Figura 2.

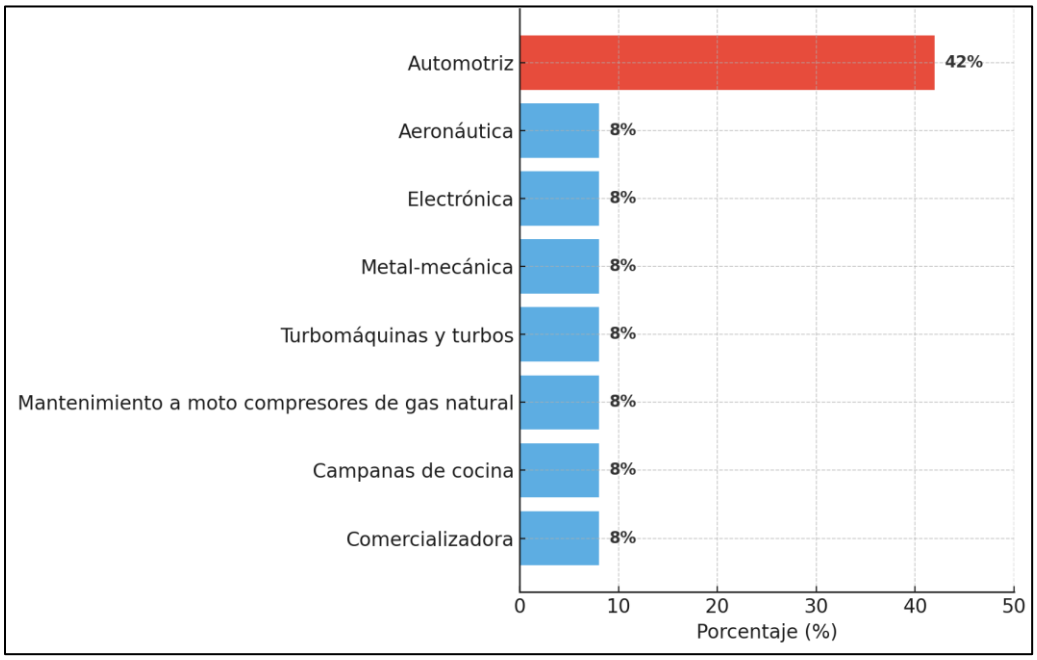


Figura 2. Distribución de Empresas por Sector Industrial

En cuanto al grado de adopción de metodologías, se observó que el 67% de las organizaciones encuestadas han implementado alguna herramienta asociada a Lean Manufacturing, lo cual refleja una tendencia favorable hacia la optimización de procesos y la mejora continua Figura 3.

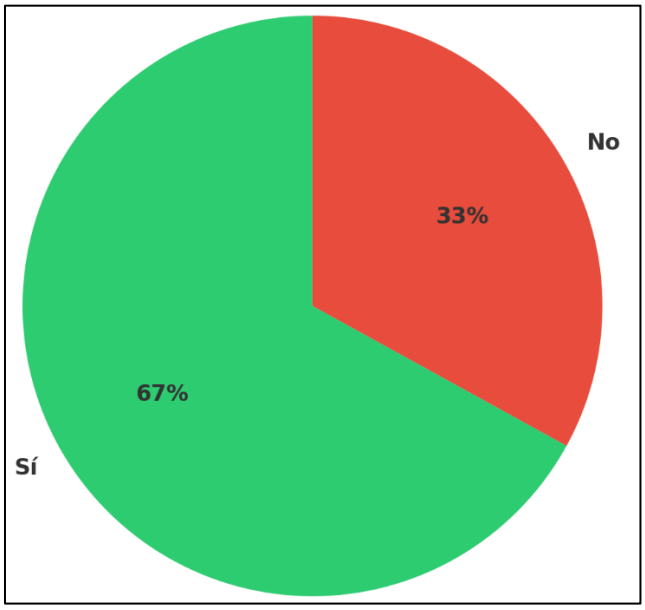


Figura 3. Implementación de Economía Circular en la Empresa

En contraste, únicamente el 33% reportó aplicar prácticas vinculadas con la Economía Circular, evidenciando una menor difusión de este enfoque en comparación con Lean Manufacturing y la necesidad de fortalecer la capacitación, los incentivos y el apoyo institucional que promuevan su integración Figura 4.

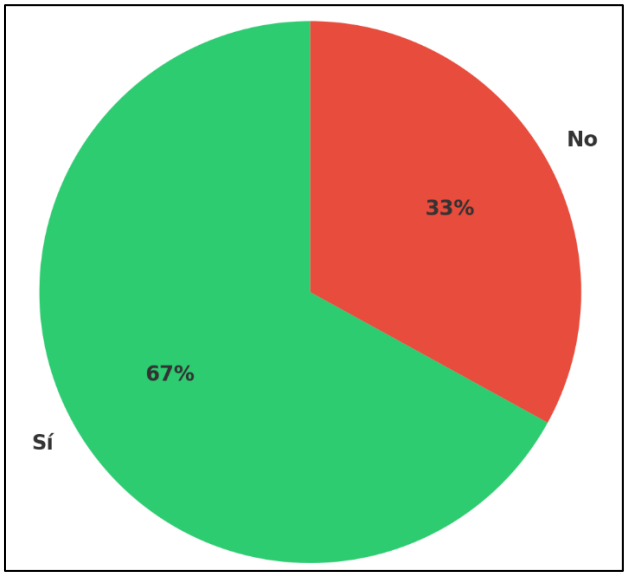


Figura 4. Nivel de implementación de Economía Circular

El análisis también permitió identificar los factores críticos de éxito que condicionan la adopción de ambas metodologías. Entre los más destacados se encuentran: la cultura organizacional 13%, la falta de compromiso de la alta dirección 9%, la resistencia al cambio y las limitaciones en los sistemas logísticos 7% cada uno Figura 5. Estos resultados ponen de manifiesto la relevancia de los aspectos humanos y estructurales en el proceso de transformación empresarial.

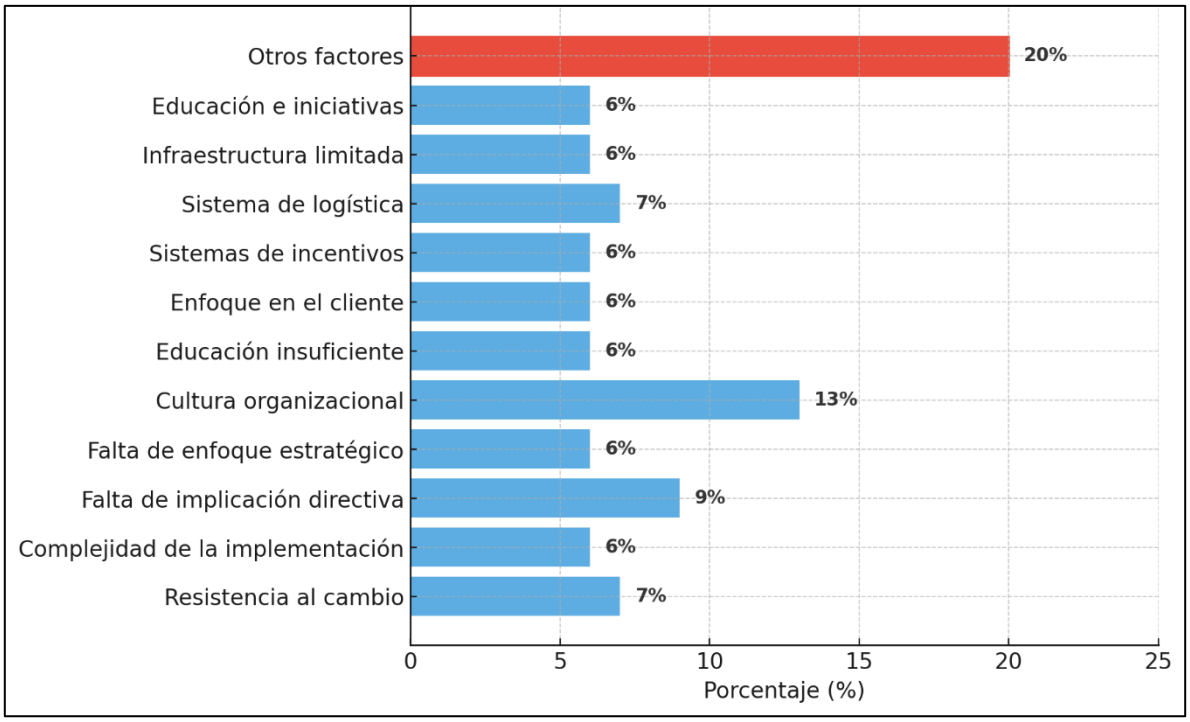


Figura 5. Factores Críticos que Afectan la Implementación

Los resultados muestran que la cultura organizacional 13%, se mantiene como la principal barrera individual en la implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular. Sin embargo, al consolidar factores con menor peso relativo, el grupo denominado “Otros factores” alcanza el 20%, lo que evidencia que múltiples aspectos dispersos también representan un desafío relevante. En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de estrategias integrales que fortalezcan la cultura organizacional y, al mismo tiempo, atiendan limitaciones técnicas, estructurales y de gestión que dificultan la transición hacia modelos productivos más eficientes y sostenibles.

Correlación entre el tamaño de la empresa y el nivel de implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular

En el análisis de las empresas participantes en parques industriales del estado de Querétaro permitió identificar tanto las prácticas vigentes como los principales retos para avanzar hacia modelos de producción más sostenibles y eficientes.

La muestra incluyó 40 empresas de distintos sectores, con una participación predominante del sector automotriz 42%, lo que confirma su papel estratégico en la región. Respecto al grado de adopción de metodologías, se observó que el 67% de las organizaciones ha implementado herramientas asociadas a Lean Manufacturing, mientras que solo el 33% aplica prácticas vinculadas con la Economía Circular, lo que evidencia una menor difusión de este enfoque en comparación con Lean.

CC BY NC ND

En cuanto a los factores críticos de éxito, se identificó a la cultura organizacional 13%, como la principal barrera, seguida de la falta de compromiso de la alta dirección 9% y la resistencia al cambio 7%. Asimismo, se señalaron limitaciones en los sistemas logísticos y en la formación del personal, lo que confirma que la dimensión humana y estructural resulta decisiva para la adopción de nuevas metodologías.

Cruce de datos: tamaño de la empresa y nivel de implementación

Al analizar la relación entre el tamaño de la empresa y el nivel de implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular, se identificó una correlación positiva. Las grandes compañías tienden a contar con mayores recursos financieros, tecnológicos y humanos, lo que facilita la adopción de ambas metodologías. En contraste, las pequeñas y medianas empresas (PyMES) presentan niveles de implementación más bajos, principalmente por limitaciones en infraestructura, capacitación y apoyo institucional.

Este hallazgo confirma la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas: mientras que en grandes empresas se debe reforzar la integración estratégica y la innovación, en las PyMES es fundamental promover programas de capacitación, incentivos y alianzas que reduzcan la brecha en la adopción, Figura 6.

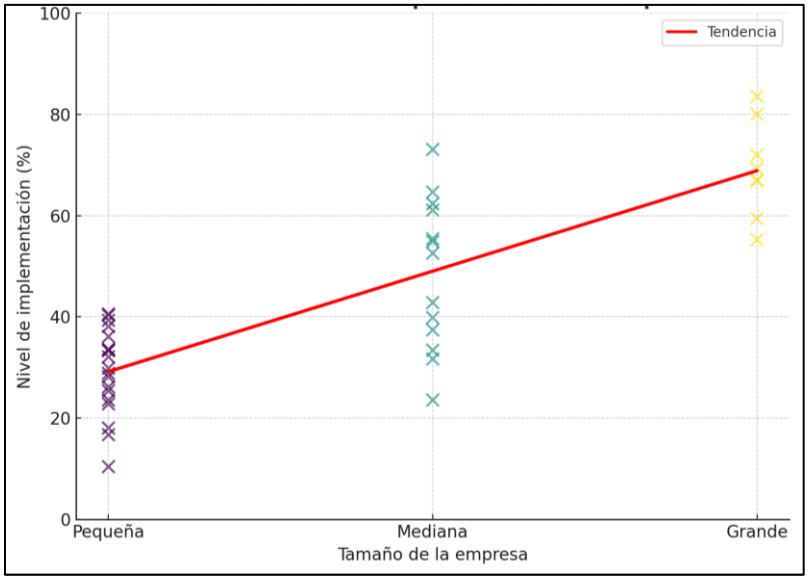


Figura 6. Tamaño de empresa vs. Nivel de implementación

La figura 6 muestra la relación entre el tamaño de la empresa y el nivel de implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular. Se observa una correlación positiva: las grandes empresas presentan mayores niveles de implementación debido a su capacidad financiera, tecnológica y organizacional, mientras que las pequeñas y medianas presentan rezagos significativos. La línea roja representa la tendencia general identificada en el análisis.

Análisis de Retorno de Inversión (ROI) e Impacto Económico

La implementación de metodologías vinculadas con Lean Manufacturing y Economía Circular genera beneficios tangibles tanto en la reducción de costos como en la apertura de mercados. Estudios previos reportan ahorros operativos del 10 % al 30 % derivados de la disminución de desperdicios, optimización energética y valorización de residuos (Gupta et al., 2018; Črešnar et al., 2024).

CC BY NC ND

En el contexto de los parques industriales de Querétaro, una estimación conservadora plantea que, con una reducción del 15 % en costos operativos anuales, la inversión inicial en capacitación, rediseño de procesos y certificaciones podría recuperarse en un periodo de 1 a 2 años. Bajo este escenario, el ROI proyectado alcanza entre 120 % y 180 % en los primeros tres años, lo que significa que, por cada peso invertido, se obtienen entre 2.2 y 2.8 pesos en ahorros y beneficios económicos directos como se muestra en la Tabla 1.

Adicionalmente, el acceso a cadenas de suministro globales, especialmente en el sector automotriz y de exportación, representa un impacto económico indirecto. La adopción de estándares de sostenibilidad incrementa la posibilidad de contratos con empresas internacionales que exigen prácticas de bajo impacto ambiental, generando un efecto multiplicador en competitividad regional (Marras et al., 2022; Ochi et al., 2023).

Tabla 1. ROI resumido

Concepto	Inversión inicial estimada	Beneficios esperados	ROI a 3 años
Capacitación y rediseño de procesos	$100,000 MXN	Reducción de costos operativos (15 % anual ≈ $150,000 MXN)	150 %
Certificaciones en sostenibilidad	$80,000 MXN	Acceso a nuevos contratos (+$180,000 MXN)	125 %
Valorización de residuos (circularidad)	$50,000 MXN	Ingresos por subproductos reciclados (+$120,000 MXN)	140 %

ROI global proyectado: 120 % – 180 % en 3 años

Se observa cómo la inversión inicial (–100 mil MXN) se recupera alrededor del año 2, momento en que los ahorros acumulados superan la inversión, marcando el punto de retorno de inversión en la Figura 7.

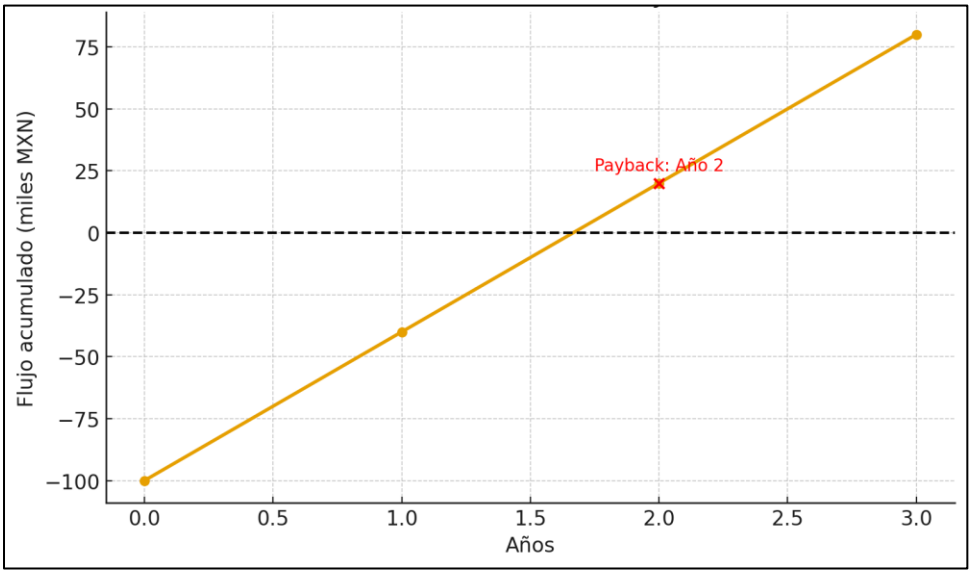


Figura 7. Curva de Retorno de Inversión

CC BY NC ND

En conjunto, los resultados permiten dimensionar el panorama actual de las empresas queretanas y constituyen una base sólida para diseñar estrategias orientadas a fortalecer la competitividad, impulsar la innovación y avanzar hacia modelos de producción más sostenibles y resilientes, en concordancia con los desafíos de la industria contemporánea.

DISCUSIONES

El análisis de las empresas ubicadas en los parques industriales de Querétaro permitió identificar avances y limitaciones en la adopción de Lean Manufacturing y Economía Circular, en concordancia con investigaciones recientes en diferentes contextos internacionales (Abenojar et al., 2021; Marras et al., 2022).

En primer lugar, se observa que el 67% de las organizaciones han implementado prácticas vinculadas con sostenibilidad circular, mientras que el 33% permanece en esquemas tradicionales. Estos resultados coinciden con lo documentado por (Gupta et al., 2018), quienes señalan una adopción incipiente de modelos circulares en economías emergentes, particularmente en pequeñas y medianas empresas. Sin embargo, difieren de lo encontrado por (Ochi et al., 2023) en Japón, donde la adopción de la Economía Circular supera el 80%, impulsada por regulaciones estrictas y programas de apoyo gubernamental. Esta comparación evidencia la necesidad de políticas públicas e incentivos fiscales que aceleren la transición en México, especialmente en las PyMES.

La concentración del 42% de la muestra en el sector automotriz confirma su rol estratégico en la economía regional, en línea con lo planteado por (Kawano et al., 2023), quienes destacan a esta industria como pionera en prácticas de eficiencia energética y reducción de residuos. No obstante, a diferencia de los estudios europeos de (Črešnar et al., 2024), donde la cadena automotriz ha alcanzado altos niveles de circularidad, en Querétaro persisten desafíos relacionados con innovación de materiales, gestión de proveedores y reciclaje postindustrial.

En cuanto a los factores críticos, la cultura organizacional 13% se erige como la principal barrera, seguida de la falta de compromiso directivo y la resistencia al cambio. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Ahmed et al., 2013) y (Awad et al., 2019), quienes concluyen que la gestión del cambio, el liderazgo y la capacitación continua son determinantes en la implementación. Sin embargo, en contraste con lo expuesto por Kim et al. (2023), que identificaron la infraestructura tecnológica como la mayor limitante en Corea del Sur, en el contexto queretano el factor humano y organizacional predomina sobre las barreras técnicas.

Finalmente, el agrupamiento de “Otros factores” 20% revela que diversas barreras secundarias — desde la logística hasta la falta de incentivos generan un impacto acumulado que no debe subestimarse. Este hallazgo concuerda con lo expuesto por (Oluleye et al., 2022), quienes subrayan la necesidad de integrar dimensiones técnicas, regulatorias y culturales para consolidar la sostenibilidad empresarial.

En conjunto, la comparación con la literatura internacional evidencia que, si bien Querétaro avanza hacia modelos más eficientes y responsables, persiste una brecha frente a regiones con marcos regulatorios más sólidos. Para reducirla, es imprescindible articular estrategias integrales que combinen liderazgo, formación especializada, inversión en infraestructura y políticas de apoyo, garantizando que Lean Manufacturing y Economía Circular se consoliden como parte de la cultura organizacional y la visión estratégica de largo plazo de las empresas de la región.

CC BY NC ND

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

Conclusiones

El presente estudio permitió identificar y analizar los factores críticos que condicionan la implementación de las metodologías Lean Manufacturing y Economía Circular en empresas de parques industriales del estado de Querétaro. A través de una metodología combinada documental, descriptiva y de campo, se integró un marco teórico sólido que fue contrastado con evidencia empírica derivada de cuestionarios aplicados a organizaciones de diversos sectores productivos.

Los hallazgos muestran que la cultura organizacional, la falta de implicación de la alta dirección, la resistencia al cambio y la ausencia de procesos internos claramente definidos representan los principales retos para la adopción efectiva de estas metodologías. Estos factores no solo limitan la eficiencia operativa, sino que también constituyen barreras estructurales para avanzar hacia modelos productivos más sostenibles y alineados con estándares internacionales.

Asimismo, se identificaron condiciones adicionales que influyen en la continuidad y efectividad de los proyectos de mejora, como la complejidad de la cadena de suministro, la débil orientación a la sostenibilidad, el escaso liderazgo en proyectos, la poca orientación al cliente y la falta de sistemas de incentivos y reconocimiento. También resultan relevantes la insuficiente infraestructura para la gestión de residuos, la carencia de programas de formación continua, y la necesidad de promover iniciativas educativas que fortalezcan los valores éticos y ambientales dentro de las organizaciones. La omisión de cualquiera de estos aspectos puede comprometer los resultados a largo plazo, incluso en contextos con recursos técnicos adecuados.

Al contrastar los resultados locales con experiencias internacionales de éxito, se evidencian oportunidades para adaptar buenas prácticas globales al contexto queretano, lo cual refuerza la importancia de diseñar estrategias flexibles, realistas y centradas en la gestión del cambio.

En síntesis, para que las empresas de Querétaro logren implementar de manera eficaz Lean Manufacturing y Economía Circular, es indispensable atender tanto la dimensión técnica como los factores humanos y organizacionales. Abordar estas variables desde una visión estratégica y transversal permitirá consolidar una industria más competitiva, innovadora y ambientalmente responsable en la región.

Recomendaciones

1. Impulsar la cultura organizacional mediante programas de sensibilización que refuercen valores de mejora continua, sostenibilidad e innovación, generando un entorno favorable para la adopción de nuevas prácticas.
2. Fortalecer la capacitación del personal con entrenamientos constantes en herramientas de Lean Manufacturing y principios de Economía Circular, priorizando a los niveles operativos y de supervisión para garantizar una aplicación efectiva en el día a día.
3. Asegurar el liderazgo directivo, definiendo objetivos estratégicos claros, estableciendo indicadores de desempeño y comunicando de forma transparente los beneficios esperados de las metodologías.
4. Diseñar planes de gestión del cambio que reduzcan la resistencia interna y promuevan la participación de todos los actores clave dentro de la organización.
5. Adaptar experiencias internacionales a la realidad local mediante ejercicios de benchmarking y análisis de viabilidad, considerando las particularidades de cada empresa y sector.
6. Consolidar vínculos con instituciones educativas y centros de investigación, a fin de promover la transferencia de conocimiento, estimular la innovación y desarrollar soluciones alineadas con el contexto regional.

CC BY NC ND

7. Establecer políticas internas de sostenibilidad que incluyan metas cuantificables en reducción de residuos, reutilización de materiales y optimización de procesos logísticos, integrándolas al plan estratégico empresarial.

La puesta en práctica de estas recomendaciones no solo favorecerá la mejora continua y la competitividad, sino que también contribuirá a posicionar al sector industrial de Querétaro como un referente nacional en eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental, consolidando su papel dentro de los desafíos globales de la industria moderna.

Limitaciones del estudio y líneas de investigación futura

Los resultados obtenidos aportan evidencia significativa sobre la incorporación de metodologías de Lean Manufacturing y Economía Circular en los parques industriales de Querétaro; sin embargo, es necesario reconocer ciertas limitaciones. En primer término, el análisis se focalizó en una muestra localizada, con fuerte predominio del sector automotriz, lo cual restringe la extrapolación de los hallazgos hacia otros ámbitos productivos. De igual manera, la naturaleza transversal de la investigación dificulta evaluar efectos sostenidos en el tiempo, como la permanencia de las mejoras alcanzadas o la evolución del retorno de inversión en horizontes superiores a tres años.

Otro aspecto por considerar es la utilización de información autodeclarada por las organizaciones participantes, lo que puede generar sesgos vinculados a la percepción del grado real de implementación de las prácticas. Además, no se incorporaron de forma diferenciada variables críticas como el tamaño empresarial, la madurez tecnológica o la capacidad de financiamiento, elementos que inciden directamente en los resultados obtenidos.

Con base en dos décadas de experiencia en el análisis de sistemas productivos, se vislumbran varias líneas de investigación futuras. Una primera ruta consiste en replicar este estudio en distintos estados de la República Mexicana para identificar patrones regionales de adopción de enfoques circulares y esbeltos. Asimismo, resulta relevante ampliar el espectro hacia sectores como el textil, el alimentario y el de la construcción, que presentan particularidades en el consumo de recursos y la generación de residuos. También se recomienda el diseño de investigaciones longitudinales que permitan evaluar impactos económicos, ambientales y sociales en periodos superiores a cinco años, incorporando indicadores avanzados como huella de carbono, competitividad internacional y empleo verde.

Estas proyecciones fortalecerán una visión más integral y comparativa sobre el potencial de las metodologías analizadas, contribuyendo al impulso de la sostenibilidad y la competitividad del aparato industrial mexicano.

REFERENCIAS

Abenojar, J., Velasco, F., & Martínez, M. (2021). Advances in sustainable materials and circular economy in manufacturing. *Journal of Cleaner Production, 285,* 124805. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124805

Ahmed, S., Hassan, M., Taha, Z., & Al-Ahmari, A. (2013). Lean manufacturing implementation in SMEs: Barriers and challenges. *International Journal of Lean Six Sigma, 4*(2), 159–180. https://doi.org/10.1108/20401461311319312

Awad, B., Khoury, S., & Ayyash, K. (2019). Lean manufacturing and sustainability: Barriers in developing countries. *Sustainability, 11*(21), 6006. https://doi.org/10.3390/su11216006

Belda, M. (2018). Economía circular: principios y aplicaciones. Editorial Síntesis.

Črešnar, R., Drobne, S., & Prah, K. (2024). Circular economy in the automotive sector: European practices and perspectives. *Sustainability, 16*(3), 1123. https://doi.org/10.3390/su16031123

Črešnar, R., Korošec, B., & Auer, A. (2024). *Circular economy adoption in manufacturing: pathways and financial outcomes*. Journal of Cleaner Production, 432, 139876.

de Miguel, C., Martínez, E., Pereira, Á., & Kohout, P. (2021). Integrating Lean Manufacturing and Circular Economy principles in industrial operations. Journal of Cleaner Production, 320, 128849. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128849

Ellen MacArthur Foundation. (2020). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Ellen MacArthur Foundation. https://ellenmacarthurfoundation.org

Gupta, H., Kusi-Sarpong, S., & Rezaei, J. (2018). Barriers and drivers to circular economy implementation in emerging economies. *Resources, Conservation and Recycling, 137,* 124–136. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.026

Gupta, S. M., Pochampally, K. K., & Kamarthi, S. V. (2018). *Sustainable supply chains and circular economy: economic implications*. Resources, Conservation & Recycling, 131, 187–196.

Kawano, T., Nakamura, S., & Nakajima, K. (2023). Circular economy strategies in the Japanese automotive industry. *Journal of Industrial Ecology, 27*(2), 345–360. https://doi.org/10.1111/jiec.1332

Kim, Y., Lee, D., & Park, H. (2023). Technological barriers in implementing circular economy: Evidence from South Korea. *Journal of Cleaner Production, 410,* 137145. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137145

Marras, S., Cutaia, L., & Taddei, M. (2022). Lean and circular economy: Integrated approaches in manufacturing. *Procedia CIRP, 107,* 356–362. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.061

Marras, S., et al. (2022). *Lean and green practices in industrial clusters: comparative analysis*. Sustainability, 14(21), 14321.

Ochi, K., et al. (2023). *Economic and environmental impacts of lean-circular integration in the automotive sector*. Journal of Manufacturing Systems, 68, 222–234.

Ochi, K., Fujimoto, J., & Suga, Y. (2023). Circular economy adoption in Japan: Policies and industry practices. *Sustainability, 15*(9), 7354. https://doi.org/10.3390/su15097354

Oluleye, D., Olayanju, T., & Ogunjimi, A. (2022). Multi-dimensional challenges in circular economy adoption. *Resources, Conservation and Recycling, 180,* 106198. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106198

Parlamento Europeo. (2023). Resolución del Parlamento Europeo sobre el Plan de Acción de Economía Circular. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. https://www.europarl.europa.eu

Production Tools. (2024). Tendencias globales de manufactura y sostenibilidad. Production Tools Research Institute. https://www.productiontools.org

Repsol. (2024). Economía circular: innovación y sostenibilidad en la industria energética. Repsol. https://www.repsol.com

Rojas, J., & Soler, R. (2017). Lean Manufacturing: fundamentos y aplicación práctica. Editorial Alfaomega.

CC BY NC ND

Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing paso a paso. Grupo Editorial Patria.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation (2ª ed.). Free Press.

CC BY NC ND

Disipadores de calor a base de esponja de aluminio sinterizada para aplicaciones electrónicas

Heat sinks based on sintered aluminum foam for electronic applications

Angel Adad Franco Baltazar[1]
Isabel Ernestina López Navarro [2]
Ing. Lucino Hernández Lumbreras[3]
Sandra Zamudio Reséndiz[4]
Lizbeth Reséndiz Reséndiz[5]

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo y caracterización experimental de disipadores de calor innovadores fabricados a partir de esponjas metálicas de aluminio sinterizado, diseñados específicamente para mejorar la eficiencia térmica en sistemas electrónicos. La investigación parte del desafío creciente de gestionar adecuadamente el calor generado por componentes electrónicos, cuya exposición prolongada a temperaturas elevadas compromete tanto su rendimiento como su vida útil. Utilizando rebaba de aluminio como materia prima, se fabricaron prototipos mediante compresión a dos niveles de carga (1.5 y 2.5 toneladas) y posterior sinterizado a temperaturas de 550 °C y 650 °C durante 45 y 75 minutos, según una matriz experimental Taguchi L4. El desempeño térmico fue evaluado aplicando carga eléctrica controlada por un relevador de estado sólido (SSR), registrando la respuesta térmica de cada configuración. Los resultados revelan que el disipador sinterizado a 550 °C durante 45 minutos y comprimido a 1.5 Tn (P1.5T550A) alcanzó una mejora del 16.7% en eficiencia térmica respecto a un Disipador Calor Metálico Solido (DCMS), lo que valida el potencial de esta tecnología como una solución eficiente y sustentable para la gestión térmica en electrónica avanzada.

PALABRAS CLAVES: Disipación de Calor, Esponjas de aluminio, Sinterizado, Materiales porosos.

Fecha de recepción: 25 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 08 de octubre, 2025.

[1] Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR), angel.fb@sjuanrio.tecnm.mx, https://orcid.org/0000-0002-9746-6709
[2] Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR). Autor Corresponsal: *isabel.ln@sjuanrio.tecnm.mx*, https://orcid.org/0000-0001-6748-1871
[3] Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR), *lucino.hl@sjuanrio.tecnm.mx*, https://orcid.org/0009-0001-8578-7476
[4] Estudiante de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/I.T. de San Juan del Río (ITSJR), Av. Tecnológico S/N, San Juan del Río, l21590252@sjuanrio.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0001-4022-3136
[5] Estudiante de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/I.T. de San Juan del Río (ITSJR), Av. Tecnológico S/N, San Juan del Río, l21590267@sjuanrio.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0000-9273-2521

ABSTRACT

This work presents the development and experimental characterization of innovative heat sinks fabricated from sintered aluminum metallic sponges, specifically designed to improve thermal efficiency in electronic systems. The research is based on the growing challenge of properly managing the heat generated by electronic components, whose prolonged exposure to high temperatures compromises both their performance and their lifespan. Using aluminum burr as raw material, prototypes were fabricated by compression at two load levels (1.5 and 2.5 tons) and subsequent sintering at temperatures of 550°C and 650°C for 45 and 75 minutes, according to a Taguchi L4 experimental matrix. Thermal performance was evaluated by applying an electrical load controlled by a solid-state relay (SSR), recording the thermal response of each configuration. The results reveal that the heatsink sintered at 550°C for 45 minutes and compressed to 1.5Tn (P1.5T550A) achieved a 16.7% improvement in thermal efficiency compared to a Solid Metal Heat Sink (SMHS), validating the potential of this technology as an efficient and sustainable solution for thermal management in advanced electronics.

KEYWORDS: Heat Dissipation, Aluminum Sponges, Sintered, Porous Materials.

INTRODUCCIÓN

El control de temperatura es un aspecto crítico en el diseño de sistemas electrónicos modernos, ya que el sobrecalentamiento puede comprometer la funcionalidad, reducir la vida útil y generar fallas en componentes electrónicos. Tradicionalmente se utilizan Disipadores Calor de Metálicos Sólidos (DCMS), pero estos son caros, importados y poco adaptables.

El objetivo de esta investigación fue diseñar Disipadores Calor de Esponjas Metálicas (DCEM), que tenga mayor capacidad de transferencia de calor con respecto a los DCMS, aprovechando su estructura porosa, que combina baja densidad, alta área superficial, mejorando en al menos un 15% respecto a un DCMS. Estos nuevos materiales representan una solución innovadora en el manejo de residuos metálicos, promoviendo procesos más limpios y eficientes que contribuyen a un futuro industrial sostenible.

Las esponjas de aluminio han emergido como materiales clave en aplicaciones de transferencia de calor, disipación de energía térmica. Su estructura porosa permite una combinación única de baja densidad, alta permeabilidad y propiedades térmicas mejoradas. Estas características las hacen particularmente atractivas en industrias como la aeroespacial, la automotriz y la electrónica. La revisión de la literatura busca sintetizar los avances recientes en el estudio de la eficiencia térmica de las esponjas de aluminio, evaluando sus metodologías de análisis, tendencias en investigación y aplicaciones industriales.

Uno de los enfoques más empleados para evaluar la eficiencia térmica en esponjas de aluminio es el uso de simulaciones numéricas basadas en el Método de Elementos Finitos (FEM). Un estudio de (Hu, et al., 2020) investiga la conductividad térmica efectiva (ETC) de espumas metálicas de celda cerrada, concluyendo que la distribución del tamaño celular y la forma de las celdas afectan significativamente la transferencia de calor. Se introducen parámetros como el diámetro característico (Δc) y la anisotropía de forma (αc), demostrando que una mayor heterogeneidad reduce la conductividad térmica en un 19.2% (Hu, et al., 2020)

Además, el estudio de (Almonti, et al., 2020) evaluó espumas metálicas con diferentes geometrías celulares mediante simulaciones numéricas, concluyendo que el grosor de los ligamentos y el

CC BY NC ND

número de poros por pulgada (PPI) influyen en la transferencia de calor y la resistencia aerodinámica en aplicaciones de convección forzada. Un aspecto innovador de este estudio fue la evaluación del coeficiente global de transferencia de calor y su relación con la morfología de la espuma.

Diversos estudios han abordado la eficiencia térmica de esponjas de aluminio mediante caracterización experimental. (Fernandez Morales, et al., 2017) analizaron la permeabilidad y conductividad térmica de esponjas metálicas fabricadas por infiltración de preformas solubles (IPS). Sus resultados indican que la conductividad térmica aumenta con el tamaño del poro, alcanzando valores de hasta 3.0 W/mK para poros de 2.0 mm, lo que las hace ideales para intercambiadores de calor.

Por otro lado, (Berenguer Monge, 2012) estudió el desarrollo de procesos de soldeo térmico en espumas de aluminio, permitiendo su integración en estructuras sin comprometer sus propiedades térmicas. Sus experimentos demostraron que el soldeo TIG y la soldadura fuerte en horno son técnicas viables para unir esponjas de aluminio con mínima degradación estructural.

Además, el estudio de (Vallejo, et al., 2017) propuso un método innovador para la fabricación de espumas de célula abierta con regularidad controlada, empleando manufactura aditiva y modelos de Voronoi 3D, lo que mejora la homogeneidad térmica del material.

Otro trabajo destacado es el de (Restrepo, et al., 2014) quienes analizaron las propiedades termo-hidráulicas de metales celulares con porosidad abierta, encontrando que la conductividad térmica disminuye conforme aumenta la porosidad, mientras que la permeabilidad al flujo de aire mejora.

(Jia, et al., 2020) desarrollaron esponjas cerámicas anisotrópicas de SiO_2–Al_2O_3 con estructuras laminares altamente compresibles. Estas presentaron resiliencia a temperaturas desde −196 °C hasta 1000 °C y conductividades térmicas de hasta 0.034 W/m·K, destacando como materiales prometedores para aislamiento térmico y acústico.

(Gangoso Posadas, 2018) llevó a cabo una detallada caracterización microestructural y electroquímica de espumas metálicas de níquel. Mediante espectroscopía de impedancias y polarización anódica, observó que la resistencia a la corrosión mejora sustancialmente al aplicar recubrimientos de polipirrole, sobre todo en medios fisiológicos, lo que amplía su aplicabilidad en dispositivos médicos y ambientes corrosivos.

Finalmente, el estudio de (AL-Migdady, et al., 2021) investigó la eficiencia de disipadores de calor PCM con inserción de espuma metálica, destacando que la porosidad de la espuma influye directamente en la distribución térmica y en la eficiencia del enfriamiento en dispositivos electrónicos de alto rendimiento.

La capacitancia térmica está relacionada con la capacidad de almacenamiento de energía. Se define como el flujo de calor necesario para variar la temperatura de un medio en una unidad por segundo (Lobontiu, 2018). Al momento de realizar los análisis y curvas de calentamiento y enfriamiento, se relaciona con la rapidez con la que el sistema alcanza la temperatura máxima; una pendiente más pronunciada indica una menor capacitancia térmica.

Las esponjas de aluminio han demostrado ser materiales prometedores para intercambiadores de calor debido a su alta conductividad y permeabilidad. Estudios como el de (Fernandez Morales, et al., 2017) confirman su efectividad en la refrigeración de sistemas electrónicos y dispositivos de energía renovable. Además, (AL-Migdady, et al., 2021) resaltan su aplicación en disipadores de calor PCM, optimizando la gestión térmica en dispositivos de alta potencia.

En cuanto al desempeño, el aluminio es un material con alta conductividad térmica, bajo peso específico y resistencia a la corrosión, características deseables para aplicaciones en disipadores de calor. Al aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario. Además, en el proceso de reciclado solo se emplea el 5% de la energía necesaria para su producción (Rodriguez, 2024).

CC BY NC ND

JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la investigación se ha centrado en mejorar la estabilidad térmica de estos materiales bajo condiciones extremas, como en turbinas de gas y motores de combustión interna. También se han evaluado sistemas de refrigeración pasiva con esponjas de aluminio en entornos espaciales, donde la transferencia de calor eficiente es crucial para el desempeño de los equipos. Además, el uso de esponjas metálicas como disipadores puede representar una alternativa de bajo costo frente a los disipadores comerciales, especialmente si se optimizan los procesos de fabricación y se emplean materiales reciclables o de fácil acceso en este caso el aluminio. Esto podría reducir significativamente los costos de producción en sistemas electrónicos que requieren gestión térmica.

Las esponjas metálicas ofrecen ventajas tecnológicas como una mayor superficie de contacto con el aire, lo cual puede mejorar la transferencia de calor. Además, su estructura porosa y adaptable abre nuevas posibilidades para su implementación en dispositivos con limitaciones de espacio o formas irregulares, superando algunas limitaciones de los disipadores tradicionales.

Por lo tanto, la fabricación de esponjas metálicas con materiales reciclados (aluminio) puede contribuir a una reducción del impacto ambiental, alineándose con prácticas más sostenibles en la industria electrónica. Además, su menor peso y eficiencia podrían contribuir al ahorro energético en sistemas donde se utilicen.

METODOLOGÍA

Materiales

El material base utilizado en la fabricación fue rebaba de aluminio reciclada, proveniente de procesos industriales de maquinado. Esta elección responde tanto a criterios ambientales como funcionales. Desde el punto de vista ecológico, el aprovechamiento de residuos metálicos reduce el impacto ambiental asociado a la extracción y transformación de materias primas.

La figura irregular de la rebaba facilita la generación de una estructura porosa al momento de compactarla, lo cual contribuye a aumentar la superficie específica del disipador mejorando su capacidad de transferencia térmica sin necesidad de procesos complejos de manufactura.

Método

Debido a limitaciones de tiempo y recursos en la fase experimental, se optó por un diseño Taguchi L4 (véase la Tabla 1), el cual permite evaluar tres factores (presión de la compactación, temperatura, y tiempo de sinterizado), cada uno a dos niveles, utilizando únicamente cuatro corridas experimentales. Este enfoque permite identificar los efectos principales de cada factor sobre la variable de respuesta, optimizando el número de pruebas sin comprometer significativamente la calidad de los resultados preliminares.

Se seleccionaron los niveles de los factores basándose en criterios metalúrgicos. La presión de compactación se varió entre 1.5 y 2.5 toneladas, con el fin de estudiar su efecto sobre la densidad final del material. Las temperaturas de sinterizado de 550 y 650 °C se eligieron para mantenerse por debajo del punto de fusión del aluminio (660°) y para asegurar el proceso de unión por difusión sin colapso estructural (650°). Finalmente, se evaluaron tiempos de sinterizado de 45 y 75 minutos, rangos que permiten observar el desarrollo de la microestructura sin inducir el sobrecalentamiento del material. Para la identificación de probetas se empleó la siguiente nomenclatura: Presión de Compactación de 1.5 Tn (P1.5), Temperatura de Sinterizado 550 ºC (T550), Tiempo de Sinterizado de 45 min (A) y 75 min (B), lo cual se escriba como P1.5T550A y se puede ver en la Tabla 1.

CC BY NC ND

Tabla 1 Diseño experimental taguchi L4, realizado en Minitab

Prueba	Presión (ton)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
P1.5T550A	1.5	550	45
P1.5T650B	1.5	650	75
P2.5T550B	2.5	550	75
P2.5T650A	2.5	650	45

Proceso

- La rebaba de aluminio fue seleccionada manualmente para eliminar impurezas visibles. Luego, se lavó con acetona para remover residuos de aceite y partículas contaminantes. Posteriormente, se dejó sacar al aire libre durante 24 horas.
- La rebaba seca se colocó en un molde cilíndrico de 60 mm de diámetro. Se aplicaron dos niveles de fuerza (1.5 y 2.5 Tn) mediante una prensa hidráulica de 150 toneladas de capacidad.
- Las pastillas compactadas se introdujeron en un horno eléctrico para tratamientos térmicos. Se sinterizaron a 550 °C y 650 °C, según la combinación.
- Tras el sinterizado, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente dentro del horno (enfriamiento lento) para evitar tensiones térmicas. Finalmente, se inspeccionaron visualmente y se les retiraron residuos sueltos para su posterior análisis.

Evaluación experimental.

La evaluación térmica de las muestras se realizó bajo un procedimiento estandarizado que consistió en comparar el comportamiento de las probetas sinterizadas con un disipador comercial de referencia, montado sobre un relevador de estado sólido (SSR).

Cada disipador fue acoplado directamente al SSR utilizando pasta térmica para asegurar una transferencia eficiente de calor. El relevador fue energizado al iniciar el calentamiento mediante un horno que simulo condiciones reales de operación. Las pruebas se realizaron de manera secuencial, utilizando el mismo ciclo de calentamiento para todas las pruebas, sin modificar el tiempo de exposición ni la fuente de calor.

Preparación del Sistema:

Instalar termopares o sensores de temperatura en la base de los disipadores de calor. Asegurar un buen contacto térmico utilizando pasta térmica entre el SSR y los disipadores.

Curva de Calentamiento:

Aplicar una un ciclo de calentamiento al SSR y registrar la temperatura en intervalos regulares hasta alcanzar el estado estacionario. La pendiente inicial de la curva proporciona información sobre la capacitancia térmica del sistema, mientras que la temperatura final alcanzada permite evaluar la eficiencia del sistema de disipación de calor y su comportamiento ante condiciones de carga sostenida.

CC BY NC ND

Curva de Enfriamiento:

Al finalizar el ciclo de calentamiento el horno es apagado y termina el registro de temperatura. La adquisición de los datos se llevó a cabo mediante una tarjeta Arduino Uno y un termopar tipo K, La programación de la tarjeta para el ciclo de adquisición se realizó empleando el lenguaje Python.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tomando como referencia el aluminio 6061 en estado sólido a temperatura ambiente, tiene una densidad de 2.7 gr/cm^3, los DCEM tuvieron las siguientes densidades (Véase Tabla 2, Figura 1).

Tabla 2 Densidad de las esponjas.

Disipador	Densidad
P1.5T550A	1.344 g / cm^3
P1.5T650B	1.364 g / cm^3
P2.5T550B	1.45 g / cm^3
P2.5T650A	1.516 g/ cm^3

Figura 1 Disipadores de Calor de Esponjas Metálicas (DCEM) fabricados por Sinterización.

Se realizó una comparación de cuatro DCEM y un DCMS sometidos a tres fases térmicas distintas (200 °C, 400 °C y 600 °C). Las gráficas alineadas por el primer pico permiten observar con claridad cómo responde cada disipador al incremento térmico (Véase Ilustración 2).

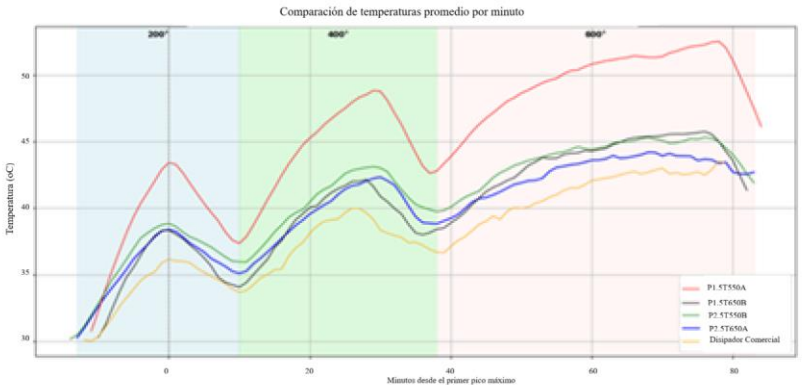


Figura 2 Temperatura vs. Tiempo para cada disipador en las tres fases térmicas

En la Fig. 2 se observa que la probeta P1.5T550A alcanza una mayor temperatura en cualquier región. Por ejemplo, a 600 ºC el disipador comercial se encuentra a 42.57 ºC, mientras que la esponja antes mencionada se calienta a 49.68 ºC, lo cual es un indicativo de su mayor capacidad de transferir el calor.

Tomando en cuenta la temperatura promedio a 600 ºC, las probetas con un mejor desempeño para transferir calor son: P1.5T550A con 49.68 ºC, seguida de P1.5T650B (43.74 ºC), P2.5T550B (43.61 ºC) y P2.5T650A (41.12 ºC). Mientras que DCMS se encuentra en los niveles más bajos con 42.57 ºC (Ver Tabla 3). El tiempo en alcanzar su máxima temperatura en las diferentes probetas, es muy similar y ronda los 78 min.

Tabla 3 Comparación entre disipadores al realizar las pruebas

Material	Temp. Máx (°C)	Tiempo a Máx (min)	Temp. prom. 200 (°C)	Temp. prom. 400 (°C)	Temp. prom. 600 (°C)
P1.5T550A	52.52	76.0	38.94	44.96	49.68
P1.5T650B	45.75	73.0	35.44	39.51	43.74
P2.5T550B	45.32	77.0	35.89	40.23	43.61
P2.5T650A	43.54	77.0	33.92	37.50	41.12
Disipador comercial	44.20	68.0	35.58	39.47	42.57

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se lograron fabricar 4 probetas de esponjas metálicas de rebaba de aluminio por el método de compresión y sinterización. Las probetas presentaron buena consistencia para su manipulación.

Para probar su conductividad térmica se realizaron pruebas de calentamiento, bajo un ciclo térmico estandarizado. Se utilizó un relevador de estado sólido (SSR) para las pruebas, el cual sufre un calentamiento debido al paso de la corriente, que por especificaciones del dispositivo no debe superar los 70° C. Los resultados indica que la probeta P1.5T550A tiene un mejor rendimiento que disipador comercial (DCMS), alcanzando una temperatura máxima mayor en 16.1% que el DCMS, lo cual es un indicativo de su eficiencia térmica. Mientras que las probetas P1.5T650B y P2.5T550B, solo mejoran el rendimiento con respecto al disipador comercial en 2.7% y 2.4% respectivamente. En el caso de la probeta P2.5T650A, presentó un rendimiento ligeramente menor al disipador de referencia.

Estos resultados muestran que es posible lograr una eficiencia térmica mayor del 15% como se planteó inicialmente. La precisión de los resultados depende críticamente del contacto térmico entre el sensor y el Disipador, así como de la calibración del sensor.

En futuras investigaciones se busca repetir el experimento con un mayor número de sensores y puntos de contacto para obtener un mapa de temperatura más detallado y estudiar la durabilidad y el rendimiento del material frente a múltiples calentamientos prolongados. Los resultados obtenidos validan el potencial de las esponjas de aluminio sinterizadas como una alternativa sostenible y eficaz

CC BY NC ND

frente a los disipadores comerciales, lo cual abre la puerta a nuevas aplicaciones en sistemas electrónicos de bajo costo.

Por ultimo y una de las principales razones para realizar este estudio, se refiere al costo y al ahorro energético en la fabricación de los DCEM, que puede ser una de las ventajas competitivas al fabricar estos productos por métodos de compresión y sinterizado.

REFERENCIAS

AL-Migdady, A., Jawarneh, A., Khali, A. & Dalgamoni, H., 2021. Numerical Investigation of the Cooling Performance of PCM-based Heat Sinks Integrated with Metal Foam Insertion. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 15(2), pp. 191-197.

Almonti, D., Baiocco, G., Mingione, E. & Ucciardello, N., 2020. Evaluation of the effects of the metal foams geometrical features on thermal and fluid-dynamical behavior in forced convection. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volumen 111, pp. 1157-1172.

Berenguer Monge, O. M., 2012. DESARROLLO, ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE SOLDEO TÉRMICO DE ESPUMAS DE ALUMINIO. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Fernandez Morales, P., Cano Montoya, C. A., Pérez Mesa, J. A. & Navecerrada, M. A., 2017. Thermal and Permeability Properties of Metal Aluminum Foams for Functional Applications1. Ing. Univ, 21(1), pp. 115-130.

Gangoso Posadas, I., 2018. Espumas Metálicas de Níquel Caracterización y Comportamiento en servicio. Tesis Universidad de Vallodolid.

Hu, Y., Fang, Q.-Z., Yu, H. & Hu, Q., 2020. Numerical simulation on thermal properties of closed-cell metal foams with different cell size distributions and cell shapes. Materials Today Communications, Volumen 24.

Jia, C. y otros, 2020. Highly compressible and anisotropic lamellar ceramic sponges with superior thermal insulation and acoustic absorption performances. Nature Communicatios.

Lobontiu, N., 2018. Chapter 5 - Fluid and Thermal Systems. En: System Dynamics for Engineering Students (Second Edition). Alaska: Elsevier Inc., pp. 213-272.

Restrepo, S., Nieto, C. & Fernandez Morales, P., 2014. PROPIEDADES TERMO-HIDRÁULICAS DE METALES CELULARES CON POROSIDAD ABIERTA. Revista Colombiana de Materiales, Issue 5, pp. 218-224.

Rodriguez, H., 2024. Propiedades del aluminio (Al). [En línea]
Available at: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-aluminio-al_18221

Vallejo, C., Chicaisa, D. & Sotomayor, O., 2017. Un Nuevo Método para la Fabricación de Espumas Metálicas Aleatorias de Célula Abierta con Regularidad Controlada. Revista Politécnica, 38(2).

Análisis metodológico del impacto ambiental en el rendimiento estudiantil: Ruido, iluminación y temperatura

Methodological analysis of the environmental impact on student performance: Noise, lighting and temperature

Rubén Velázquez Mora [1]
Agustín Cortes Coss [2]
Dina Elizabeth Cortes Coss [3]
Juan Carlos Cisneros Torres [4]

RESUMEN

Este artículo presenta un análisis sobre la influencia de los factores ambientales de la exposición al ruido, iluminación y temperatura en el rendimiento académico de los estudiantes. Utilizando un diseño cuasiexperimental, se evaluaron las condiciones normales y adversas en una cabina ergonómica especializada, recolectando datos cualitativos y cuantitativos mediante encuestas, observaciones y mediciones de tiempos de ejecución en tareas de ensamble. Los resultados indican que estos factores tienen un impacto significativo en el desempeño, siendo la iluminación el factor más reportado como influyente, seguido de la temperatura y el ruido. La evidencia empírica y estadística sugiere la necesidad de adoptar medidas de control ambiental en espacios educativos y laborales para optimizar el rendimiento y prevenir riesgos a la salud.

PALABRAS CLAVES: Ruido; Iluminación; Temperatura; Ergonomía; Rendimiento académico; Seguridad industrial, higiene industrial.

Fecha de recepción: 11 de agosto, 2025.

Fecha de aceptación: 08 de octubre, 2025.

[1] Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Sistemas, rvelazquezmora@uadec.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-3661-922X
[2] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, acortescs@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-0820-6463
[3] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, dina.cortescs@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-4150-1541
[4] Instituto Tecnológico de Saltillo, Jefe del Laboratorio de Sistemas de Manufactura, juan.ct@saltillo.tecnm.mx, Instituto Tecnológico de Saltillo, Jefe del Laboratorio de Sistemas de Manufactura, juan.ct@saltillo.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0004-5294-0915

ABSTRACT

This article presents an analysis of the influence of environmental factors exposure to noise, lighting, and temperature on students' academic performance. Using a quasi-experimental design, both normal and adverse conditions were evaluated in a specialized ergonomic booth. Qualitative and quantitative data were collected through surveys, observations, and task completion time measurements during assembly activities. The results indicate that these factors have a significant impact on performance, with lighting being the most commonly reported as influential, followed by temperature and noise. Empirical and statistical evidence highlights the need to adopt environmental control measures in educational and workplace settings to optimize performance and prevent health risks.

KEYWORDS: Noise; Lighting; Temperature; Ergonomics; Academic performance; Industrial safety; Industrial hygiene.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales influyen de manera directa en el rendimiento de las personas dentro de un entorno de trabajo o aprendizaje. Estudios previos han señalado que el ruido, la iluminación deficiente o excesiva y las temperaturas fuera del rango de confort tienen efectos negativos sobre la salud física, mental y el rendimiento cognitivo.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT), según Palomino (2000), ha difundido el impacto positivo que tienen las buenas condiciones físico-ambientales sobre la productividad laboral. En este mismo sentido, Ganime et al. (2010) sostienen que factores como el ruido, la iluminación y la temperatura afectan el desempeño, alterando el estado psíquico y reduciendo la capacidad de atención y el rendimiento físico e intelectual.

De acuerdo con Teles y Medeiros (2007), el ruido genera efectos auditivos como zumbidos de alta frecuencia, desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición, así como trauma acústico agudo y crónico. Otros efectos abarcan alteraciones en el sistema nervioso, circulatorio, digestivo, endocrino, inmunológico, vestibular, muscular, sexual y reproductivo, además de problemas como insomnio, dificultades de comunicación y bajo desempeño en tareas físicas y cognitivas. En línea con esto, Cortés Barragán et al. (2009) señalan que el ruido provoca alteraciones cardiovasculares, como la bradicardia, según lo documentado por el National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH).

Respecto a la temperatura, Mondelo, Gregori, Blasco y Barrau (1998) afirman que ambientes con temperaturas superiores a 30 °C o inferiores a 15 °C reducen hasta un 10% la productividad del trabajador, generando sudoración excesiva, dolores de cabeza, presión arterial baja, cansancio y pérdida de concentración. La exposición a bajas temperaturas puede ocasionar enfermedades respiratorias, nerviosismo, somnolencia, problemas pulmonares, oculares o auditivos, además de pérdida de sensibilidad en extremidades. En contraste, las altas temperaturas pueden provocar deshidratación, quemaduras, desmayos o golpes de calor.

En cuanto a la iluminación, Durán Alvear (2005) afirma que niveles inadecuados afectan el rendimiento laboral, causando fatiga visual, dolores de cabeza y estrés, especialmente debido al parpadeo de los fluorescentes (50 Hz), que inducen ondas cerebrales de estrés (ondas beta).

La finalidad del presente estudio es identificar los umbrales críticos de estos factores ambientales con el fin de prevenir enfermedades laborales (por ejemplo, la hipoacusia por ruido, según el IMSS, 2024) y pérdidas económicas. Santalla Peñaloza et al. (1999) destacan que el ruido incluso afecta

la atención visual, aumentando los errores y accidentes. En conjunto, la evidencia sugiere que condiciones de ruido, iluminación deficiente o temperaturas extremas influyen negativamente en el rendimiento académico y laboral.

Planteamiento del problema

¿En qué medida afectan el ruido, la iluminación y la temperatura al rendimiento de los empleados que desarrollan sus actividades bajo estos factores de riesgo?

Los experimentos que forman parte importante de la investigación se realizan en el segundo semestre del año en curso, periodo comprendido entre los meses de septiembre a diciembre del año 2024, esto considerando que las condiciones de trabajo continúen siendo favorables. El proyecto se enfoca en medir el nivel de influencia de los factores ambientales (ruido, iluminación y temperatura) en el rendimiento de los empleados en actividades de ensamble de componentes que son altamente repetitivas y en algunos casos monótonos, pero que requiere ciertos niveles de concentración para evitar errores que pudieras ser críticos en el producto final y en la salud del personal. Se implemento una cabina ergonómica que permite simular condiciones ambientales adversas para evaluar su efecto en el rendimiento de los estudiantes durante actividades prácticas. Esta investigación busca aportar evidencia sobre cómo estos factores pueden incidir en el desempeño académico, promoviendo estrategias de mejora en ambientes educativos y laborales.

Higiene industrial.

Higiene industrial. De acuerdo con Palomino (2000), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) destaca que las buenas condiciones físico-ambientales mejoran la productividad laboral. Ganime et al. (2010) añaden que factores como el ruido, iluminación y temperatura afectan el desempeño, la atención y el estado psíquico de los trabajadores, reduciendo su rendimiento físico e intelectual.

Ruido industrial

El ruido genera distintos disturbios, (Ribeiro & Câmara, 2005) señalan que la exposición al ruido puede ocasionar efectos negativos a la salud como irritabilidad hipertensión arterial y stress. La exposición al ruido puede provocar diversas alteraciones auditivas, tales como zumbidos agudos, pérdida temporal o permanente de la audición, así como daños acústicos tanto agudos como crónicos. Además, se ha documentado que el ruido afecta múltiples sistemas del cuerpo humano, incluyendo el sistema nervioso central, el circulatorio, digestivo, endocrino, inmunológico, vestibular, y muscular.

Iluminación en el ambiente

Durán Alvear (2005) establece que tanto la luz natural como artificial influyen directamente en la eficiencia y productividad de los trabajadores. El autor explica que la luz regula los neurotransmisores

CC BY NC ND

cerebrales, afectando significativamente la capacidad de atención, el estado de ánimo y las conductas de los individuos. Cuando la iluminación es deficiente o inadecuada, se generan diversos problemas como:

- Esfuerzo visual y fatiga ocular
- Disminución del rendimiento laboral
- Cefaleas y molestias físicas

Un caso particularmente relevante es el de los tubos fluorescentes, cuya frecuencia de parpadeo (50 Hz) estimula ondas cerebrales de estrés (Beta). Este fenómeno no solo provoca cansancio físico y fatiga visual, sino que también aumenta la secreción de cortisol, una hormona asociada al estrés que, en niveles elevados, puede dañar neuronas y afectar la función cognitiva.

Efectos en la Salud de los Trabajadores

En México, (Hernández Díaz & González Méndez, 2007) comentan que el ruido ha sido un problema ambiental importante al igual que la exposición a temperaturas elevadas y abatidas, así como iluminación deficiente se menciona que relacionan la exposición al ruido alto con hipoacusia (pérdida de audición) y señalan que condiciones fuera del rango de confort provocan estrés laboral

Temperatura en el área

Mondelo et al. (1998) advierten que los extremos térmicos (menos de 15°C o más de 30°C) reducen hasta un 10% la productividad laboral, generando efectos fisiológicos y cognitivos adversos.

Impacto de las Bajas Temperaturas (<15°C):

- Problemas respiratorios y mayor susceptibilidad a enfermedades
- Estrés y nerviosismo, acompañados de somnolencia
- Disminución de la concentración y capacidad de reacción
- Pérdida de sensibilidad en extremidades, aumentando riesgos de accidentes

Consecuencias de las Altas Temperaturas (>30°C):

- Deshidratación y agotamiento físico
- Dolores de cabeza y presión arterial baja
- Quemaduras o golpes de calor en casos extremos
- Reducción del ritmo de trabajo por fatiga térmica

Estas condiciones alteran el confort térmico, esencial para mantener la eficiencia operativa. Cuando el cuerpo se expone a temperaturas fuera del rango óptimo, dedica energía a regular su temperatura

CC BY NC ND

interna en lugar de enfocarse en tareas laborales, lo que explica la caída en el rendimiento documentada.

Rendimiento

Cercado et al. (2021) definen el bienestar ambiental como clave para un rendimiento óptimo. Cuando los factores ambientales se alejan de los parámetros establecidos por las normas NOM-STPS, se observa disminución en la productividad y aumento de errores.

METODOLOGÍA

La presente investigación trata de encontrar el nivel de influencia de algunos factores ambientales como el ruido, la iluminación y la temperatura en el rendimiento en el trabajo, para la cual se utilizará una cabina en donde se pueden manipular dichos factores para observar el comportamiento de los estudiantes.

En cuanto al diseño de la investigación será un diseño experimental de tipo cuantitativo ya que habrá manipulación intencional de las variables independientes para observar el comportamiento de la variable dependiente realizado en al menos dos grupos de alumnos. También se puede decir que será un cuasiexperimento debido a que no se tienen garantizada la equivalencia inicial de un grupo a otro debido a que no hay asignación aleatoria, ni emparejamiento, los grupos están formados antes del experimento: son grupos intactos (asignados por la secretaria académica como alumnos de la clase), pasando a ser un estudio de laboratorio

Su Población: 1,289 alumnos universitarios de las carreras de Ingeniería.

Muestra: 67 alumnos (cálculo estadístico con 90% de confianza, margen de error del 10% y desviación estándar de 0.5), seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia (grupos de ergonomía y seguridad industrial).

Fórmula aplicada:

N=Z2·P·(1−P)ϵ2=1.642·0.5·0.50.102≈67 alumnosN=ϵ2Z2·P·(1−P)=0.1021.642·0.5·0.5≈67 alumnos

(Fuente: Qualtrics, 2024).

***Procedimiento*:**

- Mediciones de tiempo en ensambles bajo condiciones normales y adversas.

CC BY NC ND

- Encuestas para evaluar percepciones subjetivas.

Las técnicas utilizadas se pueden decir que es un tipo de muestreo probabilístico por racimos ya que se realiza sin considerar las características de los elementos y no hay criterios de elección para los mismos. En este caso, la población de alumnos que se pueden estudiar se encuentra subdivididos en carreras.

Los instrumentos para utilizar pueden ser muy variados, yendo desde entrevistas para conocer cómo se sintieron los alumnos; es decir, si experimentaron más fatiga con ciertos niveles (ruido, iluminación, temperatura) o combinación de ellos

El estudio emplea un muestreo probabilístico por racimos (Hernández-Sampieri et al., 2018), donde los alumnos se seleccionan por grupos preexistentes (carreras universitarias) sin criterios individuales de elección.

Muestreo

Tipo: Probabilístico por racimos (grupos por carrera)

Instrumentos clave

Entrevistas: Percepción de fatiga bajo condiciones ambientales.

Video: Registro conductual.

Listas de cotejo: Medición objetiva de eficiencia.

Cabina ergonómica (UAdeC, 2024)

Control automático: Temperatura, humedad, iluminación (LED/fluorescente), ruido (50W RMS).

Monitoreo: Variables ambientales (CO_2, lux, dB) en tiempo real.

Seguridad: Paro de emergencia y software de reportes

Instrumentos y Métodos de Observación

Los instrumentos principales utilizados en este estudio se presentarán a través de ilustraciones que facilitarán la comprensión de la metodología. La Ilustración 1 muestra la cabina, un

componente esencial del sistema, que está compuesta por la estructura, los actuadores, el hardware y el firmware embebido. La estructura proporciona estabilidad y soporte a los demás elementos, mientras que los actuadores permiten movimientos precisos. El hardware se encarga de gestionar la interacción entre los componentes, y el firmware embebido controla y regula el funcionamiento de todo el sistema.

Ilustración 1. Cabina utilizada para Pruebas

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 2 se aprecia la estación de control, que está compuesta por el equipo de cómputo, el intercomunicador, la mesa de trabajo y el software de control. Estos elementos permiten gestionar y supervisar el funcionamiento de la cabina, facilitando el control y la comunicación durante el proceso.

Ilustración 2. Estación de Control

Fuente: Elaboración propia

En la lustración 3 se muestran diferentes puntos importantes como el Encendido/Apagado: Dos pulsadores con retención para controlar el flujo principal de energía.

Función: Interrumpe inmediatamente todos los actuadores (calefacción, luces, etc.) sin cortar la energía principal.

Indicador: Enciende la lámpara roja de error/advertencia.

CC BY NC ND

Botón pulsador sin retención: Evita corrupción del firmware al apagar el sistema de manera controlada.

Verde: Operación normal y conexión lista con el software de control.

Rojo: Fallas o activación del paro de emergencia.

Ilustración 3. Panel de Controles Físicos

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 4 se muestra todo lo del Sistema de audio

- Bocinas Pro Dynamics 50W RMS c/u: Reproducen ruidos industriales en estéreo para simulaciones realistas
- Sistema de iluminación
- Lámparas LED RGB (500W): Controladas por software para diferentes ambientes lumínicos
- Lámpara fluorescente (32W): Requiere cambio de ambos tubos simultáneamente, aunque solo uno esté dañado
- Rejilla de salida de aire: Mantener libre de obstrucciones (mínimo 25 cm de espacio)

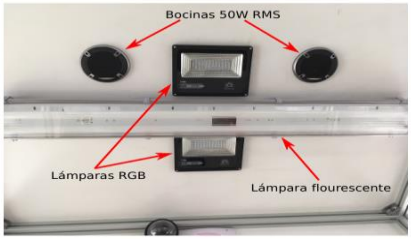
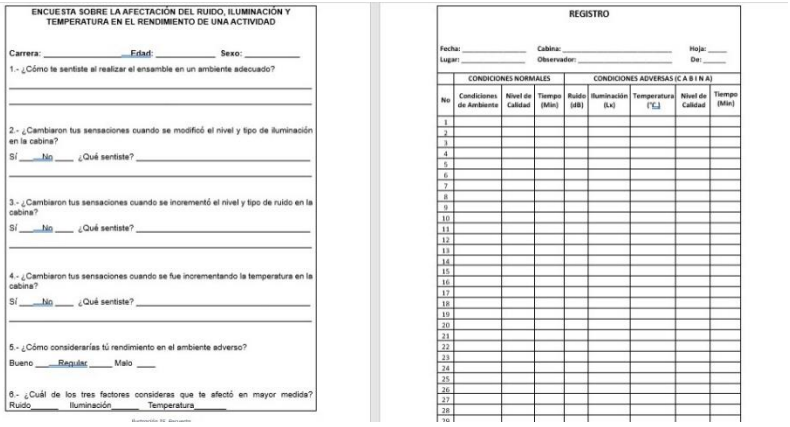


Ilustración 4. Componentes colocados en el techo

Fuente: Elaboración propia

CC BY NC ND

También se aplicarán encuestas a los participantes y un registro mediante el formato que se muestra en la ilustración 5 y 6 esto con la finalidad de cruzar la información obtenida es esta fuente y las fotos tomadas; además se contara con el reporte de la calidad del ensamble, el tiempo consumido en realizar el ensamble, entre otras cosas., esta última información permite conocer el nivel de productividad (rendimiento) y las condiciones bajo las cuales se desarrolla.



ENCUESTA SOBRE LA AFECTACIÓN DEL RUIDO, ILUMINACIÓN Y TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO DE UNA ACTIVIDAD

Carrera: _____ Edad: _____ Sexo: _____

1.- ¿Cómo te sentiste al realizar el ensamble en un ambiente adecuado?

2.- ¿Cambiaron tus sensaciones cuando se modificó el nivel y tipo de iluminación en la cabina?
Sí ____ No ____ ¿Qué sentiste? _____

3.- ¿Cambiaron tus sensaciones cuando se incrementó el nivel y tipo de ruido en la cabina?
Sí ____ No ____ ¿Qué sentiste? _____

4.- ¿Cambiaron tus sensaciones cuando se fue incrementando la temperatura en la cabina?
Sí ____ No ____ ¿Qué sentiste? _____

5.- ¿Cómo considerarías tú rendimiento en el ambiente adverso?
Bueno ____ Regular ____ Malo ____

6.- ¿Cuál de los tres factores consideras que te afectó en mayor medida?
Ruido _____ Iluminación _____ Temperatura _____

REGISTRO

Fecha: _____ Cabina: _____ Hoja: ____
Lugar: _____ Observador: _____ De: ____

	CONDICIONES NORMALES			CONDICIONES ADVERSAS (C A B I N A)				
No	Condiciones de Ambiente	Nivel de Calidad	Tiempo (Min)	Ruido (dB)	Iluminación (Lx)	Temperatura (°C)	Nivel de Calidad	Tiempo (Min)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								

Ilustración 5 y 6. Encuesta y registro sobre los datos de análisis

Fuente: Elaboración propia

La preparación de los datos para su análisis será a través de la transcripción de las encuestas realizadas y fotos tomadas, así como la revisión de las hojas de registro obtenidas como documentos.

El plan de análisis de datos se realizará utilizando Minitab que nos permitirá realizar algunas pruebas estadísticas para estar en posición de elaborar respuestas sustentadas a las preguntas de investigación.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este estudio es de tipo cuantitativo y cualitativo. Entre los métodos y técnicas utilizados destacan: revisión y análisis de las fuentes teóricas que abordan el tema para la precisión de los antecedentes y la justificación del estudio. Se validó con anterioridad una encuesta aplicada a una muestra representativa de la población de la Facultad compuesta por estudiantes de las dos carreras más numerosas para obtener sus sensaciones al momento de modificarles el ambiente en el espacio en donde realiza sus actividades prácticas, lo que permitió identificar una diversidad de experiencias expresadas por ambos grupos.

En lo que respecta al análisis cualitativo realizado a través de la observación y del sentir de cada estudiante en la actividad de ensamble, y que lo plasmaron en la encuesta aplicada a cada uno de ellos, se obtuvo que, de los 65 estudiantes, en cuanto al género 52 (80%) son masculino y 13

CC BY NC ND

(20%) femenino; y del total de 65, 45 de ellos (69.23%) pertenecen a la carrera de ingeniería industrial y de sistemas, siendo 13 (28.89%) del género femenino mientras que 32 (71.11%) masculino. El resto de los estudiantes 20 (30.77%) son de la carrera de ingeniería automotriz siendo el 100% de género masculino.

La tabla de la ilustración 7 muestra las edades promedio de los estudiantes encuestados. En el caso de las mujeres es 21.76 años, por encima del promedio general de 21.16 y para los hombres es 21.09 años un poco por debajo del promedio. Finalmente, el rango de edades de los encuestados es entre 17 y 30 años.

	Mujeres (Años)	Hombres (Años)	General (Años)
Media	21.76	21.09	21.16
Desviación Estándar	2.00	2.68	2.56

Ilustración 7. Tabla de estadísticas de encuestados en resultados obtenidos

Fuente: Elaboración propia

Corroborando con esto los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis estadística que los factores ambientales como el ruido, iluminación y temperatura afectan significativamente en el rendimiento de los estudiantes al momento de realizar dicha actividad, en alrededor de 50% de los estudiantes que obtuvieron una diferencia positiva en el tiempo. A continuación, se muestran el registro de datos con los cuales se trabajó y se obtuvieron los resultados ya mencionados véase ilustración 8

REGISTRO

Fecha: ___19 Nov 2024_____ **Cabina:** _____Ergonómica_____ **Hoja:** __1___
Lugar: __FS Arteaga Coah.__ **Observador:** __Rubén Velázquez _ **De:** ___3___

	FUERA DE CABINA				CABINA					
No	Condiciones de Ambiente	Nivel de Calidad	Tiempo (Min)		Ruido (dB)	Ilumin. (Lx)	Temp. (°C)	Nivel de Calidad	Tiempo (Min)	
			1er	2do					1er	2do
1	Ok	Regular	05:58	03:13	89	11	28	Buena	03:35	03:17
2	Ok	Buena	02:10	01:32	95	11	28	Buena	02:55	02:28
3	Ok	Buena	03:01	02:05	94	20	28	Buena	02:22	02:15
4	Ok	Buena	03:30	02:23	94	9	28	Buena	04:23	02:45
5	Ok	Buena	03:25	02:50	88	8	30	Buena	03:42	04:05
6	Ok	Buena	04:34	02:34	94	15	32	Buena	04:37	04:11
7	Ok	Buena	06:13	10:17	94	11	32	Buena	07:14	02:59
8	Ok	Buena	04:59	03:28	94	11	30	Buena	02:49	03:08
9	Ok	Buena	02:49	02:38	94	20	32	Buena	03:24	02:09
10	Ok	Buena	06:55	03:24	94	9	28	Buena	03:12	02:44
11	Ok	Buena	02:58	02:42	94	8	28	Buena	02:38	02:22
12	Ok	Buena	07:19	03:38	94	15	30	Buena	04:15	03:11
13	Ok	Buena	07:37	05:37	94	11	32	Buena	06:14	05:09
14	Ok	Buena	05:17	03:31	89	20	32	Buena	03:47	03:24
15	Ok	Buena	04:22	02:34	89	9	32	Buena	02:17	02:20
16	Ok	Buena	04:38	03:10	83	8	28	Buena	02:45	02:44
17	Ok	Buena	08:00	04:20	95	15	30	Buena	03:20	02:46
18	Ok	Buena	09:15	02:45	95	22	32	Buena	06:57	03:15
19	Ok	Buena	04:50	04:39	89	11	32	Buena	03:06	02:34
20	Ok	Buena	04:22	02:45	89	20	32	Buena	03:28	02:35
21	Ok	Buena	03:46	03:03	83	9	32	Buena	03:01	03:23
22	Ok	Buena	06:53	06:50	95	11	28	Buena	03:52	03:03
23	Ok	Buena	06:02	04:22	95	20	28	Buena	03:20	02:18
24	Ok	Buena	04:27	02:09	89	9	30	Buena	02:43	01:56
25	Ok	Buena	04:54	02:26	89	8	28	Buena	02:30	02:06
26	Ok	Buena	05:06	03:11	83	15	30	Buena	03:09	02:34
27	Ok	Buena	09:41	04:00	95	22	32	Buena	04:20	03:39
28	Ok	Buena	05:01	03:38	95	11	32	Buena	03:27	03:30
29	Ok	Buena	05:49	03:01	89	20	32	Buena	03:21	02:24
30	Ok	Buena	03:42	02:40	89	9	28	Buena	02:36	02:11

REGISTRO

Fecha: ___20 Nov 2024_____ **Cabina:** _____Ergonómica_____ **Hoja:** __2___
Lugar: __FS Arteaga Coah.__ **Observador:** __Rubén Velázquez M_ **De:** ___3___

	FUERA DE CABINA				CABINA					
No	Condiciones de Ambiente	Nivel de Calidad	Tiempo (Min)		Ruido (dB)	Ilumin. (Lx)	Temp. (°C)	Nivel de Calidad	Tiempo (Min)	
			1er	2do					1er	2do
31	Ok	Buena	07:02	07:52	89	11	28	Buena	04:30	04:03
32	Ok	Buena	03:21	03:12	83	11	28	Buena	02:55	03:04
33	Ok	Buena	07:27	04:02	89	20	30	Buena	04:03	02:52
34	Ok	Regular	06:48	03:36	89	9	32	Buena	04:44	04:01
35	Ok	Buena	02:57	02:08	83	8	32	Buena	03:20	03:00
36	Ok	Buena	02:42	02:47	95	15	32	Buena	04:13	03:20
37	Ok	Buena	04:08	02:14	89	11	28	Buena	02:13	02:14
38	Ok	Buena	03:56	02:25	89	11	30	Buena	02:22	01:58
39	Ok	Buena	03:58	03:10	83	20	32	Buena	03:28	02:47
40	Ok	Buena	04:35	02:50	89	9	32	Buena	02:24	02:35
41	Ok	Buena	06:05	02:44	89	8	32	Buena	03:40	02:34
42	Ok	Buena	06:38	03:14	83	15	28	Buena	03:08	02:49
43	Ok	Buena	10:00	04:14	95	22	28	Buena	03:05	06:17
44	Ok	Buena	05:02	02:57	95	11	30	Buena	03:47	02:47
45	Ok	Buena	02:59	03:16	89	20	32	Buena	03:34	02:48
46	Ok	Buena	03:50	03:16	89	9	32	Buena	02:39	03:50
47	Ok	Buena	02:40	02:10	83	11	32	Buena	02:58	10:12
48	Ok	Buena	02:27	02:33	95	20	28	Buena	02:09	02:21
49	Ok	Buena	05:21	03:10	89	9	30	Buena	03:31	03:32
50	Ok	Buena	06:16	03:19	89	8	32	Buena	04:00	02:23
51	Ok	Buena	04:23	02:56	83	15	28	Buena	04:10	03:00
52	Ok	Buena	04:40	02:53	89	22	30	Buena	03:01	03:16
53	Ok	Buena	03:28	03:00	89	11	32	Buena	03:29	03:15
53	Ok	Buena	10:40	03:23	83	20	32	Buena	03:18	03:00
55	Ok	Buena	07:00	05:00	95	9	32	Buena	03:55	04:31
56	Ok	Buena	03:06	02:22	83	8	28	Buena	02:26	03:32
57	Ok	Buena	06:45	04:02	89	15	30	Buena	04:20	03:23
58	Ok	Buena	03:11	02:02	89	22	32	Buena	02:52	02:08
59	Ok	Buena	03:17	02:10	83	22	32	Buena	02:34	02:49
60	Ok	Buena	09:10	07:33	95	12	32	Buena	03:30	03:20

Ilustración 8. Tabla de Registros de encuestados

Fuente: Elaboración propia

CC BY NC ND

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis cualitativo realizado mediante encuestas aplicadas a 65 estudiantes. Se observó que la mayoría de los participantes manifestaron sentirse cómodos al momento de realizar la actividad práctica por primera vez, lo que indica una rápida adaptación a la tarea, sugiriendo que la falta de entrenamiento podría influir, pero no de forma significativa. En cuanto a los factores ambientales que más afectaron a los estudiantes, tanto hombres como mujeres señalaron la iluminación como el principal, seguido por la temperatura y el ruido, siendo este último más impactante en los hombres. La mayoría de los encuestados coincidieron en que su rendimiento tiende a ser regular cuando están expuestos a condiciones ambientales extremas. Por otro lado, los tiempos registrados en la ejecución de la actividad práctica mostraron que, al realizarse fuera de la cabina, los resultados estuvieron cercanos al estándar, lo cual demuestra una correcta adaptación de la mayoría y valida dichos tiempos. En situaciones con condiciones ambientales adversas, aunque los tiempos mínimos se mantuvieron cerca del estándar, hubo una ligera variación en el rendimiento, excepto por dos casos que presentaron tiempos más elevados. Asimismo, el análisis de los tiempos máximos dentro de la cabina en condiciones extremas evidenció que algunos estudiantes sí se vieron significativamente afectados. Al aplicar una prueba estadística comparando los tiempos mínimos fuera de la cabina y los máximos dentro de ella, se concluyó que los factores ambientales extremos influyen de forma significativa en el desempeño de las actividades prácticas como el ensamble. Desde una perspectiva cognitiva, estos factores generan alteraciones que disminuyen el rendimiento, por lo que la aplicación de pruebas para medir la fatiga mental, física, el estrés, entre otros, podría arrojar datos relevantes que contribuyan a la generación de nuevas hipótesis, a la respuesta de interrogantes aún abiertas y a la adquisición de conocimientos dentro del campo de la ergonomía y la seguridad.

REFERENCIAS

Cercado, M., Chinga, G., & Soledispa, X. (2021). Riesgos ergonómicos asosciados al puesto de trabajo del personal administrativo. Publicando, 69-81.

Cortés Barragán, R., Maqueda Blasco, J., Ordaz Castillo, E., Asúnsolo del Barco, Á., Silva Mato, A., Bermejo García , E., & Gamo González, M. (2009). Revisión sistemática y evidencia sobre exposición profesional a ruido y efectos extra-auditivos de naturaleza cardiovascular. Medicina y Seguridad del Trabajo.

Durán Alvear, C. (2005). Iluminación v/s Rendimiento Laboral. Electro Industria.

Ganime, J., Almeida, L., Robazzi, M., Valenzuela, S., & Faleiro, S. (2010). El ruido como riesgo laboral: una revisión de la literatura. Enfermeria Global.

Hernández Díaz, A., & González Méndez, B. M. (2007). Alteraciones auditivas en trabajadores expuestos al ruido industrial. Medicina y Seguridad del Trabajo.

CC BY NC ND

IMSS, Instituto Mexicano del Seguro Social. (2 de Octubre de 2024). Memoria Estadística 2023. Obtenido de https://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2023

Mondelo, P., Gregori, E., Blasco, J., & Barrau, P. (1998). Ergonomía 3 Diseño de Puestos de Trabajo. Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.

Qualtrics. (2024). Cómo calcular el tamaño de una muestra: asegúrese de que el muestreo sea correcto. Obtenido de https://www.qualtrics.com/es/gestion-de-la experiencia/investigacion/calcular-tomano-muestra/

Ribeiro, A., & Câmara, V. (8 de Noviembre de 2005). SciELO - Brasil. Obtenido de https://www-scielobr.translate.goog/j/csp/a/zpVwDNpmYFqQN4J8bbQQ77v/?_x_tr_sl=pt&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc

Santalla Peñaloza, Z., Alvarado Izquierdo, J., & Santisteban Requena, C. (1999). ¿El ruido afecta a la focalización de la atención visual? Psicothema.

Teles, R., & Medeiros, M. (24 de Agosto de 2007). SciELO - Brasil. Obtenido de https://www.scielo.br/j/rsbf/a/yrtTvZVYdRMS7Kw4PZ6YvpC/?format=pdf&lang=pt

.

Metodología Kaizen en línea de producción para mejora de la eficiencia

Strategies to achieve educational excellence in higher education in Mexico amid the growing use of artificial intelligence

Isabel Ernestina López Navarro[1]
Angel Adad Franco Baltazar[2]
Lucino Hernández Lumbreras[3]
Angel Custodio Navarrete Fernández[4]
Luis Antonio Martínez García[5]

RESUMEN

La aplicación de kaizen en proyectos industriales, es de suma importancia debido a los resultados que derivan de su correcta implementación. En la línea MDA se estableció el objetivo de optimizar la eficiencia y el flujo de trabajo a través del uso de la esta metodología. Inicialmente se realizó un diagnóstico detallado con el que se lograron identificar las causas raíz de la ineficiencia en la línea, con apoyo de los operadores, el personal administrativo y la elaboración de un estudio detallado de tiempos y movimientos, y categorizando estas causas con apoyo de un Pareto, lo que llevó al diseño y desarrollo de propuestas que buscaban solucionar la falta de eficiencia en la línea de análisis; como la implementación de dispositivos y la reubicación del layout.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de kaizen en la línea MDA incluyeron resultados positivos en mejoras puntuales que lograron reducir tiempos perdidos. Sin embargo, el desempeño general de la línea no fue el esperado, identificando que la causa de esta reducción era ajena a las mejoras implementadas y estaba principalmente relacionada a factores sistémicos del personal operativo. Adicionalmente, se presenta el desarrollo de otro proyecto exitoso relacionado en la línea DLO en el que se aplicó la metodología kaizen bajo el ciclo DMADV, logrando la recuperación aproximada de 1,400 piezas que estaban destinadas a scrap.

PALABRAS CLAVES: Metodología Kaizen, optimización, eficiencia, flujo de trabajo.

[1] Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR), isabel.ln@sjuanrio.tecnm.mx https://orcid.org/0000-0001-6748-1871
[2] Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR) Autor Corresponsal angel.fb@sjuanrio.tecnm.mx https://orcid.org/0000-0002-9746-6709
[3] Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR), lucino.hl@sjuanrio.tecnm.mx https://orcid.org/0009-0001-8578-7476
[4] Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR) custodio.nf@sjuanrio.tecnm.mx https://orcid.org/0000-0001-8112-1127
[5] Estudiante de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/I.T. de San Juan del Río (ITSJR), Av. Tecnológico S/N, San Juan del Río, l20590493@sjuanrio.tecnm.mx https://orcid.org/0009-0008-5402-3933

Fecha de recepción: 16 de agosto, 2025.

Fecha de aceptación: 08 de octubre, 2025.

ABSTRACT

The application of kaizen in industrial projects is of utmost importance due to the results derived from its proper implementation. In the MDA line, the objective was to optimize efficiency and workflow through the use of this methodology. Initially, a detailed diagnosis was conducted, which identified the root causes of inefficiency on the line. This was achieved with the support of operators and administrative staff, and a detailed time and motion study was prepared. These causes were categorized with the help of a Pareto model. This led to the design and development of proposals that sought to address the inefficiency in the analysis line, such as the implementation of devices and the relocation of the layout. The results obtained after applying kaizen on the MDA line included positive results in specific improvements that reduced lost time. However, the overall performance of the line was not as expected, and it was identified that the cause of this reduction was unrelated to the improvements implemented and was primarily related to systemic factors of the operating staff. Additionally, the development of another successful project related to the DLO line is presented, in which the kaizen methodology was applied under the DMADV cycle, achieving the recovery of approximately 1,400 pieces that were destined for scrap..

KEYWORDS: Kaizen methodology, optimization, efficiency, workflow

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la aplicación de la manufactura es cada vez más desafiante. Por ello, el uso de metodologías como Kaizen se ha convertido en una forma eficaz de afrontar los requerimientos actuales, no solo para mantenerse a la vanguardia, sino también como una herramienta para liderar frente a la competencia (Imai, 2015).

En la organización empresarial donde se llevó cabo el proyecto., se especializan en la fabricación de productos con los más estrictos requerimientos de calidad. Gracias a ello, la mejora continua se convirtió en una herramienta esencial para mantener y superar su nivel de competitividad actual, además de buscar constantemente cumplir, a la vez que superar las expectativas de los clientes.

Debido a la búsqueda constante por la mejora continua, fue detectada una oportunidad dentro de la “línea de producción de lámparas de refrigeradores” (Nombrada así para mantener la confidencialidad del nombre real). Esta línea principal, consta de diferentes líneas secundarías que por sí solas se contemplan como líneas de producción independientes. La oportunidad detectada fue en una de estas líneas secundarías, la “línea MDA” (Igualmente nombrada así para mantener su confidencialidad). Una revisión posterior al inicio de este proyecto indicó que, al solucionar los principales problemas de la línea MDA, directamente apoyaría en la eficiencia de la línea principal. Debido a ello, los esfuerzos en implementar mejoras se centraron en la línea MDA, sin dejar de lado posibles mejoras en otras líneas secundarías.

El sector tecnológico ha experimentado un crecimiento constante durante la última década, especialmente tras la pandemia, impulsado por la cuarta revolución industrial. Las organizaciones y

la sociedad en general incrementaron el consumo de productos y servicios tecnológicos (Scarborough & Crabbe, 2021). Este sector posee una relevancia económica considerable a nivel mundial, con un gasto empresarial en tecnología que superó los 900 mil millones de dólares en 2022, lo que representó un aumento del 3.3% en comparación con el año anterior (OMPI, 2022).

La metodología Kaizen, aplicada en el desarrollo de los sistemas productivos, se centra en la eliminación de desperdicios para garantizar la flexibilidad del proceso y la confiabilidad de los productos (Liker, 2021; Socconini & Reato, 2019). El ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar) constituye la base fundamental de esta metodología debido a que su aplicación se lleva a cabo de forma sistemática, iniciando con el análisis de la situación actual, el manejo de herramientas como las 5S y los estudios de métodos y tiempos, finalizando con la evaluación de resultados (Realyvázquez Vargas et al., 2018).

A través de distintas investigaciones se ha comprobado que la aplicación de la metodología Kaizen en los procesos productivos ha contribuido de forma considerable al desarrollo de la manufactura aumentando la productividad en un 20% aproximadamente, además de ser amigable para el medio ambiente debido al impacto positivo que tiene en la reducción de: desperdicios, reprocesos, productos no conformes y principalmente en las cantidades de contaminantes que se emiten a la atmósfera.(KM Obando Trejos, EA Acurio Villacres – 2020). Una revisión inicial de los datos de producción de los últimos meses mostró que la línea MDA regularmente se encontraba produciendo por debajo de la meta de producción estimada y que además se presentaba una variación sustancial en el rendimiento turno por turno.

Estas ineficiencias y la alta variabilidad no solo afectaban la capacidad de cumplimiento y la eficiencia general del sistema, sino que también representaban un evidente caso de Muda (Desperdicios) en el sistema. Esto debido a los tiempos de espera, movimientos innecesarios y la subutilización de potencial humano. Es de igual manera mencionar que hasta el inicio de este proyecto, no se habían registrado informes de intervenciones sistemáticas con el objetivo de abordar los problemas de la línea de manera objetiva y exhaustiva.

Este proyecto contribuyó significativamente a la mejora operativa de la empresa, optimizando costos y tiempos, y mejorando la satisfacción del cliente, destacando la importancia de aplicar herramientas de mejora continua en el ámbito de la ingeniería industrial. dando énfasis en la línea MDA. Se pretende mejorar de manera sostenible la eficiencia de la línea, no simplemente como un evento único, sino como el inicio de un ciclo permanente de mejora continua. Para lograr los objetivos planteados, se hará uso de la metodología kaizen, reforzándose con el uso de herramientas y técnicas de análisis riguroso, como el estudio de tiempos y movimientos a detalle, la observación directa del proceso (Genchi Genbutsu), el análisis minucioso de datos históricos buscando diferencias significativas estadísticas y una fuerte conexión con el personal operativo y administrativo de la línea.

Las soluciones desarrolladas incluirán, pero no se limitarán a, el rediseño de la línea, la modificación y estandarización de procesos, la eliminación y optimización de procesos y la implementación de mejoras. Con estos cambios, se buscará estabilizar la producción mientras se balancean las operaciones y la carga de trabajo para las estaciones de la línea, además de buscar establecer un ambiente de trabajo más eficiente y ergonómico.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto se demuestra por la necesidad critica de implementar soluciones enfocadas a las deficiencias del rendimiento en la línea MDA, lo que afecta negativamente la

CC BY NC ND

eficiencia operativa, costos de producción, capacidad de respuesta al cliente y el bienestar del personal operativo.

Actualmente la línea MDA está identificada como una línea crítica en el esquema de producción de la empresa. Debido a que trabaja con una extrema variabilidad en su rendimiento, con tasas que varían entre el 32% y el 101% de la producción estimada, sin un comportamiento regular o predecible. Esta inestabilidad, que, apoyada por estudios de tiempos y movimientos, muestra una dispersión considerable en los tiempos ciclo por operación, lo que genera consecuencias significativas. Desde el punto de vista *kaizen* y los principios de Manufactura Esbelta, esto demuestra la existencia clara de desperdicios (Muda) en el sistema, tales como tiempos de espera, movimientos innecesarios y la subutilización del potencial productivo.

Actualmente las consecuencias son:

- **Operación deficiente y costosa:** La incapacidad de lograr de manera estable los objetivos de producción indica una baja eficiencia. Esto constantemente obliga a la empresa a recurrir a horas extraordinarias para cumplir con los planes de producción, lo que incrementa los costos y reduce la rentabilidad de la línea.
- **Insatisfacción del cliente:** La variabilidad y el incumplimiento de las fechas de entrega, arriesgan el tiempo de entrega prometido al cliente y, además, afectan la capacidad de la empresa para cumplir con los estándares de calidad prometidos al cliente. En un mundo tan competitivo, entregar de manera confiable maraca una gran diferencia.
- **Ambiente de trabajo y moral del personal:** Ya que las metas deben de alcanzarse durante un proceso en el que hay inestabilidad debido a la falta de conocimiento junto a deficiencias del diseño ergonómico, es posible que, al no trabajarse con cuidado y precisión, el personal operativo pueda frustrarse, cansarse y estresarse durante la realización de sus actividades.
- **Oportunidad de mejora no aprovechada:** Debido a la importancia de la línea y su importancia dentro de la línea general, el aumento de la eficiencia representa una oportunidad de gran valor al poder liberar capacidad, disminuir costos y el mejorar el flujo general de la planta, mejorando la línea principal.

Este proyecto igualmente se justifica como una intervención estratégica y obligatoria. La idea no es proporcionar una solución única, sino que promover un proceso de reflexión continua que conduzca a:

- **Estabilizar la producción:** Abordar las causas de la extrema variabilidad y lograr sobrepasar los obstáculos que la generan, propone obtener una mejor continuidad y estimación de la producción.
- **Mejorar las condiciones de trabajo:** El desarrollo de estaciones de trabajo ergonómicas y flexibles,
- **Reforzar la planificación:** Equilibrar la producción simplifica la tarea de los coordinadores al planificar los recursos.
- **Aumentar la satisfacción al cliente:** Mejorar la precisión de respuesta y entrega.

Promover la cultura Kaizen: Buscar que esta iniciativa se convierta en un caso práctico sobre la implementación de *kaizen* y sirva como modelo para otros proyectos en la empresa. Mostrando los beneficios reales que se deriven de ella y apoyando al desarrollo de una cultura organizacional orientada a la excelencia.

METODOLOGÍA

La aplicación de Kaizen en la línea MDA se abordó de manera sistemática siguiendo el ciclo PDCA (planificar, hacer, verificar, actuar), herramienta fundamental para la mejora continua (*Imai*, 2015; *Realyvázquez Vargas et al.*, 2018). Como señala Imai (2015), para iniciar cualquier proceso de Kaizen es necesario aplicar el ciclo PDCA. Por ello, el primer paso fue obtener una comprensión profunda del estado de la línea, definir los problemas, recopilar datos cuantitativos y desarrollar un plan de acción.

Durante la etapa de diagnóstico, se aplicaron herramientas Lean para identificar los *muda* o desperdicios presentes, empleando el enfoque *Gemba* —ir al lugar donde ocurren las cosas— para obtener datos reales y confiables (*Liker*, 2021; *Pereira*, 2009).

Esta fase de diagnóstico tuvo como objetivo las siguientes actividades:

- **Observación directa y sistemática:**

Se dedicó tiempo a observar activamente la línea de MDA. El alcance no era solo el cronometraje, sino también el estudio de los movimientos de los operadores, diseño ergonómico de las estaciones de trabajo, flujo de materiales, uso de herramientas y equipos, y comunicación entre operadores, análisis de micro-paros e identificación de cada forma de *muda* (Desperdicios), incluyendo espera, movimiento, transporte ineficiente, etc. Se registraron patrones de comportamiento de las personas y eventos recurrentes.

- **Operación directa de estaciones:**

Con el fin de obtener una comprensión completa de la operación, se procedió con la operación personas de las Estaciones 1 y 2 bajo la supervisión y guía del personal capacitado. Realizar operaciones de ensamble, manipular el material y trabajar con el equipo brindó la oportunidad de experimentar de primera mano el nivel de habilidad requerido, el esfuerzo físico y mental, las molestias ergonómicas reales, la frecuencia real de molestias menores (generalmente no reportadas de manera formal), y las repercusiones inmediatas de las fallas del equipo o herramientas en el ritmo de trabajo.

- **Interacciones y entrevistas con personal clave:**

Para interacciones tanto formales como informales se establecieron fuentes de comunicación con los operadores de la línea, coordinadores y demás personal relacionado a la línea. Se empleó una lista de verificación de entrevistas para recopilar entrevistas semiestructuradas con el fin de capturar sus valiosas perspectivas sobre:

- Los problemas comunes e irritantes.
- Las razones atribuidas a la variabilidad en la producción.
- El historial de cambios o problemas en la línea.
- Sugerencias o ideas para la mejora desde su experiencia diaria.

Método

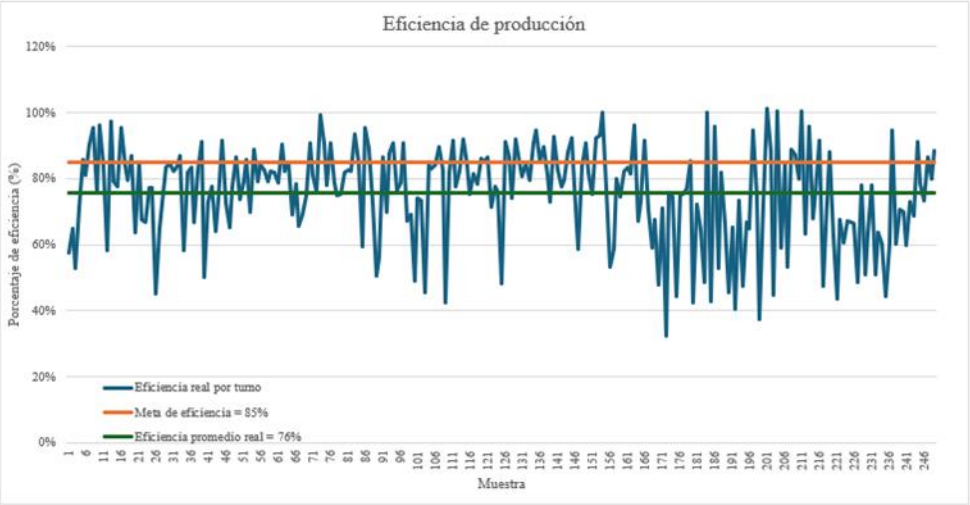
Los **indicadores clave** (Tabla 1), demostraron claramente el punto principal de este proyecto: una línea critica de producción operando no solo con una baja eficiencia promedio sino también con una extrema variabilidad, lo que dificultaba una planificación fiable y generaba incumplimientos constantes, por lo tanto, la intervención estructurada por *kaizen* era necesaria para estabilizar y mejorar el rendimiento.

Tabla 1. Indicadores Clave

Indicador	Fuente	Valor
Meta de eficiencia (%)	Estándar	85%
Eficiencia promedio real (%)	RDP	76%
Eficiencia Mínima Registrada (%)	RDP	32%
Eficiencia Máxima Registrada	RDP	101%
Desviación Estándar (%)	RDP	14%
% Turnos >= 85%	RDP	25%

La siguiente gráfica muestra el comportamiento de la eficiencia en la línea durante los últimos tres meses (Gráfica 1).

Grafica 1. Eficiencia histórica de la línea



La gráfica anterior muestra que la línea ha estado operando por debajo de la meta estimada para la producción. Además, visualmente es notable que existen inconsistencias entre cada turno. Esto indicó la necesidad de un análisis de causas raíz y con base a esas causas, proponer soluciones que puedan ser implementadas para eliminar estas causas.

Para alinear esta fase con los principios *kaizen*, manteniendo un enfoque basado en datos y la orientación hacia los procesos se realizó la elaboración del estudio de tiempos y movimientos a detalle, fue principalmente para identificar aquellas operaciones o actividades que estaban consumiendo más tiempo, esto nos daría una visión clara del estado actual orientado a las operaciones. Esta etapa fue crucial para conseguir información referente a *mudas* (Desperdicios) dentro de las operaciones y fundamentó las bases para encontrar las causas que afectaban el rendimiento de la línea.

A continuación de se detallan los datos obtenidos, con las siguientes operaciones:

- Cronometraje detallado de cada movimiento.
- Grabaciones para análisis.
- Observación directa.

CC BY NC ND

Tiempos de Ciclo por Estación.

Estación 1: **Preensamble:** 3.33 segundos. **Ensamble principal:** 7.09 segundos. **Tiempo total:** 9.67 segundos.
Existen picos críticos de tiempo en movimientos específicos.

Es importante mencionar que, en esta estación, el operador realiza dos operaciones por separado. Esto debido a que el riel en donde debe colocar la pieza a entregar alcanza su capacidad máxima, por lo que el operador realiza un preensamble en lo que el riel se desahoga. Igualmente, al este riel estar inoperante, generaba *mudas* (Desperdicios) tales como tiempos de espera y movimientos innecesarios. La necesidad de empujar la pieza manualmente una vez colocada en el riel para que llegara a la estación, creando así movimientos innecesarios que consumían un tiempo considerable, al igual que un tiempo de espera recurrente al tener que pasar el flujo del proceso mientras el riel se desahogaba y finalmente, otra operación que generaba desperdicios fue la necesidad de separar constantemente el resorte 2 de forma manual.

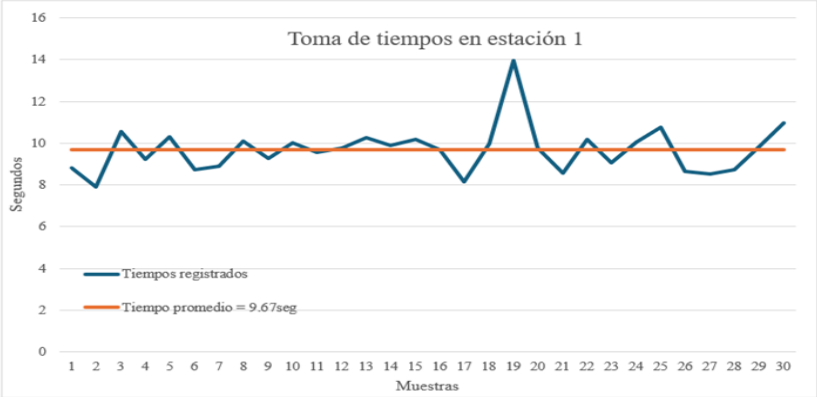
La siguiente tabla y gráfica brindan información a detalle de los tiempos y movimientos de la estación 1 (Tabla 2).

Tabla 2. Tiempos ciclos proyectados en la estación 1

Estacion 1			
Operación	**Tiempo manual**	**tiempo automatico**	**Operadores**
Tomar la carcasa interior y el resorte 1	1		1
Insertar el resorte 1 dentro de la carcasa interna	2		
Tomar el preensamble y el resorte 2	2		
Acoplar el resorte 2 en la parte externa de la carcasa interna	2		
Dejar la pieza en el riel	2		
Total del tiempo manual	9		**Tiempo Ciclo**
Total del tiempo automatico	0		9

La siguiente gráfica expresa los datos obtenidos del muestreo para obtener el tiempo ciclo real de la línea (Gráfica 2).

Gráfica 2. Toma de tiempos en la estación



La gráfica (Gráfica 2) anterior presenta 30 muestras de la toma de tiempos para determinar el tiempo ciclo promedio de la estación 1. Esta toma de tiempos presenta cierta estabilidad cercana al promedio. Sin embargo, los picos máximos representaron ocasiones en las que el operador tenía dificultades al colocar las piezas en el riel, la tolva se atascaba, el herramental dispensador de

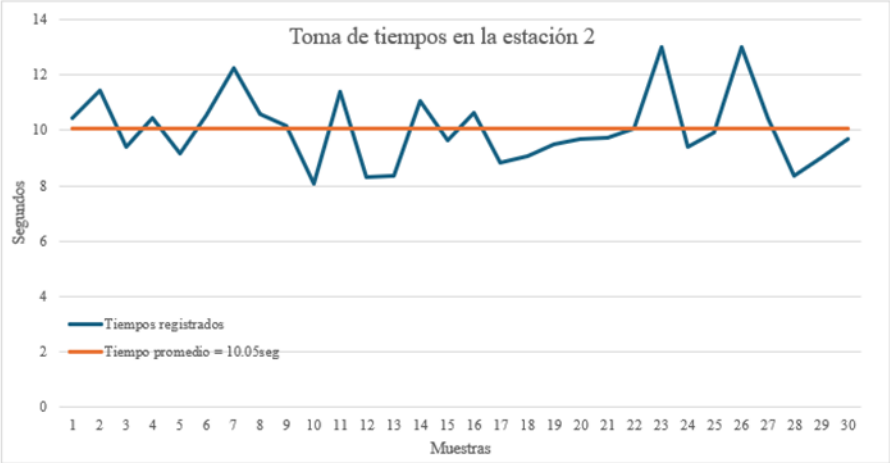
CC BY NC ND

resortes se detenía o estaban relacionados a actividades extra para la estación como el llenado del reporte de producción o el reabastecimiento. La siguiente tabla y gráfica brindan información a detalle de los tiempos y movimientos de la estación 2 (Tabla 3).

Tabla 3 Estación 2: Tiempo total: de 10.7 segundos con operadores capacitados

Estación 2			
Operación	**Tiempo manual**	**tiempo automatico**	**Operadores**
Tomar los pines	2		1
Insertar los pines dentro del herramental	2		
Toma la pieza del riel y colocarla en la prensa	1		
Tomar e insertar la carcasa exterior en el herramental	1		
Presionar ambos botones y esperar a la prensa	0.5	2	
Tomar la pieza y colocarla en la banda transportadora	1		
Total del tiempo manual	7.5		**Tiempo Ciclo**
Total del tiempo automatico	2		9.5

Gráfica 3. Toma de tiempos en la estación 2



La gráfica anterior (Gráfica 3) representa 30 muestras tomadas en la toma de tiempos para determinar el tiempo ciclo promedio de la estación 2. Esta toma de tiempo mostró una variabilidad considerable entre sus máximos y mínimos, ya que se alejan constantemente de su promedio. Lo tiempos mínimos se observaron principalmente cuando las operaciones que realizaba el operador se acercaban a los establecidos en los tiempos proyectados, o sea, cuando no tenían que recorrer las piezas desde el riel manualmente o cuando al colocar los pines, lo hacían de la forma correcta en su primer intento. Los picos máximos principalmente se identificaron como provocados por la recolocación de los pines en el herramental de la prensa, debido a que esta actividad no tenía un tiempo definido para solucionarse y dependía principalmente de la habilidad del operador para solucionarlo. De igual manera, las causas asociadas a los puntos máximos en los tiempos se veían relacionados a otras actividades extra para el operador.

Tras la obtención de datos cuantitativos sobre cada una de las causas identificadas en el Estudio de Tiempos y Movimientos y el análisis del RDP, el siguiente paso crucial dentro de la fase de “Analizar” del ciclo DMAIC, fue la priorización de estas causas. Lo cual se realizó aplicando el principio de Pareto, que establece que el 80 % de los problemas proviene del 20 % de las causas (*Camisón,*

CC BY NC ND

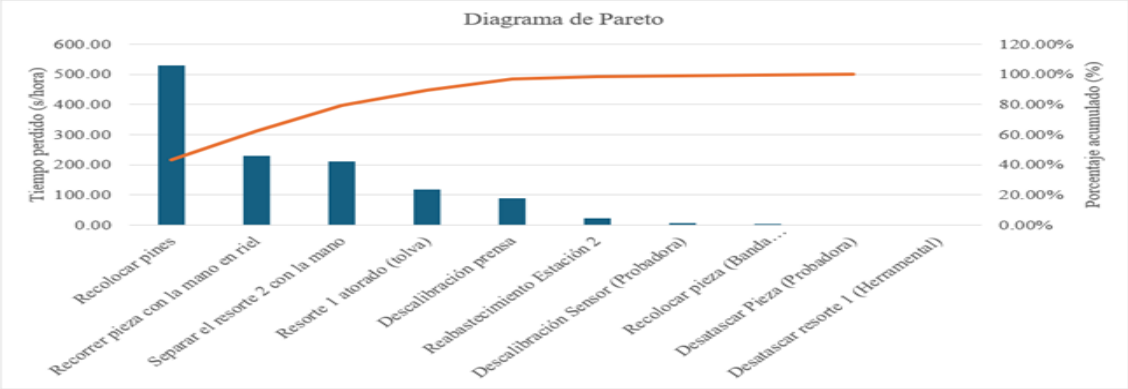
Cruz & González, 2006). Este enfoque permitió priorizar las oportunidades de mejora con base en datos (*Nejjari, Etouzani & Benmoussa*, 2024). La obtención de datos cuantitativos sobre cada una de las causas identificadas, el siguiente paso fue su análisis.

De igual manera siguiendo la metodología DMAIC, esta etapa consistió en que con apoyo de un diagrama de Pareto se analizaría el impacto real de cada una de las causas identificadas. El Pareto (tabla 4) demostró que las primeras cuatro causas explicaban cerca del 90% de las pérdidas de tiempo detectadas. Con base en estos hallazgos y el objetivo del proyecto de optimizar el flujo operativo y la ergonomía dentro de la línea misma, se seleccionaron estratégicamente las siguientes cinco causas prioritarias:(Grafica 4) Recolocar pines (Causa 1); Recorrer pieza con la mano en riel (Causa 2); Separar el resorte 2 manualmente (Causa 3); Resorte 1 atorado en la tolva (Causa 4); Reabastecimiento de la Estación 2 (Causa 5).

Tabla 4. Datos para el Pareto

Causa	Tiempo Perdido (s/hora)	% del Total	% Acumulado
Recolocar pines	529.41	43.40%	43.40%
Recorrer pieza con la mano en riel	229.98	18.90%	62.30%
Separar el resorte 2 con la mano	211.77	17.30%	79.60%
Resorte 1 atorado (tolva)	119.00	9.80%	89.40%
Descalibración prensa	90.00	7.40%	96.80%
Reabastecimiento Estación 2	22.50	1.80%	98.60%
Descalibración Sensor (Probadora)	8.33	0.70%	99.30%
Recolocar pieza (Banda transportadora)	4.88	0.40%	99.70%
Desatascar Pieza (Probadora)	2.50	0.20%	99.90%
Desatascar resorte 1 (Herramental)	1.50	0.10%	100.00%
Total	**1219.87**	**100.00%**	

Gráfica 4. Análisis de Pareto



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tras el diagnóstico, se llevaron a cabo eventos *Kaizen Blitz* con la participación de operadores, personal administrativo y el departamento de mejora continua. Este tipo de intervención, de corta duración e intensa colaboración, es recomendada para implementar cambios inmediatos (*Socconini & Reato*, 2019). Entre las principales acciones implementadas se incluyen el rediseño de estaciones de trabajo para mejorar la ergonomía y el flujo del proceso (*Hirano*, 1995), la incorporación de una

CC BY NC ND

nueva estación de ensamble para balancear las operaciones (*Liker*, 2021) y la instalación de una banda transportadora para eliminar movimientos innecesarios (*Womack, Jones & Roos*, 2007).

- **Diseño y Fabricación de Nueva Estaciones de Trabajo:**

Se decidió rediseñar y construir nuevas mesas de trabajo. La motivación principal fue la de crear un *layout* optimo que mejorara la ergonomía de los operadores, a la vez que clarificara el flujo del proceso, haciéndolo más lógico y eficiente, a la vez que permitiría adaptar una tercera estación.

- **Implementación de la Tercera Estación de Ensamble:**

Esta propuesta, consistía en construir y añadir una estación que se dedicara exclusivamente al ensamble de los pines en la carcasa exterior. El principal objetivo era el de eliminar la causa de recolocación de pines que era la principal causa de tiempo perdido en la estación 2. Esto permitiría balancear las estaciones y reducir el tiempo ciclo total de la línea. Esta nueva estación operaria en paralelo con la estación 1 para alimentar la estación 2.

- **Incorporación de Pelota Agitadora en Tolva de Resortes:**

Buscando minimizar los atoramientos tan frecuentes del resorte 1 en su tolva dispensadora. Se propuso la implementación de una pelota agitadora. Esto debido a los comentarios sobre la historia de la Reubicación del Rack de Materia Prima:
Buscando reducir el tiempo de reabastecimiento de la estación 2, ya que al ser la estación que marcaba el tiempo ciclo de la línea, se propuso el reducir los tiempos de reabastecimiento. Esto se lograría acercando físicamente el rack de materia prima, así minimizando el recorrido del operador, y de igual manera, el tiempo de paro en la línea debido a esa tarea auxiliar.

- **Instalación de una nueva banda transportadora Inter estaciones:**

Se propuso la idea de construir un sistema de transporte tipo banda transportadora que remplazara el riel que se encontraba inoperante. El objetivo que se buscaba fue el de eliminar la necesidad de los operadores de empujar manualmente las piezas, lo que restauraría el flujo entre las estaciones y reduciría el esfuerzo del operador.

- **Implementación de un *Bowl Feeder* para Resorte 2:**

La pérdida de tiempo al separar manualmente el resorte 2, generaba una variabilidad visible. Para solucionar esta causa, se propuso desarrollar un alimentador vibratorio tipo "*Bowl Feeder*". Este dispositivo apoyaría con la entrega de los resortes de manera individual y correctamente posicionados, lo que eliminaría la manipulación manual. Adicionalmente al tener mayor capacidad para contener los resortes a comparación de la charola existente, reduciría la frecuencia de reabastecimiento de este material.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El objetivo general se consideró parcialmente logrado. Aunque sí se aplicó la metodología kaizen, realizando el estudio de tiempos y movimientos y desarrollar mejoras significativas, los factores sistémicos relacionados con la rotación y capacitación del personal afectaron los resultados globales (Arroyo Tovar & Zambrano Cancañon, 2024). Se identificaron las causas raíz relacionadas a las operaciones y se desarrollaron e implementaron propuestas de mejora que tuvieron resultados positivos, la maximización de la eficiencia global no fue alcanzada durante el desarrollo de este proyecto.

En cambio, la eficiencia se vio reducida del 76% al 70%. La principal razón que causó esta reducción fue tardíamente descubierta. Los factores sistémicos relacionados a la ubicación, la capacitación y la rotación de los operadores, generaban un impacto negativo en el desempeño general de la línea.

CC BY NC ND

Impacto que superaba los beneficios obtenidos con las mejoras implementadas exitosamente. No obstante, el proyecto logró sentar las bases para futuras etapas de mejora continua, consolidando una cultura organizacional basada en el pensamiento Lean (Liker, 2021; Socconini & Reato, 2019).

El porcentaje de cumplimiento de este objetivo enfocado a la "Maximización de eficiencia global" podría considerarse negativo al observar los indicadores clave (KPI´s), pero, el proyecto cumplió con generar un diagnóstico profundo y detallado de las causas, a la vez que propuso soluciones que fueron validadas offline.

REFERENCIAS

Arroyo Tovar, R. & Zambrano Cancañon, C. E. (2024) Cambio organizacional sostenible: con metodologías ágiles y pensamiento Lean. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Camisón, C., Cruz, S. & González, T. (2006) Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas. Madrid: Pearson Educación S.A.

Imai, M. (2015) Gemba Kaizen: un enfoque de sentido común para una estrategia de mejora continua. 2ª ed. Madrid: McGraw-Hill.

Liker, J. K. (2021) The Toyota Way: 14 management principles. New York: McGraw-Hill.

Nejjari, J., Etouzani, L. & Benmoussa, I. (2024) 'The impact of Kaizen culture, transformational leadership and the 4P', African Scientific Journal, pp. 1021–1044.

Pereira, R. (2009) 'The Seven Wastes', Six Sigma Magazine, 2.

Realyvázquez Vargas, A., Arredondo Soto, K., Carrillo Gutiérrez, T. & Ravelo, G. (2018) 'Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle to', Applied Sciences, 17.

Socconini, L. & Reato, C. (2019) Lean Six Sigma: Sistema de gestión para liderar empresas. Barcelona: Marge Books.

Desarrollo de películas biodegradables basadas en un sistema ternario almidón de yuca–alcohol polivinílico–bentonita sódica para aplicaciones en la conservación de frutas tropicales

Development of biodegradable films based on a ternary system of cassava starch–polyvinyl alcohol–sodium bentonite for applications in the preservation of tropical fruits

Emilio Pérez Pacheco [1]
Alejandro Ortiz Fernández [2]

RESUMEN

La creciente demanda de materiales sostenibles ha impulsado el desarrollo de películas biodegradables para aplicaciones en empaques alimentarios. En este estudio se elaboraron películas termoplásticas mediante el método de colada, utilizando Almidón de Yuca (Manihot esculenta), Alcohol Polivinílico (APV) y Bentonita sódica en formulaciones mono y ternarias. Se evaluaron propiedades físicas clave como espesor, opacidad y permeabilidad al vapor de agua (WVP), siguiendo protocolos estandarizados. Los resultados mostraron que las películas ternarias presentaron espesores mayores (125–128 µm) en comparación con las monocomponentes (96–110 µm), lo que refleja una red polimérica más densa y estable. En cuanto a opacidad, las formulaciones con mayor proporción de PVA (F4 y F5) fueron las más transparentes (L* = 74.82–75.55), lo que refleja la capacidad de este polímero para formar películas claras y homogéneas. Por el contrario, las películas con predominio de almidón (F1 y F3) mostraron los valores más bajos de luminosidad (L* = 68.49–69.23), asociados a la retrogradación del almidón y a la formación de dominios semicristalinos que incrementan la dispersión de la luz. La WVP se redujo significativamente en las formulaciones ternarias (F4 = 13.25 g y F5 = 14.32 g), en contraste con las películas de almidón y PVA puro (22.29–23.99 g). Este comportamiento se atribuye al efecto sinérgico del APV, que aporta cohesión y homogeneidad, y de la bentonita sódica, que incrementa la tortuosidad en el paso de vapor. En conclusión, las películas ternarias de almidón de yuca–PVA–bentonita exhibieron un equilibrio favorable entre transparencia y propiedades de barrera, consolidándose como candidatas prometedoras para la conservación sostenible de frutas tropicales.

PALABRAS CLAVES: Películas biodegradables, permeabilidad al vapor de agua, propiedades de barrera.

[1] Profesor-Investigador. Programa Educativo de Ingeniería en Materiales. Tecnológico Nacional de México. Campus ITS_Calkiní (ITESCAM). Cuerpo Académico Bioprocesos, eperez@itescam.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-2242-1183
[2] Profesor-Investigador. Programa Educativo de Ingeniería en Materiales. Tecnológico Nacional de México. Campus ITS_Calkiní (ITESCAM). Cuerpo Académico Bioprocesos. Autor para correspondencia: aeortiz@itescam.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-9689-2124

Fecha de recepción: 01 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 12 de septiembre, 2025.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable materials has driven the development of biodegradable films for food packaging applications. In this study, thermoplastic films were prepared by the casting method using cassava starch (Manihot esculenta), polyvinyl alcohol (PVA), and sodium bentonite in mono- and ternary formulations. Key physical properties such as thickness, opacity, and water vapor permeability (WVP) were evaluated following standardized protocols. The results showed that the ternary films exhibited higher thickness values (125–128 µm) compared to the monocomponent ones (96–110 µm), reflecting the formation of a denser and more stable polymeric network. Regarding opacity, the formulations with a higher proportion of PVA (F4 and F5) were the most transparent (L* = 74.82–75.55), highlighting the ability of this polymer to form clear and homogeneous films. In contrast, starch-dominant films (F1 and F3) showed the lowest luminosity values (L* = 68.49–69.23), associated with starch retrogradation and the formation of semicrystalline domains that increase light scattering. WVP was significantly reduced in the ternary formulations (F4 = 13.25 g and F5 = 14.32 g), in contrast to the starch and pure PVA films (22.29–23.99 g). This behavior is attributed to the synergistic effect of PVA, which provides cohesion and homogeneity, and sodium bentonite, which increases tortuosity in the vapor diffusion path. In conclusion, cassava starch–PVA–sodium bentonite ternary films exhibited a favorable balance between transparency and barrier properties, establishing themselves as promising candidates for the sustainable preservation of tropical fruits.

KEYWORDS: Biodegradable films, water vapor permeability, barrier properties.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación ambiental por el uso excesivo de plásticos derivados del petróleo ha impulsado el desarrollo de materiales biodegradables que puedan sustituirlos en aplicaciones de envasado de alimentos. Entre estos materiales, los almidones naturales destacan por su abundancia, bajo costo y capacidad para formar películas delgadas y continuas [1]. Sin embargo, las películas obtenidas únicamente a partir de almidón suelen presentar limitaciones significativas, como elevada fragilidad mecánica, alta permeabilidad al vapor de agua y tendencia a retrogradar, lo que restringe su aplicación directa en empaques comerciales [2].

En este contexto, la combinación de almidón con polímeros sintéticos biodegradables, como el alcohol polivinílico (APV), ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar sus propiedades físicas y de barrera [3]. El APV, gracias a su naturaleza hidrofílica y capacidad de formar películas transparentes y homogéneas, incrementa la flexibilidad y cohesión de las matrices amiláceas, reduciendo su fragilidad y mejorando la resistencia [4]. Asimismo, la incorporación de nanorrellenos laminares como la bentonita sódica favorece la creación de trayectorias tortuosas para la difusión de vapor de agua, reduciendo significativamente la permeabilidad y mejorando la estabilidad dimensional [5].

Un aspecto relevante en este campo es el estudio de almidones no convencionales [6], como el almidón de yuca (Manihot esculenta), que presentan características fisicoquímicas particulares frente

CC BY NC ND

a los almidones de uso común (maíz, trigo, papa). El almidón de yuca (AY) posee alta pureza, bajo contenido de proteínas y lípidos [7], además de una estructura granular que facilita la gelatinización y formación de películas con buenas propiedades mecánicas. Su aprovechamiento no solo permite diversificar la base de materias primas para biopolímeros, sino también generar valor agregado a cultivos locales de regiones tropicales, promoviendo un enfoque de bioeconomía circular.

De esta manera, el desarrollo de sistemas ternarios basados en AY–APV–bentonita representa una alternativa prometedora para la obtención de películas biodegradables con propiedades ajustables de espesor, opacidad y barrera al vapor de agua, con potencial aplicación en el envasado sostenible de frutas tropicales.

JUSTIFICACIÓN

La creciente preocupación por la sostenibilidad y la reducción del uso de plásticos derivados del petróleo ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos y biodegradables, siendo las películas a base de almidón una de las opciones más prometedoras. Tradicionalmente, se han empleado almidones de origen convencional como el de maíz o papa; sin embargo, el estudio de almidones no convencionales, como el de yuca (Manihot esculenta), resulta de gran importancia debido a sus propiedades fisicoquímicas particulares y su amplia disponibilidad en regiones tropicales. El almidón de yuca presenta una alta pureza, bajo contenido de lípidos y proteínas, además de una elevada proporción de amilosa y amilopectina que favorecen la formación de películas continuas y con buen desempeño mecánico.

La exploración de este recurso subutilizado no solo diversifica las fuentes de materia prima para la obtención de biopolímeros, sino que también impulsa el aprovechamiento de cultivos locales, generando valor agregado a la cadena agrícola y fomentando el desarrollo regional. En este contexto, la combinación del almidón de yuca con polímeros sintéticos biodegradables como el alcohol polivinílico (APV) y refuerzos laminares como la bentonita sódica permite superar las limitaciones asociadas a la fragilidad y elevada permeabilidad de las películas amiláceas puras, dando lugar a sistemas híbridos con mejores propiedades de barrera, espesor y transparencia.

El estudio de este tipo de formulaciones ternarias no solo contribuye al avance del conocimiento científico sobre materiales compuestos biodegradables, sino que también abre la posibilidad de aplicaciones tecnológicas concretas en el área de empaques alimentarios sostenibles, especialmente en la conservación de frutas tropicales. Con ello, se atienden simultáneamente las demandas de la industria alimentaria y los retos medioambientales globales asociados al uso de plásticos convencionales.

METODOLOGÍA

Materias primas y reactivos

Se utilizó almidón de yuca (*Manihot esculenta*) obtenido de una empresa local; Alcohol Polivinílico (PVA) de grado comercial; glicerol como plastificante (grado alimenticio) y bentonita sódica en polvo. Todos los materiales fueron utilizados sin modificación adicional.

Preparación de películas biodegradables

Las películas se elaboraron mediante el método de colada. Se disolvió Almidón de Yuca (AY) en 100 mL de agua destilada bajo agitación magnética durante 15 minutos. Se incorporó glicerol (3 mL) por goteo, seguido de calentamiento en baño maría a 90 °C durante 20 minutos para inducir la gelatinización. El APV se disolvió previamente en 100 ml de agua destilada a 85 °C hasta su

CC BY NC ND

disolución y posteriormente, se le incorporó la bentonita sódica y se dispersó aplicando ultrasonido durante 15 min. Luego, dicha disolución se mezcló con la del almidón. La mezcla final se vertió en bandejas niveladas (figura 1) y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas (figura 2).

.

Figura 1. Colada para la formación de películas.

Figura 2. Película obtenida de Almidón de Yuca.

CC BY NC ND

Formulaciones experimentales

Se prepararon cinco formulaciones:

- **F1**: Almidón de Yuca (**100%**).
- **F2**: APV (**100%**).
- **F3**: Almidón de Yuca + Bentonita (**9.9:0.1**).
- **F4**: Almidón de Yuca + APV + Bentonita Na^+ (**1:8.9:0.1**).
- **F5**: Almidón de Yuca + APV + Bentonita Na^+ (**3:6.9:0.1**).

Evaluación de propiedades físicas

- **Espesor:** Se midió en tres puntos por película con micrómetro digital (±0.01 mm).
- **Opacidad:** Se determinó con un espectrofotómetro (colorímetro) portátil serie DS-200.
- **Permeabilidad al Vapor de Agua (WVP**, por sus siglas en inglés**):** La WVP se evaluó según ASTM E96-96, simplificada por Mc-Hugh y colaboradores en 1993, en la cual indirectamente se obtiene la permeabilidad cuantificando el índice de movimiento de vapor de agua a través de la película mediante los cambios de peso debido a la transferencia de humedad, durante 15 días dentro de un desecador a 25 °C (**figura 3**).

Figura 3. Preparación de las películas para la prueba de permeabilidad.

CC BY NC ND

Análisis estadístico

Se aplicó un diseño factorial completamente aleatorizado para evaluar el efecto combinado de la formulación (concentración de almidón, APV y bentonita sódica) sobre el tiempo de exposición de las películas. Las mediciones de transferencia al vapor de agua se realizaron cada 24 horas durante un periodo de 15 días, permitiendo establecer perfiles de comportamiento para cada formulación. Para comparar diferencias significativas entre pares de formulaciones en momentos específicos, se utilizó la prueba t de Student ($p < 0.05$), enfocada en contrastes directos entre grupos con interés técnico. El análisis se realizó con el software OriginPro 2023, y los resultados se expresaron como medias ± desviación estándar. Este enfoque permitió identificar interacciones relevantes entre los factores experimentales y validar estadísticamente el desempeño diferencial de las películas en función de su composición, aportando evidencia cuantitativa para la selección de formulaciones con propiedades de barrera.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Espesor de las películas

El análisis de varianza con respecto al espesor de las películas (figura 4) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las formulaciones. La prueba t indicó que las formulaciones F4 y F5 no difirieron entre sí ($p > 0.05$), por lo que el factor determinante fue la presencia del sistema ternario más que la proporción exacta de AY y APV.

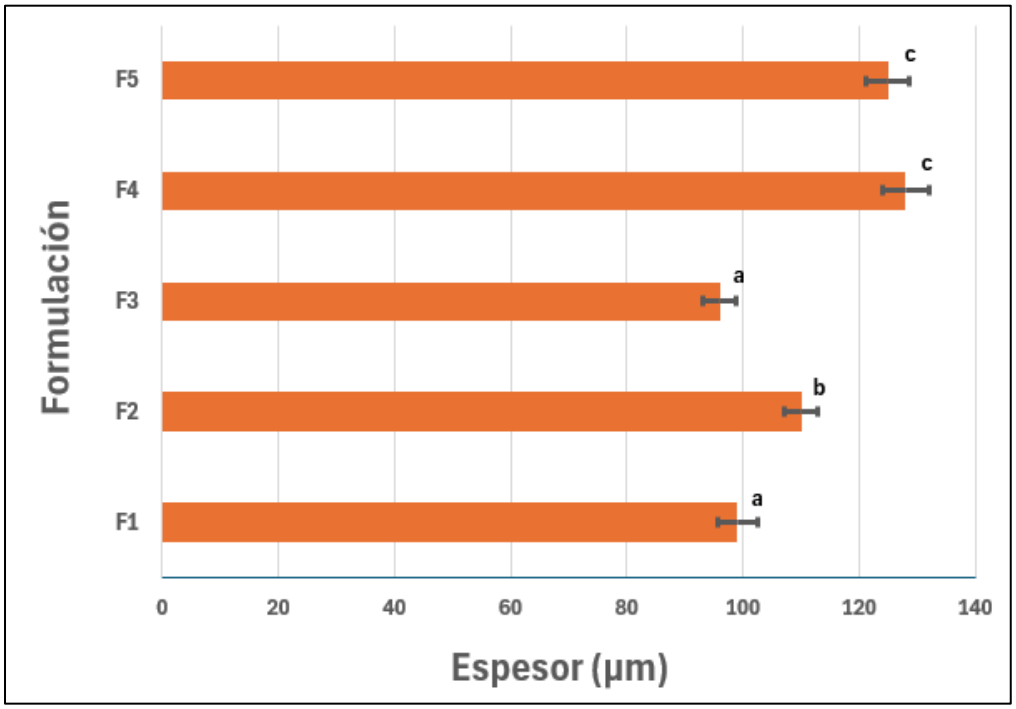


Figura 4. Espesor promedio de las películas.

Los resultados de espesor de las películas oscilaron entre 96 y 128 µm, lo que se alinea con lo reportado en la literatura para biopelículas elaboradas con mezclas de almidón y APV, donde los espesores típicamente varían de 80 a 150 µm dependiendo de la concentración de sólidos y las condiciones de secado [8]. El tipo de plastificante y su concentración tienen influencia en el espesor de la película, densidad, contenido de humedad, solubilidad, la capacidad de hinchamiento y la absorción de agua [9]. Las películas de almidón puro (F1) y almidón con bentonita (F3) presentaron espesores menores (99 y 96 µm, respectivamente), lo cual puede atribuirse a la contracción asociada a la gelatinización y retrogradación del almidón durante el secado, un fenómeno ampliamente descrito en biopolímeros amiláceos [10]. En F3, la bentonita no evitó la reducción de espesor, probablemente debido a una dispersión insuficiente en ausencia de APV; de hecho, estudios previos muestran que la incorporación de arcillas en matrices puras de almidón puede generar heterogeneidades sin reforzar significativamente la estructura [11].

En contraste, las formulaciones ternarias con APV y bentonita (F4 y F5) exhibieron espesores mayores (128 y 125 µm). Este incremento concuerda con lo reportado en la literatura [12], ya que el APV, por su capacidad de formar películas densas y homogéneas, disminuye la contracción al secado y aumenta el espesor final. Además, la presencia de bentonita contribuye a restringir la movilidad de las cadenas poliméricas, reforzando la red y reduciendo la pérdida de volumen [13]. Finalmente, el APV puro (F2) mostró un espesor intermedio (110 µm), consistente con su naturaleza filmógena, aunque sin el efecto sinérgico de la arcilla.

En conjunto, los resultados confirman que la interacción APV–bentonita en una matriz de almidón no solo mejora la estabilidad mecánica y de barrera, sino que también contribuye a generar películas más uniformes y gruesas, aspecto clave para su desempeño en aplicaciones de recubrimiento biodegradable.

Opacidad

En cuanto a la opacidad (figura 5), las formulaciones mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en F4 ($L^* = 75.55$) y F5 ($L^* = 74.82$), con respecto a las demás formulaciones. Esto indica que la transparencia se maximizó en el sistema rico en PVA y bentonita dispersa. No se observaron diferencias significativas entre F1, F2 y F3 ($p > 0.05$), lo cual sugiere que la dominancia del almidón o PVA determina la opacidad más que la interacción con la bentonita.

Los valores de luminosidad (L^*) mostraron diferencias claras según la formulación. En particular, la formulación F4 (75.55 ± 3.32) y F5 (74.82 ± 3.80) los cuales alcanzaron los mayores valores de L^*, lo que indica una mayor transparencia y menor dispersión lumínica. Este comportamiento puede explicarse por la predominancia del APV, polímero reconocido por su capacidad de formar películas homogéneas y claras [14].

La incorporación de bentonita, en este caso, no generó turbidez significativa debido a su baja concentración y a la adecuada dispersión lograda por ultrasonido, lo que concuerda con estudios de [15], donde se observó que la adición controlada de arcillas puede incluso mejorar la uniformidad óptica.

Las películas con mayor contenido de almidón, en contraste, presentaron menor luminosidad: F1 (68.49 ± 4.15) y F3 (69.23 ± 3.60). Esto refleja una mayor opacidad, atribuida a la tendencia del almidón a retrogradar durante el secado, generando dominios semicristalinos que dispersan la luz. En F3, la presencia de bentonita no compensó este efecto, ya que en ausencia de PVA su dispersión en la matriz de almidón fue probablemente heterogénea, lo que incluso puede haber aumentado la turbidez.

CC BY NC ND

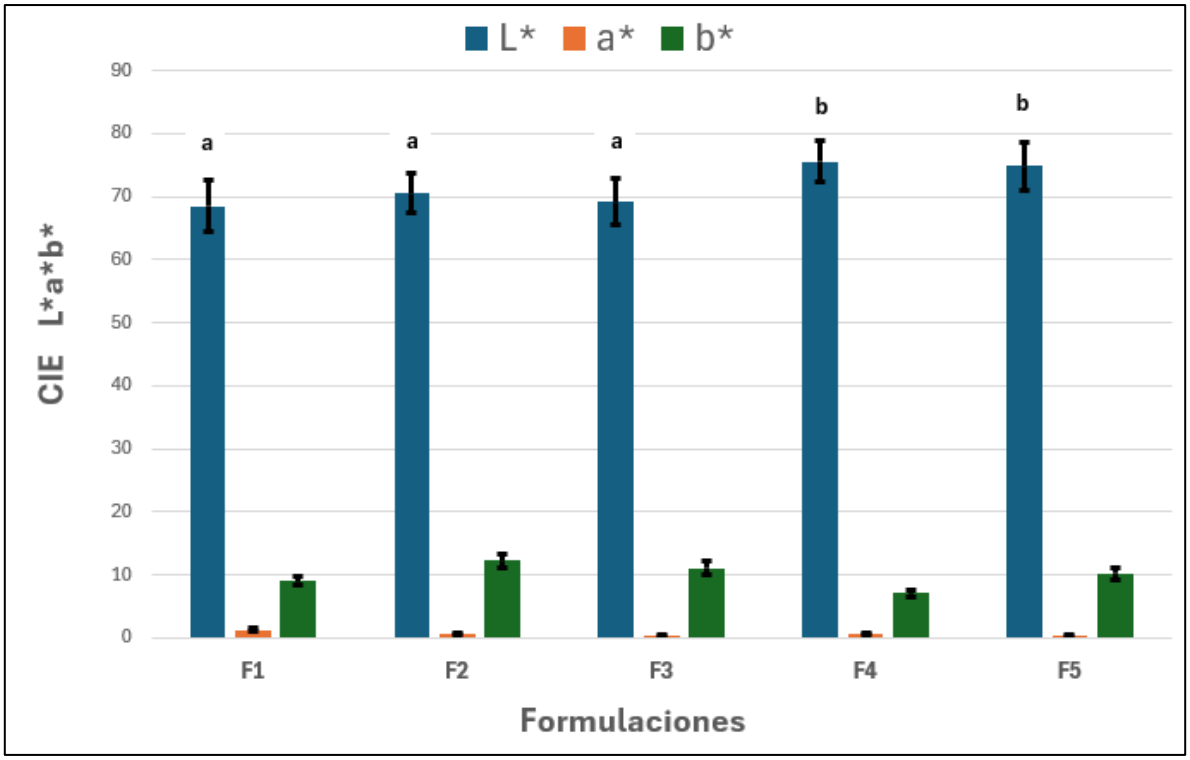


Figura 5. Opacidad de las películas.

Por otro lado, la formulación F2 (70.57 ± 3.23) se ubicó en un rango intermedio, confirmando que el APV genera transparencia, aunque en este caso el mayor valor de b* (12.28) indica un ligero tono amarillento característico del polímero comercial. En contraste, la película F4, además de la mayor luminosidad, presentó el valor de b* más bajo (7.10 ± 0.5), lo que sugiere que la combinación de APV con AY y bentonita no solo aumentó la claridad óptica, sino que también redujo la tendencia a tonalidades indeseadas.

Finalmente, desde el punto de vista estadístico, la diferencia en luminosidad entre F4/F5 y F1/F2/F3 fue significativa ($p < 0.05$), confirmando que la proporción de APV en la formulación es el factor más determinante en la transparencia de las películas, mientras que la presencia de almidón incrementa la opacidad. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado en la literatura, que la estructura semicristalina inducida por el almidón afecta directamente la transmisión de luz [16].

Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

Los resultados en la WVP (figura 6) mostraron diferencias significativas entre las formulaciones. Las películas de AY puro (F1 = 22.29 g) y APV puro (F2 = 23.99 g) presentaron las mayores pérdidas de masa, indicando alta permeabilidad. Este comportamiento concuerda con lo descrito en la literatura: tanto el almidón como el APV son materiales hidrofílicos con abundantes grupos hidroxilo capaces de absorber agua y facilitar su difusión [17]. En el caso del almidón, además, la retrogradación puede inducir microgrietas que actúan como vías preferenciales de transporte [18].

CC BY NC ND

La adición de bentonita en una matriz de AY (F3 = 16.61 g) redujo moderadamente la permeabilidad, efecto que se atribuye a la naturaleza laminar de la arcilla, que al dispersarse en la matriz polimérica genera trayectorias más tortuosas para el paso de moléculas de vapor [19]. No obstante, la reducción fue limitada por la ausencia de APV, que habría permitido una mejor compatibilidad entre fases y una dispersión más uniforme de la bentonita.

Las formulaciones ternarias (F4 = 13.25 g y F5 = 14.32 g) exhibieron las menores pérdidas de masa, confirmando un efecto sinérgico entre el APV y la bentonita. El APV contribuyó a la cohesión y densificación de la red polimérica, mientras que la bentonita actuó como barrera física al incrementar la tortuosidad de la trayectoria difusiva. Resultados similares han sido reportados en la literatura [20], los cuales mencionan que existen reducciones significativas en la permeabilidad al incorporar montmorillonita en mezclas almidón–APV. Así, la formulación F4, con mayor proporción de APV, demostró ser la más eficiente como barrera, lo que la posiciona como la opción más prometedora para aplicaciones de empaque biodegradable donde la reducción de humedad es crítica.

En conjunto, los resultados indican que la mejora en las propiedades de barrera se debe no solo a la incorporación de un nanorefuerzo laminar, sino también a la proporción de APV, que favorece tanto la dispersión de la bentonita como la compactación de la red polimérica.

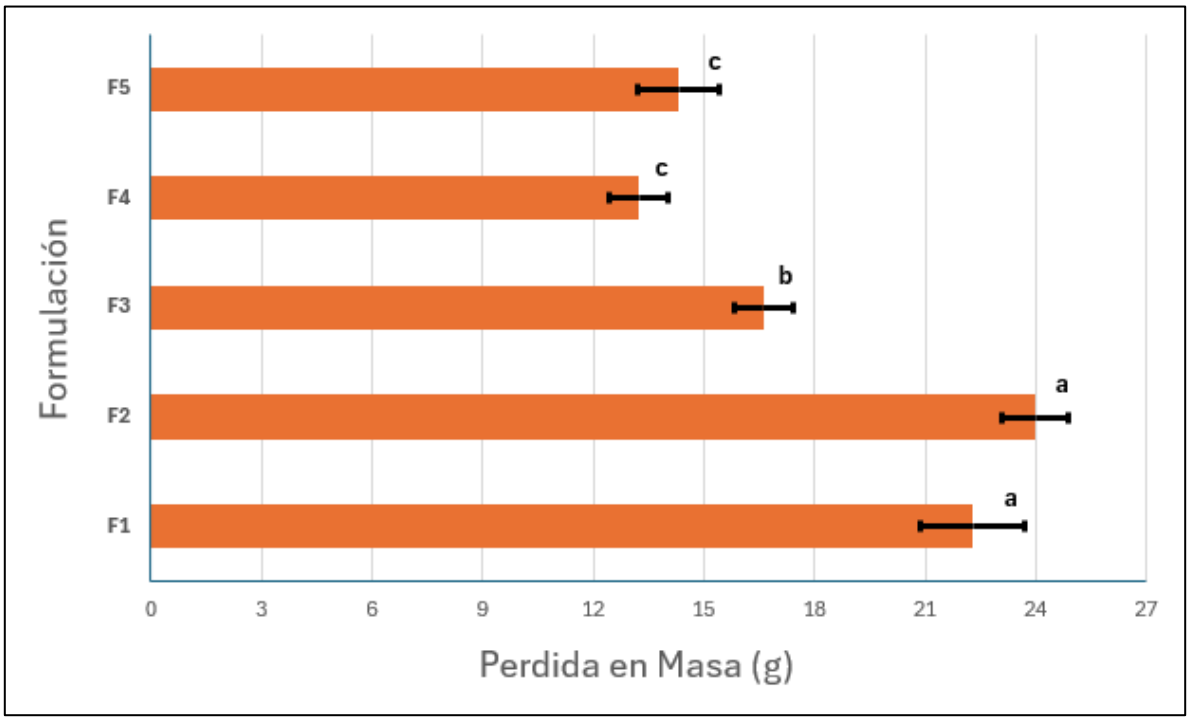


Figura 6. Permeabilidades de las películas.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El estudio demuestra que la composición polimérica ejerce un efecto directo y medible en las propiedades físicas, ópticas y de barrera de las películas biodegradables. La combinación de almidón de yuca (AY), alcohol polivinílico (APV) y bentonita sódica permitió obtener materiales con características superiores a las formulaciones individuales, mostrando un claro efecto sinérgico entre los componentes.

CC BY NC ND

En términos de transparencia y opacidad, las formulaciones ricas en APV (F4 y F5) destacaron por sus mayores valores de luminosidad (L* = 75.55 y 74.82, respectivamente), lo que las hace más adecuadas para aplicaciones donde la visibilidad del producto envasado resulta crítica. Por el contrario, las películas con predominio de almidón (F1 y F3) exhibieron menor luminosidad (L* = 68.49 y 69.23), reflejando una mayor opacidad, útil en empaques que requieren protección frente a la luz. La película de APV puro (F2) se situó en un punto intermedio, confirmando la capacidad intrínseca de este polímero para generar matrices transparentes, aunque con tonalidades amarillentas.

Respecto a la permeabilidad al vapor de agua, la incorporación de bentonita fue determinante para reducir la difusión de humedad. La formulación F4, con predominio de APV, presentó la barrera más eficiente (13.25 g de pérdida de masa), validando que la sinergia PVA–bentonita no solo aumenta el espesor y la estabilidad de la película, sino que también optimiza la resistencia al transporte de vapor.

En conjunto, los resultados confirman que la optimización de películas biodegradables no depende de un único factor, sino de un balance entre composición, interacción molecular y microestructura. El sistema ternario AY–APV–bentonita abre una vía prometedora para el diseño de empaques sostenibles con propiedades ajustables de transparencia y barrera, adaptables a distintos productos y necesidades de conservación, en particular para la protección de frutas tropicales.

REFERENCIAS

Trejo Cuevas, K., et al., Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. Revista Boliviana de Química, 2024. 41(1): p. 59-66.

Jimenez Rosas, M. and L. López Zamora, Obtención de biocompositos empleando almidón y nanoaditivos para mejorar su rendimiento´ termico y mécanico. 2024, Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.

Vera-Cuaces, A.F., W.L. Chávez-Moreira, and B.J. Carrillo-Anchundia, Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca. MQRInvestigar, 2023. 7(1): p. 2680-2700.

Valencia, A., C. Rivera, and E.A. Murillo, Estudio de las propiedades de mezclas de alcohol polivinílico-almidón de yuca-sorbitol obtenidas por casting. Revista Colombiana de materiales, 2013(4): p. 41-55.

Anzorena, H.A., et al., Mejora de las características finales de películas biodegradables de almidón, mediante el uso de un diseño multifactorial. Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, 2024. 4(2).

Knowles, M.M., M.L. Pabón, and J.E. Carulla, Uso de la yuca (Manihot esculenta Crantz) y otras fuentes de almidones no convencionales en la alimentación de rumiantes. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 2012. 25(3): p. 488-499.

Martínez De La Cruz, S. and E. Jiménez Ramos, Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (Manihot esculentum) variedad Guayape. 2016.

Desempeño térmico y mecánico de biocompuestos de ácido poliláctico con cargas lignocelulósicas

Thermal and mechanical performance of polylactic acid biocomposites with lignocellulosic fillers

Tomas Jesús Madera Santana [1]
Emilio Pérez Pacheco [2]
Carlos Rolando Ríos Soberanis [3]
Olivia Guadalupe Ortiz Cel [4]

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue optimizar y caracterizar biocompuestos biodegradables a base de ácido poliláctico reforzados con cáscara de nuez en polvo, con el fin de desarrollar materiales sostenibles de bajo impacto ambiental. Para ello, se elaboraron formulaciones con diferentes proporciones de carga vegetal (10% a 50%) mediante mezclado en estado fundido y moldeo por termocompresión. Se evaluaron propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción e impacto, y se realizaron análisis térmicos por calorimetría diferencial de barrido y termogravimetría. Los resultados mostraron que la adición de cáscara de nuez no afecta la temperatura de transición vítrea del PLA, pero reduce moderadamente su cristalinidad y estabilidad térmica. Mecánicamente, se observó una disminución de la resistencia a la tracción con el aumento de la carga, aunque a partir del 30% se recuperó la resistencia al impacto, evidenciando un efecto de tenacidad (toughening). La incorporación de residuos lignocelulósicos permite modificar selectivamente las propiedades del PLA, favoreciendo su aplicación en productos desechables, empaques biodegradables y componentes con exigencias estructurales moderadas. Este enfoque promueve la valorización de residuos agroindustriales bajo un esquema de economía circular.

PALABRAS CLAVES: Biocompuestos; Ácido poliláctico; Cáscara de nuez; Propiedades mecánicas; Sostenibilidad.

Fecha de recepción: 02 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 08 de octubre, 2025.

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., A.P. 1735, 83304 Hermosillo, Sonora, México. madera@ciad.mx, https://orcid.org/0000-0003-3844-2800
[2] Universidad Modelo, Centro de Investigaciones Silvio Zavala, 97305, Mérida Yucatán, México. Autor para correspondencia: emilioperez@modelo.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-2242-1183
[3] Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México. rolando@cicy.mx, https://orcid.org/0000-0003-3915-7331
[4] Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México, ogortiz@itescam.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-3159-457X

ABSTRACT

The aim of this research was to optimize and characterize biodegradable biocomposites based on polylactic acid reinforced with walnut shell powder, in order to develop sustainable materials with low environmental impact. Formulations containing varying proportions of plant-based filler (10% to 50%) were prepared through melt blending and compression molding. Mechanical properties were evaluated via tensile and impact testing, while thermal behavior was assessed using differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis. The results showed that the incorporation of walnut shell powder did not affect the glass transition temperature of PLA but moderately reduced its crystallinity and thermal stability. Mechanically, a decrease in tensile strength was observed with increasing filler content; however, impact strength improved from 30% filler content onward, indicating a toughening effect. The inclusion of lignocellulosic waste allows for selective modification of PLA properties, supporting its use in disposable items, biodegradable packaging, and components requiring moderate structural performance. This approach promotes the valorization of agro-industrial residues within a circular economic framework.

KEYWORDS: Biocomposites; Polylactic acid; Walnut shell; Mechanical properties; Sustainability.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el incremento exponencial de residuos sólidos ha generado una fuerte presión sobre los sistemas ambientales, particularmente por la persistencia de los plásticos convencionales. Estos materiales, derivados mayoritariamente de fuentes fósiles, presentan un ciclo de vida extremadamente prolongado y una resistencia significativa a la degradación ambiental, factores que los posicionan como uno de los principales agentes contaminantes a nivel global (Afshar et al., 2025). Como respuesta a esta problemática, ha surgido un área de oportunidad en el que se centra en el desarrollo de materiales poliméricos biodegradables derivados de fuentes renovables, a fin de sustituir parcialmente a los materiales sintéticos tradicionales en aplicaciones donde la durabilidad no es prioritaria (RameshKumar et al., 2020).

El ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés) es uno de los biopolímeros más prometedores debido a su origen natural (derivado de la fermentación de azúcares de biomasa como el almidón de maíz) y su capacidad de biodegradación en condiciones industriales (Vroman & Tighzert, 2009). A diferencia de los polímeros convencionales como el polietileno (PE) o el poliestireno (PS), el PLA presenta un balance atractivo entre propiedades mecánicas, facilidad de procesamiento, transparencia y compostabilidad. No obstante, pese a estas ventajas, el PLA también muestra limitaciones técnicas como su baja resistencia al impacto, fragilidad y sensibilidad a la humedad, lo que restringe su aplicabilidad en sectores en donde se requiere un alto desempeño mecánico (Sun et al., 2022). Ante estas limitaciones, se han plateado múltiples estrategias para modificar y mejorar las propiedades del PLA, tales como la incorporación de cargas naturales como fibras lignocelulósicas, almidones modificados y partículas vegetales agroindustriales (Kuram, 2022). Estas cargas además de reforzar la matriz polimérica les proporcionan valor agregado a los residuos agrícolas que de otro modo serían descartados, promoviendo un modelo de economía circular. En este sentido, la utilización de subproductos agroindustriales como la cáscara de nuez se presenta como una estrategia viable y sustentable.

En México, se estima que más del 95% de la cáscara de nuez generada por la industria es desechada sin ningún tipo de aprovechamiento, representando un volumen significativo de residuos sólidos agroindustriales (SANJUÁN, 2023). Este subproducto, compuesto por fibras lignocelulósicas con propiedades estructurales interesantes, ha sido objeto de estudios preliminares que destacan su

potencial como refuerzo en matrices poliméricas biodegradables. Investigaciones recientes han mostrado que la incorporación de partículas vegetales puede modificar la resistencia mecánica, el comportamiento térmico y la morfología de los compuestos poliméricos, dependiendo de la concentración, el tamaño de partícula y la homogeneidad en la dispersión (Sun et al., 2022).

El presente trabajo tiene como objetivo central la elaboración y caracterización de materiales compuestos biodegradables formulados con PLA como matriz polimérica y cáscara de nuez en polvo como carga. Se estudia sistemáticamente la influencia de la variación de la concentración de la carga sobre las propiedades mecánicas y térmicas del compuesto, con el fin de determinar formulaciones óptimas para aplicaciones específicas en productos que requieren materiales con bajo impacto ambiental.

JUSTIFICACIÓN

La justificación del presente estudio radica en la necesidad de encontrar soluciones sostenibles ante la creciente contaminación de los plásticos derivados del petróleo. En este sentido, el ácido poliláctico (PLA) surge como un biopolímero renovable y biodegradable, pero con limitaciones mecánicas y térmicas que restringen su aplicabilidad industrial. La investigación propone mejorar estas propiedades mediante la incorporación de cáscara de nuez en polvo, un residuo agroindustrial lignocelulósico altamente disponible y subutilizado donde más del 95% de este subproducto se desecha.

En este trabajo se investiga el comportamiento mecánico y térmico de materiales compuestos de PLA/cáscara de nuez. A través de la evaluación de diferentes formulaciones, se pretende determinar la variación de propiedades tales como la resistencia a la tensión, el módulo de elasticidad, la resistencia al impacto y la estabilidad térmica, a fin de tener un conocimiento más profundo sobre las relaciones estructura–propiedad en materiales biocompuestos.

Este proyecto se justifica por su valor científico, ecológico y social, al integrar innovación en materiales, aprovechamiento de residuos y desarrollo sostenible. Se trata de una propuesta alineada con las tendencias globales hacia una economía circular y la transición hacia polímeros más responsables con el medio ambiente.

METODOLOGÍA

Materiales

Para la elaboración del material compuesto biodegradable objeto de este estudio, se emplearon dos componentes principales: ácido poliláctico (PLA) provisto por NatureWorks LLC (PLA 2003D, Ingeo) como matriz polimérica y cáscara de nuez en polvo como carga vegetal de refuerzo. Ambos materiales fueron seleccionados en función de su biodegradabilidad, disponibilidad comercial y compatibilidad estructural, con el fin de desarrollar un biocompuesto sustentable con propiedades mecánicas optimizadas.

Elaboración de materiales biocompuestos

Los materiales biocompuestos de PLA/cáscara de nuez fueron elaborados mediante un procedimiento de mezclado en estado fundido y posterior conformado por termocompresión. Previamente al procesamiento, la cáscara de nuez recolectada fue sometida a un tratamiento físico para su adecuación como carga vegetal. Inicialmente, las cáscaras fueron lavadas cuidadosamente con agua destilada para remover impurezas orgánicas y partículas indeseadas. Posteriormente, se

CC BY NC ND

realizó un secado térmico en estufa de convección a 105 °C durante 24 h con el objetivo de eliminar la humedad residual y evitar la formación de burbujas o zonas de debilidad en el material final. Una vez secas, las cáscaras se trituraron mecánicamente y se tamizaron para obtener un polvo homogéneo con distribución de tamaño adecuada para mezclado en la matriz polimérica.
Paralelamente, los pellets de PLA se secaron a 60 °C durante 8 h en estufa para reducir el contenido de humedad que pudiera afectar el proceso de fusión. La etapa de mezclado se llevó a cabo en un equipo Plasticorder con cámara de mezclado tipo Brabender. Las formulaciones se prepararon con distintas proporciones en peso de PLA/cáscara de nuez (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50). La temperatura de mezclado se fijó en 180 °C y la velocidad de rotación en 60 rpm durante 10 min. Este proceso permitió fundir el PLA y distribuir la carga vegetal de forma relativamente uniforme en la matriz polimérica. La mezcla obtenida se dejó enfriar a temperatura ambiente, fragmentada manualmente y preparada para su conformado.
Para la elaboración de los materiales biocompuestos, se empleó un sistema de moldeo por compresión térmica utilizando una prensa hidráulica tipo CARVER. El material fragmentado se colocó dentro de moldes metálicos planos y se prensó a 180 °C con una presión constante de 5 Ton durante 5 min. Luego, las placas obtenidas se dejaron enfriar gradualmente bajo presión hasta alcanzar la temperatura ambiente, a fin de evitar deformaciones por contracción térmica.
Posteriormente, se cortaron probetas normalizadas destinadas a ensayos mecánicos. Las dimensiones y geometrías se basaron en las normas ASTM D638 para pruebas de tracción y ASTM D256 para impacto tipo Izod. Las probetas se almacenaron en condiciones controladas (23 °C y 50% de humedad relativa).

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

El análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizó con un equipo PerkinElmer DSC Diamond. Aproximadamente 8 mg de muestra fueron colocados en cápsulas de aluminio herméticamente selladas y sometidas a un ciclo térmico desde 25 °C hasta 200 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min bajo atmósfera de nitrógeno.

Análisis termogravimétrico (TGA)

La estabilidad térmica y el perfil de degradación fueron evaluados mediante análisis termogravimétrico (TGA), utilizando un equipo PerkinElmer TGA 7. Las muestras, de entre 5 y 10 mg, fueron calentadas desde temperatura ambiente hasta 600 °C a una velocidad de 10 °C/min en atmósfera inerte de nitrógeno.

Resistencia al impacto

La resistencia al impacto se evaluó conforme a la norma ASTM D256 utilizando un impactómetro tipo Izod. Las probetas fueron ranuradas manualmente para inducir la fractura y montadas en posición vertical. El péndulo impactó en la cara opuesta a la ranura, registrando la energía absorbida durante la fractura

Propiedades Mecánicas

Las pruebas se realizaron en una máquina universal de ensayos mecánicos marca Shimadzu AGS-X, equipada con celdas de carga de 5 kN. La velocidad de desplazamiento del cabezal fue de 5 mm/min, y durante la prueba se registraron los parámetros de esfuerzo máximo, módulo de Young y deformación máxima hasta el punto de ruptura. Cada ensayo fue replicado al menos cinco veces para cada formulación, y los datos fueron analizados estadísticamente mediante promedios y desviaciones estándar. Los especímenes se cortaron conforme a la norma ASTM D638, tipo IV.

CC BY NC ND

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

El análisis térmico mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) permitió evaluar el comportamiento térmico de las mezclas de ácido poliláctico (PLA) con cáscara de nuez en diferentes proporciones (ver tabla 1). Los parámetros que se identificaron fueron la temperatura de transición vítrea (T_g), la temperatura de cristalización en frío (T_c) y la temperatura de fusión (T_m), a fin de comprender el efecto de la incorporación del refuerzo lignocelulósico en la estructura térmica del PLA. Los resultados obtenidos indican que la temperatura de transición vítrea (T_g) se mantuvo constante en 60 °C para todas las formulaciones, desde la mezcla pura (100/0) hasta la de mayor contenido de carga (50/50). Este comportamiento sugiere que la presencia de la cáscara de nuez no interfiere significativamente con la movilidad de las cadenas amorfas del PLA en la región vítrea. La estabilidad de T_g también implica que no existe una interacción química fuerte entre la matriz y la carga que modifique drásticamente la estructura amorfa del polímero. Sun et al. (2022), reportaron que el PLA mantiene una T_g estable cuando se incorpora con fibras vegetales no reactivas químicamente, debido a la mínima interacción a nivel molecular entre la matriz y la carga. En contraste, se observó una tendencia descendente en la temperatura de cristalización (T_c) con el aumento del contenido de cáscara de nuez. Mientras que el PLA puro presentó una T_c de 100 °C, las mezclas con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de cáscara de nuez mostraron valores de 97 °C, 96 °C, 95 °C, 94 °C y 94 °C respectivamente. Esta disminución sugiere que las partículas vegetales actúan como agentes heterogéneos que alteran la cinética de cristalización del PLA. Sin embargo, la reducción no es abrupta, lo cual indica una interferencia moderada en el ordenamiento molecular, posiblemente debido a una dispersión parcial o a una compatibilidad física limitada entre los componentes. Ouchiar et al. (2016), evaluaron biocompuestos de PLA con diferentes residuos agrícolas y observaron una disminución de T_c como resultado del efecto barrera de las partículas vegetales, las cuales dificultan el crecimiento de cristales al interferir físicamente en el empaquetamiento ordenado de las cadenas poliméricas. Este fenómeno también ha sido interpretado como una consecuencia del efecto diluyente de la fase lignocelulósica en la estructura cristalina del PLA (SANJUÁN, 2023).

La temperatura de fusión (T_m) también evidenció una ligera disminución a medida que aumentó la proporción de carga vegetal. Para el PLA puro se registró una T_m de 151 °C, descendiendo gradualmente hasta 148 °C en las formulaciones con 40% y 50% de cáscara de nuez. Esta variación marginal puede asociarse con una disminución en la cristalinidad general del sistema, atribuible a la posible interferencia de las partículas de cáscara en la organización regular de las cadenas poliméricas durante el enfriamiento o recalentamiento. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Scaffaro et al. (2021), que documentaron que la incorporación de fibras vegetales no sólo reduce el grado de cristalinidad, sino también modifica levemente el punto de fusión del PLA al generar una distribución más heterogénea de cristales con menor perfección estructural. Esta disminución también ha sido atribuida a la presencia de microdefectos o zonas de discontinuidad en la matriz polimérica ocasionadas por la inclusión de partículas naturales con geometría irregular y polaridad superficial diferente (Reichert et al., 2020).

Estos resultados sugieren que, aunque la incorporación de la cáscara de nuez no altera significativamente la fase amorfa del PLA, sí afecta moderadamente el proceso de cristalización y la estabilidad térmica del material en estado fundido. Tales efectos pueden ser atribuibles a la presencia de componentes no poliméricos como lignina, celulosa y hemicelulosa en la cáscara, que interrumpen parcialmente la regularidad de la estructura semicristalina del PLA.

CC BY NC ND

Tabla 1. Resultados del análisis de DSC de los materiales Biocompuestos.

PLA/Nuez	T_g (°C)	T_c (°C)	T_m (°C)
100/0	60	100	151
90/10	60	97	150
80/20	60	96	149
70/30	60	95	149
60/40	60	94	148
50/50	60	94	148

Análisis termogravimétrico (TGA)

Los resultados del análisis termogravimétrico (TGA) se presenta en la figura 1. La gráfica de TGA muestra claramente las curvas de pérdida de masa en función de la temperatura, permitiendo identificar las etapas térmicas dominantes y cuantificar el efecto de la carga vegetal sobre la resistencia térmica de la matriz polimérica. La curva correspondiente al PLA puro (100/0) muestra una única etapa principal de degradación, que se inicia alrededor de 330 °C y culmina cerca de 390 °C, lo cual es característico del mecanismo de descomposición del PLA asociado a la ruptura de sus enlaces éster y la formación de productos volátiles como lactida. Esta descomposición bien definida coincide con lo reportado por Sun et al. (2022), que establecieron un intervalo de degradación térmica del PLA entre 320 y 380 °C en atmósfera de nitrógeno. Con la incorporación progresiva de cáscara de nuez (desde 10% hasta 50%), se observó un desplazamiento del inicio de la degradación hacia temperaturas ligeramente menores, junto con un ensanchamiento de la región de pérdida de masa. Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza térmicamente menos estable de los componentes lignocelulósicos presentes en la cáscara, tales como hemicelulosa, celulosa y lignina, que se degradan a temperaturas entre 200 y 380 °C. Según Petchwattana et al. (2020), la hemicelulosa suele degradarse alrededor de 200-280 °C, la celulosa entre 280-350 °C y la lignina entre 250-500 °C, lo que explica la superposición de eventos térmicos en las formulaciones con mayor contenido de carga.

En particular, se aprecia que las formulaciones con 40% y 50% de cáscara de nuez presentan una pérdida de masa más gradual y una mayor cantidad de residuo sólido a temperaturas superiores a 500 °C, lo cual se relaciona con la presencia de cenizas y residuos carbonosos originados por la lignina. Este resultado es similar a lo reportado por Sun et al. (2022), quienes observaron un aumento en la cantidad de residuo no volátil en compuestos PLA reforzados con fibras vegetales, y lo atribuyeron a la naturaleza aromática y parcialmente recalcitrante de las estructuras lignocelulósicas.

En cuanto a la temperatura de degradación máxima, se observó una leve disminución con el incremento de la carga vegetal, lo que sugiere que la incorporación de cáscara de nuez reduce la estabilidad térmica general del material. Sin embargo, esta reducción es moderada y no compromete significativamente la capacidad del material para ser procesado por métodos térmicos convencionales cuyas temperaturas de operación se mantienen por debajo de los 230 °C. Según SANJUÁN (2023), esta clase de comportamiento es común en biocompuestos donde la carga vegetal actúa como nucleante estructural, pero introduce puntos de inicio de degradación térmica anticipada.

El análisis TGA mostró que la incorporación de cáscara de nuez afecta de forma predecible el perfil de degradación térmica del PLA, sin alterar drásticamente su estabilidad dentro del intervalo de manufactura. Este tipo de respuesta es característico de materiales biocompuestos con fases orgánicas heterogéneas, y refleja la integración funcional de un residuo agroindustrial como componente activo del sistema polimérico. Los datos obtenidos refuerzan la viabilidad del desarrollo

CC BY NC ND

de materiales biodegradables reforzados, compatibles con procesos térmicos industriales y con propiedades ajustables en función del contenido de carga.

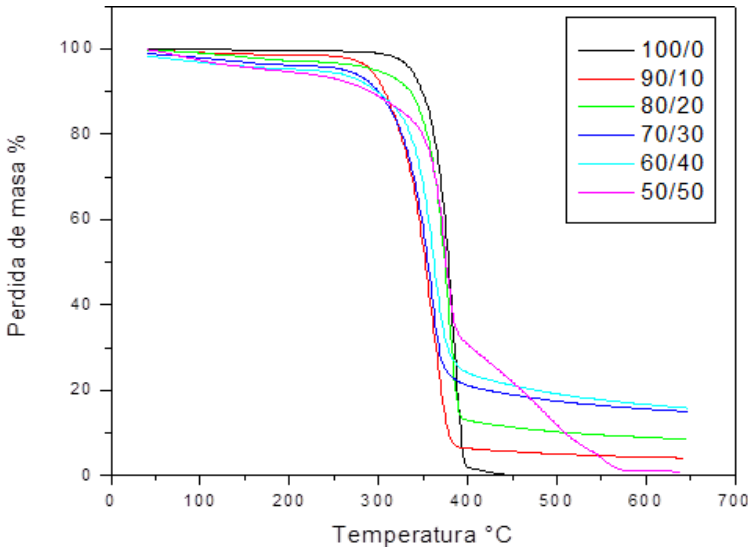


Figura 1. Resultados del análisis de TGA del material biocompuesto PLA/Nuez.

Resistencia al impacto

Los resultados de los ensayos de impacto se presentan en la figura 2. Este análisis sirvió para determinar la capacidad del material para absorber energía (ver figura 2B) bajo cargas dinámicas repentinas. Los resultados obtenidos muestran una tendencia no lineal en la resistencia al impacto conforme se incrementa la fracción de cáscara de nuez en la matriz de PLA (ver figura 2B). La formulación sin carga (100/0) presentó una resistencia al impacto de 1.27 J/m, la más alta del conjunto, lo cual es característico del PLA puro con buena cohesión interna. Sin embargo, al incorporar 10% de cáscara de nuez, la resistencia disminuyó drásticamente a 0.95 J/m, evidenciando una pérdida de integridad estructural inicial debido posiblemente a una mala dispersión o pobre adhesión interfacial entre la carga vegetal y la matriz. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado por Nirmal Kumar et al. (2022), quienes afirman que la introducción de fibras vegetales no tratadas puede actuar inicialmente como puntos de iniciación de fractura si no se logra una buena compatibilidad química. A partir del 20% de carga, se observa una recuperación progresiva de la resistencia al impacto. La formulación con 50% de cáscara alcanzó 1.24 J/m, un valor comparable al PLA puro, lo que sugiere que, a mayores concentraciones, la carga vegetal no solo deja de ser un defecto, sino que contribuye mecánicamente al comportamiento del material. Esta mejora puede estar relacionada con un cambio en el mecanismo de fractura, donde la distribución más densa de partículas permite mayor absorción de energía por mecanismos como el desvío de grietas, la fricción interfacial o la deformación de las partículas vegetales. SANJUÁN (2023) observaron comportamientos similares en compuestos PLA reforzados con residuos agrícolas, indicando que una mayor cantidad de carga puede inducir fenómenos de toughening por microfragmentación y deflexión de grieta. Además, estudios como el de Mysiukiewicz y Barczewski (2020) han mostrado que la morfología y tamaño de partícula de la carga vegetal influyen significativamente en la capacidad del material para resistir impactos. Cuando las partículas están suficientemente dispersas y bien ancladas en la matriz, pueden actuar como sitios de absorción de energía, lo cual explicaría el desempeño creciente de las formulaciones con 30% o más de cáscara de nuez. Sin embargo, es

CC BY NC ND

importante señalar que esta mejora no implica un comportamiento completamente dúctil, ya que el material mantiene su fragilidad característica, aunque con una mayor capacidad de disipación de energía en los niveles más altos de carga.

Estos resultados muestran que la adición controlada de cáscara de nuez puede optimizar la respuesta al impacto del PLA si se superan las barreras de dispersión y compatibilidad interfacial. Las formulaciones con 40% y 50% de carga se comportan de manera comparable o incluso ligeramente superior al PLA puro, lo cual resulta prometedor para aplicaciones donde se requiere cierto nivel de tenacidad sin sacrificar biodegradabilidad.

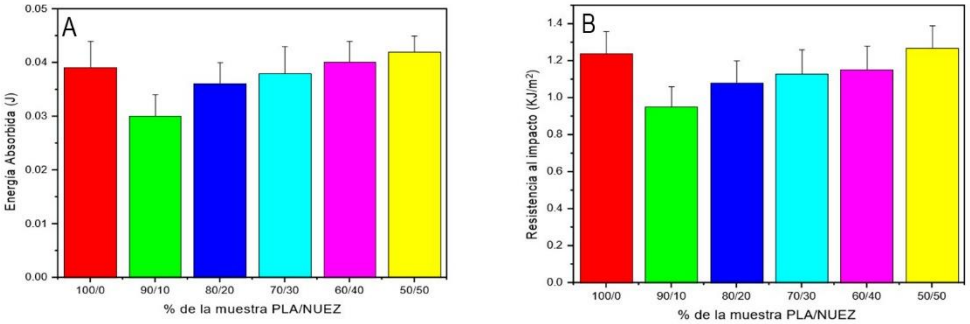


Figura 2. Resultados de las pruebas de impacto: A, Energía absorbida; B, Resistencia al impacto.

Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los biocompuestos PLA/cáscara de nuez se evaluaron mediante ensayos de tracción para determinar la resistencia máxima, el módulo de elasticidad y la deformación unitaria y se presentan en la tabla 2. Los resultados indican una clara disminución en las propiedades mecánicas a medida que se incrementa la concentración de cáscara de nuez en la matriz polimérica, mostrando la influencia de la carga lignocelulósica sobre la integridad estructural del PLA. El PLA puro (100/0) presentó los valores más altos en todos los parámetros evaluados, con una resistencia a la tracción de 45.6 MPa, una deformación máxima del 2.9% y un módulo de elasticidad de 4866 MPa. Estos resultados son similares con lo reportado en la literatura para PLA semicristalino procesado por compresión (Sun et al., 2022). Al incorporar un 10% de cáscara de nuez, se observó una disminución notable en la resistencia (31.7 MPa) y en la deformación (1.78%), así como una reducción significativa del módulo de elasticidad (3141 MPa). Este comportamiento podría deberse a una interferencia inicial de las partículas vegetales con la continuidad de la matriz y una posible falta de adhesión interfacial efectiva. A partir de 20% de carga, la disminución en las propiedades mecánicas se observa más pronunciada. En la formulación con 50% de cáscara de nuez, la resistencia a la tracción cayó a 5.24 MPa y el módulo disminuyó a 1622 MPa, mientras que la deformación máxima fue del 0.3%. Esta degradación del comportamiento mecánico se asocia a factores, como la baja compatibilidad entre la matriz hidrofóbica y la carga hidrofílica, la posible aglomeración de partículas y la generación de defectos estructurales que actúan como iniciadores de fractura (Shi et al., 2015).

El comportamiento observado es congruente con lo reportado en estudios similares sobre biocompuestos reforzados con fibras vegetales. Stevens (2013) señalaron que, sin el uso de agentes compatibilizantes, el aumento en la fracción de carga vegetal suele deteriorar las propiedades de

CC BY NC ND

tracción debido a la frágil adhesión interfacial y a la discontinuidad estructural inducida por la presencia de partículas rígidas y heterogéneas. No obstante, también se ha documentado que esta pérdida de propiedades puede ser controlada o incluso revertida mediante el uso de tratamientos químicos a la carga, como el acoplamiento con anhídrido maleico o silanos, que mejoran la afinidad química entre fases (SANJUÁN, 2023). Si bien los resultados indican una disminución significativa en el rendimiento mecánico con el aumento del contenido de cáscara de nuez, es importante considerar que el objetivo del material no es competir con polímeros estructurales de alto rendimiento, sino ofrecer una solución biodegradable y de bajo impacto ambiental para aplicaciones donde no se requiere alta resistencia mecánica. La reducción en las propiedades puede ser aceptable en productos de un solo uso, empaques secundarios o componentes biodegradables de baja exigencia estructural.

Tabla 2. Resultados de las pruebas a tensión de materiales biocompuestos.

PLA/Nuez	Resistencia a la tensión (MPa)	Deformación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
100/0	45.6 ± 4.5	2.9 ± 0.29	4866.48 ± 1992.97
90/10	31.68 ±5.03	1.78 ± 0.27	3140.98 ± 830.28
80/20	13.14 ± 2.04	0.56 ± 0.07	1707.84 ± 124.44
70/30	13.93 ± 1.53	0.58 ± 0.08	1996.93 ± 612.54
60/40	8.97 ± 1.86	0.38 ± 0.06	1897.91 ± 287.08
50/50	5.24 ± 0.063	0.30 ± 0.04	1621.84 ± 295.62

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El objetivo de la investigación fue caracterizar el comportamiento de los materiales biocompuestos elaborados con PLA/nuez y analizar el efecto de la concentración de carga vegetal sobre la estructura del material. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la incorporación de cáscara de nuez como carga lignocelulósica en matrices de ácido poliláctico (PLA) permite modificar sus propiedades térmicas y mecánicas. Los análisis térmicos mostraron que, si bien la temperatura de transición vítrea se mantuvo constante, se evidenció una ligera reducción en la cristalización y la temperatura de fusión del PLA, así como una disminución moderada de su estabilidad térmica. Los resultados de las propiedades mecánicas mostraron una pérdida progresiva en resistencia a la tracción y módulo de elasticidad con el incremento de la carga, atribuida a una pobre interacción interfacial entre matriz y refuerzo. No obstante, a partir de 30% de cáscara de nuez se evidenció una recuperación de la resistencia al impacto, lo que sugiere un efecto toughening por dispersión y deflexión de grietas inducida por las partículas vegetales. Estos resultados son relevantes para el desarrollo de materiales sostenibles, debido a que es posible reutilizar residuos agroindustriales en biopolímeros de bajo impacto ambiental. Los biocompuestos PLA/cáscara de nuez estudiados poseen potencial para aplicaciones no estructurales como empaques biodegradables, utensilios de un solo uso y productos que requieran resistencia moderada, aportando a la transición hacia una economía circular y al diseño de materiales ecológicamente responsables.

REFERENCIAS

Afshar, S. V., Boldrin, A., Christensen, T. H., Corami, F., Daugaard, A. E., Rosso, B., & Hartmann, N. B. (2025). Disintegration of commercial biodegradable plastic products under simulated industrial composting conditions. Scientific Reports, 15(1), 8569.

Kuram, E. (2022). Advances in development of green composites based on natural fibers: A review. Emergent Materials, 5(3), 811-831.

Mysiukiewicz, O., & Barczewski, M. (2020). Crystallization of polylactide-based green composites filled with oil-rich waste fillers. Journal of Polymer Research, 27, 1-17.

Nirmal Kumar, K., Dinesh Babu, P., Surakasi, R., Kumar, P. M., Ashokkumar, P., Khan, R.,…Gebreyohannes, D. T. (2022). Mechanical and thermal properties of bamboo fiber–reinforced PLA polymer composites: A critical study. International Journal of Polymer Science, 2022(1), 1332157.

Ouchiar, S., Stoclet, G., Cabaret, C., & Gloaguen, V. (2016). Influence of the filler nature on the crystalline structure of polylactide-based nanocomposites: new insights into the nucleating effect. Macromolecules, 49(7), 2782-2790.

Petchwattana, N., Naknaen, P., & Narupai, B. (2020). Combination effects of reinforcing filler and impact modifier on the crystallization and toughening performances of poly (lactic acid). Express Polymer Letters, 14(9).

RameshKumar, S., Shaiju, P., & O'Connor, K. E. (2020). Bio-based and biodegradable polymers-State-of-the-art, challenges and emerging trends. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 21, 75-81.

Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M.-B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I.,…Agostinis, L. (2020). Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. Polymers, 12(7), 1558.

SANJUÁN, L. A. E. (2023). Caracterización química, física y mecánica de materiales compuestos con matriz de ácido poliláctico y refuerzo particulado de cáscaras de marañón elaborados a través de la técnica de moldeo por deposición fundida.

Scaffaro, R., Maio, A., Gulino, E. F., Alaimo, G., & Morreale, M. (2021). Green composites based on PLA and agricultural or marine waste prepared by FDM. Polymers, 13(9), 1361.

Shi, X., Zhang, G., Phuong, T. V., & Lazzeri, A. (2015). Synergistic effects of nucleating agents and plasticizers on the crystallization behavior of poly (lactic acid). Molecules, 20(1), 1579-1593.

Stevens, C. V. (2013). Bio-based plastics: materials and applications. John Wiley & Sons.

Sun, Y., Zheng, Z., Wang, Y., Yang, B., Wang, J., & Mu, W. (2022). PLA composites reinforced with rice residues or glass fiber—a review of mechanical properties, thermal properties, and biodegradation properties. Journal of Polymer Research, 29(10), 422.

Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable polymers. Materials, 2(2), 307-344.

CC BY NC ND

Estudio exploratorio sobre la implementación de dos metodologías de desarrollo de software en un contexto escolar

Exploratory study on the implementation of two software development methodologies in a school context

Diana Concepción Mex Alvarez [1]
Juan Miguel Durán Lugo [2]
Denice Ivet González Góngora [3]
Zurisaddai Alejandro Mayo [4]

RESUMEN

Actualmente las instituciones educativas de educación superior tienen el reto de recrear escenarios reales del campo laboral, por lo que los estudiantes de la Licenciatura como Ingeniero en Sistemas Computacionales, requieren generar las competencias necesarias en el desarrollo de metodologías para la creación de software. En este trabajo expone los hallazgos de un estudio exploratorio sobre la selección, implementación y reflexión de una metodología tradicional y una ágil en equipos de desarrollo de software de proyectos escolares. Para ello se construyó un instrumento con indicadores relevantes, obtenidos de una revisión sistemática de literatura. En los resultados obtenidos se observa que los proyectos desarrollados bajo la metodología tradicional con el modelo de Cascada presentan un desempeño predominantemente intermedio, donde la autoevaluación crítica y la producción de evidencias o artefactos se mantuvieron en valores reducidos, lo que refleja limitaciones en la retroalimentación y en la formalización del proceso. Los proyectos gestionados con la metodología ágil bajo el marco de trabajo Scrum, alcanzaron mejores resultados en la mayoría de los criterios evaluados, no obstante, se identificaron áreas de mejora en la comparación con Cascada y en la generación de evidencias o documentación, en donde los puntajes se concentraron en niveles medios.

PALABRAS CLAVES: Metodologías de desarrollo, software, cascada, scrum, instrumento.

Fecha de recepción: 26 de agosto, 2025.

Fecha de aceptación: 30 de septiembre, 2025.

[1] Universidad Autónoma de Campeche, diancmex@uacam.mx, https://orcid.org/0000-0001-9419-7868
[2] Universidad Autónoma de Campeche, jumduran@uacam.mx, https://orcid.org/0000-0001-7179-4301
[3] Dirección General de Educación Tecnológica Industrial, denice.ivet.ce82@dgeti.sems.gob.mx, https://orcid.org/0009-0000-1057-1796
[4] Dirección General de Educación Tecnológica Industrial, zurisaddai.alejandro.cb9@dgeti.sems.gob.mx, https://orcid.org/0009-0007-6451-4536

ABSTRACT

Currently, higher education institutions have the challenge of recreating real scenarios of the labor field, so students of the Bachelor's Degree in Computer Systems Engineering, need to generate the necessary skills in the development of methodologies for the creation of software. This paper presents the findings of an exploratory study on the selection, implementation and reflection of a traditional and an agile methodology in software development teams of school projects. For this purpose, an instrument was constructed with relevant indicators, obtained from a systematic literature review. The results obtained show that the projects developed under the traditional methodology with the Waterfall model present a predominantly intermediate performance, where critical self-evaluation and the production of evidence or artifacts remained at low values, reflecting limitations in the feedback and formalization of the process. The projects managed with the agile methodology under the Scrum framework achieved better results in most of the evaluated criteria, however, areas for improvement were identified in the comparison with Waterfall and in the generation of evidence or documentation, where the scores were concentrated in medium levels.

KEYWORDS: Development methodologies, software, waterfall, scrum, tool.

INTRODUCCIÓN

El modelo de cascada es forma parte de las metodologías tradicionales, que dividen el proyecto en fases basadas en el tipo de trabajo como: toma de requerimientos, diseño de la arquitectura, desarrollo del software, pruebas y despliegue (Bibik, 2018).

Uno de los problemas con estas metodologías es que se podría llevar demasiado tiempo, meses o incluso años en obtener resultados finales.

Esto conlleva que a veces se descubra hasta en la etapa final que el diseño original era incorrecto, además que muchas cosas pueden ir cambiando en el transcurso.

En 1986 Alfred Spector, entonces presidente de Transarc Corporation, fue coautor de un documento que compara la construcción de puentes con el desarrollo del software. Considerando que la metodología de cascada se generó en la industria de la construcción, Alfred propuso una premisa, la cual es que los puentes normalmente se construyen a tiempo o dentro del presupuesto, debido al detalle extremo del diseño, el cual está congelado y el contratista tiene poca flexibilidad de cambiar las especificaciones. Por otro lado, el software nunca llega a tiempo o dentro del presupuesto, con el supuesto que el diseño requiere cierta flexibilidad para cambiar las especificaciones. (Standish Group, 1994)

En consecuencia, desde la década de los 90, han surgido nuevas metodologías (Carvajal, 2008) y a fines de los 90 trasciende una corriente caracterizada por la desaprobación de los supuestos beneficios de las metodologías, que dan lugar a la era postmetodológica, de donde surgen las metodologías ágiles al ser las más adecuadas para proyectos pequeños donde el entorno del sistema es muy cambiante y se exige reducir al máximo los tiempos de desarrollo manteniendo una alta calidad. (Garcés & Egas, 2015)

Las metodologías de desarrollo ágil procuran realizar los procesos de software de acuerdo con las prácticas que le han dado resultados al grupo. En las metodologías pesadas se desarrolla de acuerdo con las normas sugeridas por los estándares de desarrollo.

En las metodologías ágiles por la misma capacidad de reacción son más adaptables a los cambios, por el contrario, en las metodologías pesadas por el nivel de formalidad en la fase de requerimientos son más resistentes al cambio. Por su capacidad de adaptación el proceso se hace menos controlado que en las metodologías tradicionales que ejercen mayor control en el proceso por su nivel de formalización. (Rivas et al, 2015).

Respecto a la documentación, las metodologías ágiles no se hacen énfasis en la documentación excesiva, sino en los Artefactos que se generan a diferencia de las metodologías pesadas, en el caso de los equipos de trabajo, se generan con un bajo número de participantes y perfiles, por el contrario, en las metodologías pesadas se sugieren varios roles que proporcionan las normas.

Las metodologías ágiles, debido a su flexibilidad; se basan en la adaptación y la inspección continua por lo que generan marcos de trabajo que definen qué, quién, cuándo y por qué, pero no con la rigurosidad de un modelo, a eso le llamamos Marcos de trabajo como Scrum, Crystal Methodologies, Dynamic Systems Development Method (DSDM), Adaptive Software Development (ASD), Feature-Driven Development (FDD) y Kanban. (Molina, 2013)

Para los fines de esta investigación, se eligió la metodología Scrum, la cual tiene iteraciones cortas como llamadas Sprints, tiene roles en el equipo, eventos y artefactos. La ventaja principal es que puede incorporar lo mejor tanto de XP como de Kanban según la situación y necesidades. En la tabla 1, se muestra la Comparación de Scrum y otras metodologías.

Tabla 1. Comparación de Scrum y otras metodologías.

Scrum	Otras
Estructura de reuniones formales, roles e iteraciones bien definidos.	**Kanban:** Sin reuniones formales, roles e iteraciones indefinidos.
La mayor prioridad es la productividad lo que lleva a la satisfacción del cliente y es más flexible.	**XP:** Menor flexibilidad y prioridad a la productividad.
Comunicación efectiva entre miembros del equipo, Menor complejidad involucrada.	**FDD:** Menor comunicación, procesos involucrados más complejos.
Mejor comunicación entre los miembros del equipo.	**DSDM:** Menor comunicación entre los miembros del equipo.
Procedimientos seguidos son fáciles y complejos.	**ASD:** Complejidad en la estructura de los procesos.
Los requerimientos de usuario definen estrictamente el desarrollo y planificación, mejor trazabilidad.	**Crystal:** Menor consideración con los requerimientos de usuario, dificultad de dar seguimiento al trabajo realizado.

Fuente: Srivastava et al., 2017.

En conclusión, en Scrum se da prioridad a los individuos y las interacciones más que a los procesos y a las herramientas, a los sistemas funcionando antes que, a la documentación detallada, a la colaboración con el cliente antes que la negociación de contratos, a la respuesta al cambio antes que seguir el plan. (Srivastava et al, 2017)

Considerando que cada metodología debe ser capaz de adaptarse a las circunstancias del proyecto, así como al tipo de sistema empleado, tiempos de desarrollo y recursos, se dice que no existe una metodología universal que afronte cualquier tipo de proyecto de desarrollo de software.

A lo largo de la historia, las metodologías tradicionales con un gran esfuerzo han intentado adaptarse a las diferentes situaciones de los proyectos los cuales presentan requisitos que van cambiando a lo largo del desarrollo del proyecto.

En este trabajo expone los hallazgos de un estudio exploratorio sobre la selección, implementación y reflexión de una metodología tradicional y una ágil en equipos de desarrollo de software de proyectos escolares.

JUSTIFICACIÓN

La elección de una metodología de desarrollo de software constituye un elemento central en la gestión de proyectos, ya que influye directamente en la organización de las actividades, el cumplimiento de objetivos y la calidad de los resultados. (Yepes González et al,2015)

En el ámbito académico, los proyectos de software se configuran como espacios formativos donde los estudiantes adquieren no solo competencias técnicas, sino también habilidades de planificación, comunicación y trabajo colaborativo. Bajo este contexto, resulta pertinente llevar a cabo un estudio exploratorio que examine la selección, implementación y reflexión en torno al uso de una metodología tradicional, como el modelo en cascada, y una metodología ágil, como Scrum, dentro de equipos de desarrollo en proyectos escolares. El carácter exploratorio de la investigación permitirá analizar de qué manera los estudiantes interpretan y adaptan metodologías profesionales a entornos educativos con recursos, tiempos y objetivos delimitados. (Orjuela & Rojas, 2008).

METODOLOGÍA

El estudio es un diseño no experimental, de tipo cuantitativo con alcance exploratorio, ya que no se manipularán variables y los datos se recolectarán en un solo momento en el tiempo. Este diseño es adecuado para poder abordar los fenómenos que aún no han sido ampliamente estudiados en este contexto. El alcance de este trabajo no abarca el ofrecer soluciones finales ni conclusivas acerca de los problemas existentes en el área, sino proporcionar un análisis descriptivo que sirva como base para futuras investigaciones y la implementación de estrategias de mejora.
A través del análisis de los datos obtenidos, se podrán identificar aspectos clave que contribuyan a comprender la forma en la que aplican las metodologías y con ello fortalecer el conocimiento y las prácticas las metodologías tradicionales y ágiles.

Construcción del instrumento.
Para obtener la información relevante sobre el empleo de las metodologías tradicionales y ágiles, se empleó la revisión sistemática de literatura con la finalidad de recabar los principales indicadores y con ello generar nuestro propio instrumento. (Biolchini, Gomes, Cruz, y Travassos, 2005)".

(1) Enfoque de la pregunta:
Está investigación se llevó a cabo para analizar el conjunto de indicadores para conocer el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares.

(2) Amplitud y calidad de la pregunta
(a) Problema:

Actualmente las instituciones educativas de educación superior tienen el reto de recrear escenarios reales del campo laboral, por lo que los estudiantes de la Licenciatura como Ingeniero en Sistemas

CC BY NC ND

Computacionales, requieren generar las competencias necesarias en el desarrollo de metodologías tradicionales y ágiles para la creación de software.

(b) Pregunta:

¿Cuáles son los indicadores más relevantes para conocer el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares?

(c) Población:

Publicaciones y estudios previos sobre el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares

(3) Identificación y selección de fuentes.

(a) Definición de los criterios de la selección de fuentes:

- Utilizar mecanismos de búsqueda con palabras claves.
- Publicaciones recomendadas por otros autores.
- Publicaciones disponibles en sitios web.

(b) Idioma de los estudios:

- Español
- Inglés

(4) Métodos de búsqueda de fuentes

Para llevar a cabo esta revisión sistemática, se realizó una investigación empleando bases de datos de artículos y resúmenes de literatura arbitrada para seleccionar los documentos que contengan información relevante sobre el tema.

(a).- Cadena de búsqueda

Mediante la combinación de las palabras identificadas, se aplicaron los conectores lógicos “AND”, “OR” y “NOT” para formar una cadena básica de búsqueda general (ver tabla 2).

Tabla 2 - Cadena de búsqueda.

Palabras clave con operadores lógicos
(“Metodologías tradicionales” OR “Metodologías ágiles” OR “Cascada” OR “Scrum”) AND (“Nivel de empleo” OR “Apropiación” OR “Indicadores” OR “Evaluación”) AND (“contexto escolar” OR “estudiantes” OR “alumnado” OR “educación superior”)

Fuente: Elaboración propia

(b).- Lista de fuentes

- Google Académico
- Redalyc
- SciELO
- Dialnet

(c).- Definición de criterios de inclusión (CI) de estudios y de exclusión (CE) de estudios

En la definición de criterios de inclusión (CI) de estudios y de exclusión (CE) de estudios, se identificaron 4 y 2, respectivamente, los cuales se muestran en la tabla 3.

CC BY NC ND

Tabla 1 - Definición de criterios de inclusión y exclusión de estudios.

Criterio	*Descripción*
CI1	*Incluye estudios sobre el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares*
CI2	*Incluye publicaciones que contengan términos clave relacionados el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares*
CI3	*Incluye estudios con metodologías aplicada en poblaciones estudiantiles.*
CI4	*Incluye investigaciones revisadas y de acceso público.*
CI5	*Incluye estudios que presentan análisis cuantitativos sobre el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares*
CE1	*Excluye estudios que no aborden directamente sobre el empleo de metodologías tradicionales y ágiles en contextos escolares.*
CE2	*Excluye todas las publicaciones duplicadas.*
CE3	*Excluye estudios que no presenten una metodología clara o carecen de datos verificables.*
CE4	*Excluye documentos que no puedan ser visualizados de manera directa o parcialmente.*

Fuente: Elaboración propia

(5) Ejecución de la Extracción

El conjunto de documentos recopilados fue organizado utilizando plantillas que facilitan la extracción de datos relevantes. La evaluación se realizó analizando las ideas principales, siguiendo criterios específicos para incluir o descartar información. En algunos casos, ciertos artículos no abordaban el tema con suficiente profundidad, por lo que se procedió a examinar e interpretar la introducción para obtener una mejor comprensión del enfoque de la investigación. Esto ayudó a determinar si el contenido de los artículos estaba relacionado con el tema de estudio.

La información extraída de las publicaciones consideradas como fuentes primarias fue registrada en las plantillas correspondiente. En la tabla 4, se ejemplifica cómo se utilizó en el análisis de uno de los estudios seleccionados.

CC BY NC ND

Tabla 4 – Ejemplo de almacenamiento de la información.

Título	Modelo de Evaluación de Metodologías para el Desarrollo de Software
Año	2006
Autores	Méndez Nava Elvia Margarita
Resumen	El objetivo general del trabajo es diseñar un modelo de evaluación de metodologías para el desarrollo de software. Se plantean tres objetivos específicos: Identificar variables para la evaluación de metodologías aplicadas al desarrollo de software, diseñar el modelo de evaluación de metodologías y desarrollar la matriz de evaluación de metodologías.

Fuente: Elaboración propia

(6) Construcción del instrumento.

De acuerdo con la información extraída, el instrumento resultante se compuso de 19 indicadores, clasificados en 4 secciones de acuerdo con la finalidad de la pregunta. Posteriormente por cada indicador se desarrolló un reactivo de opción múltiple donde se establecieron cinco escalas de Likert con diferentes niveles: bajo, regular, suficiente, bueno y excelente En la tabla 5, se presentan los 19 indicadores con sus identificadores (Id_indicador), clasificados por sección.

Tabla 5 – Ejemplo de almacenamiento de la información.

	Id_indicador	Indicador
Sección 1: Comprensión del Modelo de Proceso	A	Identificación clara del modelo utilizado (nombre, tipo, origen).
	B	Explicación adecuada de los fundamentos y fases del modelo.
	C	Descripción crítica de ventajas y desventajas.
	D	Comparación con al menos otro modelo de proceso
	E	Comprensión de cómo el modelo se ajusta al ciclo de vida del software.
Sección 2: Justificación de la Elección del Modelo	F	Análisis del contexto del proyecto para justificar la elección.
	G	Relación entre el modelo y el tamaño/alcance del software.
	H	Consideración del grado de claridad de los requisitos.
	I	Ajuste del modelo a los recursos y tiempo disponibles.
Sección 3: Aplicación Práctica del Modelo	J	Implementación coherente de las fases del modelo.
	K	Gestión adecuada de requerimientos.
	L	Planificación, estimación y seguimiento del trabajo.
	M	Gestión del cambio a lo largo del desarrollo.
	N	Asignación de roles según el modelo.

CC BY NC ND

	O	Generación de evidencias o artefactos (documentos, tableros, actas, etc.)
Sección 4: Reflexión y Mejora	P	Autoevaluación crítica del proceso seguido
	Q	Identificación de lecciones aprendidas.
	R	Propuestas de mejora para el modelo aplicado.
	S	Adaptabilidad del modelo según el desarrollo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

El instrumento resultante se digitalizó en la herramienta de Google Forms.

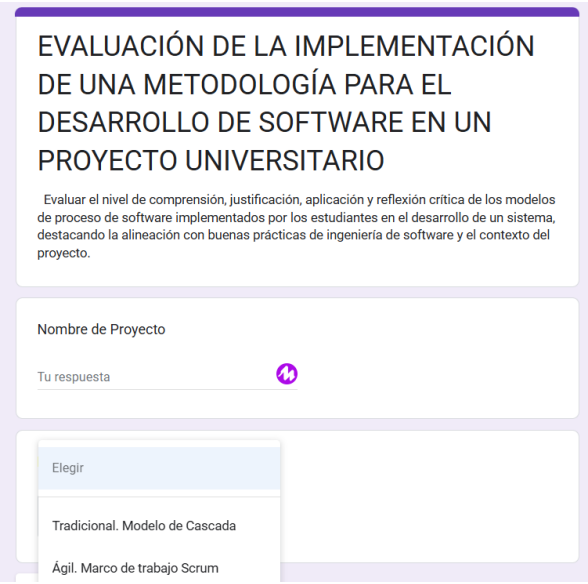


Figura 1. Portada de instrumento digitalizado.
Fuente: Elaboración propia

Definición de la población

La población para estudiar se compuso por 65 estudiantes de la licenciatura de Ingeniero en Sistemas Computacionales de una Institución de Educación Superior del Estado de Campeche, organizados en trece equipos de cinco integrantes.
Todos los estudiantes cursan el mismo ciclo escolar y recibieron la capacitación sobre las diferentes metodologías para el desarrollo de software. De acuerdo con su afinidad, cinco equipos eligieron emplear el modelo de cascada y ocho la metodología ágil de scrum para el desarrollo de un proyecto de software, el cual desarrollaron en tres meses.

Aplicación del instrumento.

Una vez liberado el proyecto de software, un grupo de tres investigadores, aplicaron la técnica de entrevista a los integrantes de cada equipo de trabajo, para posteriormente verter los resultados en el instrumento por cada equipo, los cuales se presentan en la tabla 5.

CC BY NC ND

Tabla 6 – Valores obtenidos en la aplicación de la encuesta.

Equipo	Indicador																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	3	3	3	2	4	3	4	4	3	5	5	5	4	4	4	5	5	3	5
2	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	5	4	4	3	4	4	4	3
3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3
4	4	4	3	2	4	4	4	4	5	5	4	5	4	3	3	3	3	3	5
5	3	3	3	2	3	2	3	3	4	5	5	5	5	4	3	5	4	4	4
6	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3
7	3	3	3	2	3	3	3	3	4	5	5	5	4	3	3	4	4	4	4
8	3	3	3	2	3	2	3	3	4	5	5	5	5	4	3	5	4	4	4

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la confiabilidad

La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach de acuerdo con los valores obtenidos en la aplicación de la encuesta:

Siendo que:

$$\alpha = \frac{k}{k-1}(1 - \frac{\Sigma {\sigma_x}^2}{{\sigma^2}_x})$$

Donde:

$$\alpha = \frac{19}{19-1}(1 - \frac{10.982}{66.99})$$

El resultado es de 0.88, considerado “Muy Alto” de acuerdo con los criterios de George y Mallery (2024).

.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Análisis de los datos.

Una vez recolectados los datos del cuestionario, se procesaron en Excel, obteniendo los valores estadísticos, presentados en la tabla 7.

Tabla 7 – Valores estadísticos, ordenados por media.

Indicador	μ	σ	Nivel mínimo	Nivel máximo	Indicadores relevantes (niveles 4-5)
L	4.75	0.463	4	5	8
J	4.375	0.916	3	5	6
K	4.375	0.744	3	5	7
P	4.25	0.707	3	5	7
M	4.25	0.463	4	5	8

CC BY NC ND

S	3.875	0.835	3	5	5
N	3.75	0.463	3	4	6
Q	3.75	0.707	3	5	5
R	3.75	0.463	3	4	6
I	3.625	0.744	3	5	4
E	3.625	0.518	3	4	5
G	3.375	0.518	3	4	3
H	3.375	0.518	3	4	3
O	3.375	0.518	3	4	3
B	3.125	0.354	3	4	1
A	3.125	0.354	3	4	1
C	3	0.000	3	3	0
F	2.875	0.641	2	4	1
D	2.375	0.518	2	3	0

Fuente: Elaboración propia

La media (μ) nos presenta el nivel promedio de la frecuencia por cada indicador, por lo tanto, los valores altos denotan mayor presencia del rango. El indicador L, es el que presenta una mayor media con un valor de 4.75, es decir, que los participantes expresan un acuerdo casi total. Por otro lado, los indicadores K, J, P y M, tienen una media alta con valores que oscilan entre 4.25 y 4.38. Los indicadores con una media moderada-alta son S, N, Q, R, I, E (3.63-3.88) y G, H, O (3.38) al tener una media moderada, muestran neutralidad de opiniones. Por último, los indicadores A, B, F, C y D, con una media baja-moderada, nos presentan que los grupos no tienen afinidad con ellos.

A través de la desviación estándar (σ), obtuvimos que tan dispersas están las respuestas. El rango de las desviaciones va de 2.38 a 4.75, por lo que hay una dispersión notable, por lo tanto, valoraciones variadas.

En las columnas nivel mínimo y nivel máximo, presentan las escalas de Likert de mayor y menor valor por cada indicador, destacando que el valor más bajo que fue elegido fue el 2.
Por último, en la columna de indicadores relevantes, se muestran cuántas veces fueron elegidos los niveles 4 o 5, en cada indicador, destacando L y M con 8, K y P con 7, así como J y N con 6.

A través de un histograma, en las figuras 2, 3, 4 y 5 se presentan los resultados de los cinco equipos que implementaron la metodología tradicional de cascada, donde el eje x representa cada uno de los niveles de la escala de Likert y la cantidad de equipos que obtuvieron ese nivel está representado en el eje de las y.

La figura 2, correspondiente a la categoría “Comprensión del Modelo de Proceso”, destaca con los indicadores “Explicación adecuada de los fundamentos y fases del modelo”, “Comparación con al menos otro modelo de proceso” y “Comprensión de cómo el modelo se ajusta al ciclo de vida del software” los cuatro equipos tuvieron un nivel 3 (suficiente), siendo el más alto.

CC BY NC ND

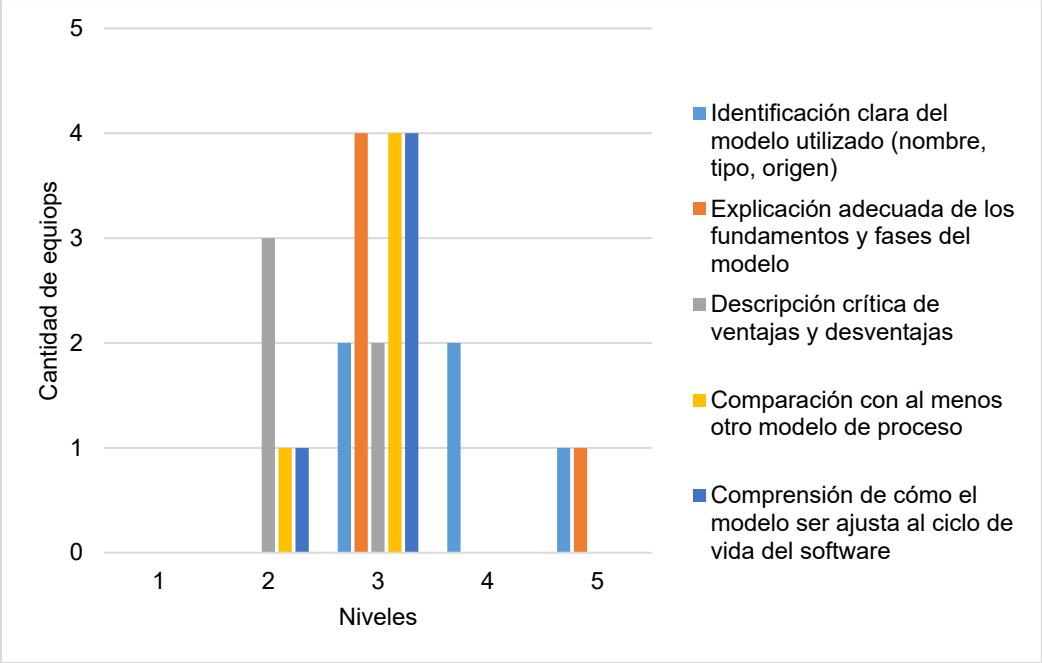


Figura 2. Comprensión de la metodología
Fuente: Elaboración propia

Respecto a la categoría "Justificación de la Elección del Modelo", en la figura 3 podemos observar que los indicadores "Ajuste del modelo a los recursos y tiempo disponibles" y "Relación entre el modelo y el tamaño/alcance del software" los cinco equipos tuvieron un nivel 2 (regular). Otro indicadore a destacar es el "Análisis del contexto del proyecto para justificar la elección" donde cuatro equipos obtuvieron el nivel 2 (regular). Es notorio que ningún equipo tuvo niveles de bueno o excelente.

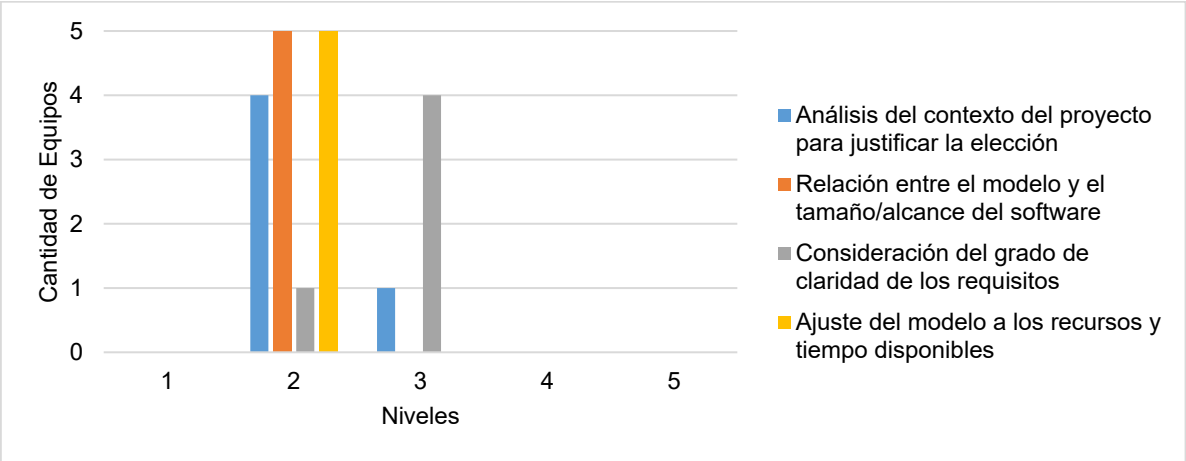


Figura 3. Justificación de la Elección de la Metodología
Fuente: Elaboración propia

En la categoría "Aplicación Práctica de la Metodología" observamos de acuerdo con la figura 4 que los indicadores "Planificación, estimación y seguimiento del trabajo" y "Asignación de roles según

CC BY NC ND

modelo" cuatro de los cinco equipos obtuvieron el tuvieron el nivel 3 (suficiente) y en el indicador "Gestión adecuada de requerimientos" cuatro equipos alcanzaron el nivel 4 (bueno) y un equipo el nivel 5 (excelente).

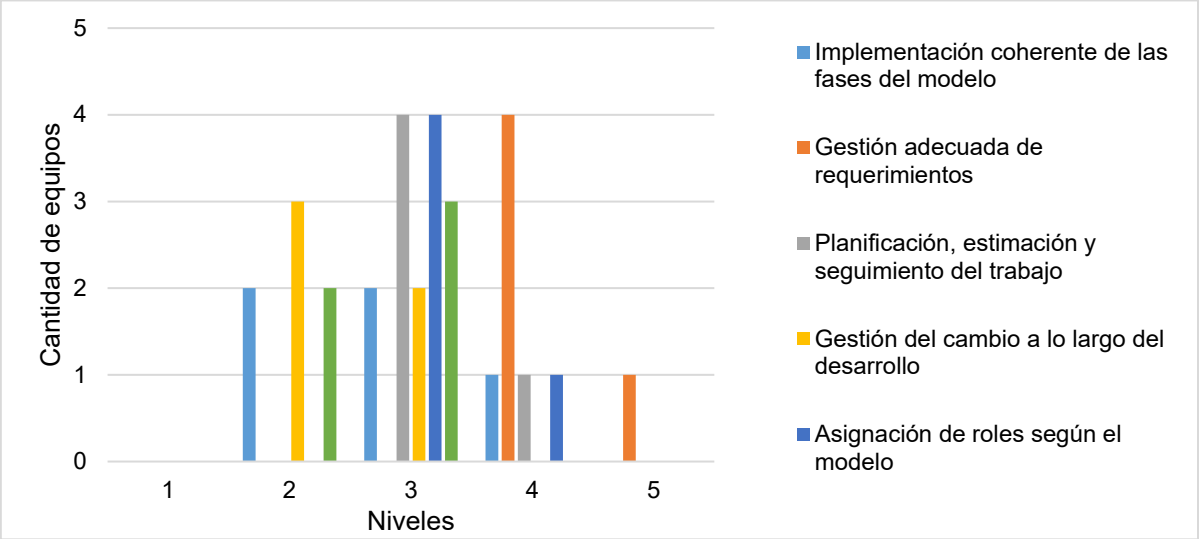


Figura 4. Aplicación Práctica de la Metodología
Fuente: Elaboración propia

En la categoría "Reflexión y mejora" que hace referencia la figura 5 que el indicador "Autoevaluación crítica del proceso seguido" obtuvo los 5 equipos con el nivel 2 (regular) y el indicador "Adaptabilidad del modelo según del desarrollo del proyecto" tuvo un equipo con nivel 4 (bueno)

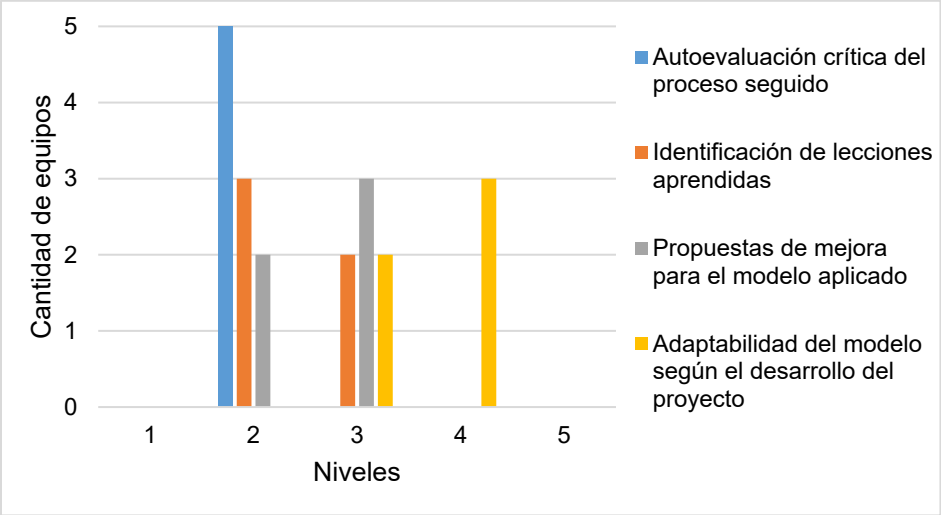


Figura 5. Reflexión y mejora.
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 6, 7, 8 y 9 se encuentran los resultados de los ocho equipos que implementaron la metodología ágil Scrum.

CC BY NC ND

Para la metodología ágil Scrum, en la figura 6, observamos que la categoría "Comprensión del Modelo de Proceso", en el indicador "Descripción crítica de ventajas y desventajas" los ocho equipos obtuvieron el nivel 3 (suficiente). Respecto a los indicadores "Explicación adecuada de los fundamentos y fases del modelo" e "Identificación clara del modelo utilizado (nombre, tipo, origen)", siete equipos obtuvieron el nivel 3 (suficiente). Por su parte el indicador "Comprensión de cómo el modelo se ajusta al ciclo de vida del software", obtuvo el nivel 4 (bueno) en cinco de sus equipos.

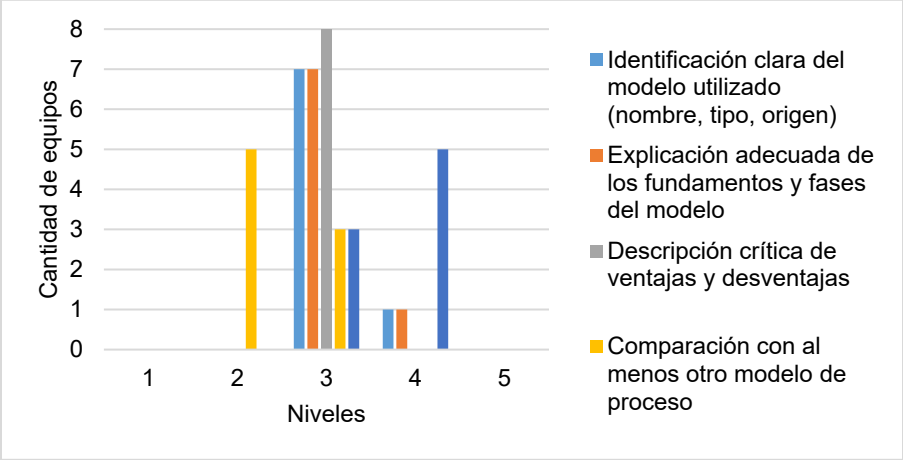


Figura 6. Comprensión de la Metodología
Fuente: Elaboración propia

En la figura 7, observamos que la categoría "Justificación de la Elección del Modelo" el indicador "Ajuste del modelo a los recursos y tiempo disponibles" es el que tuvo un equipo con el nivel más alto.

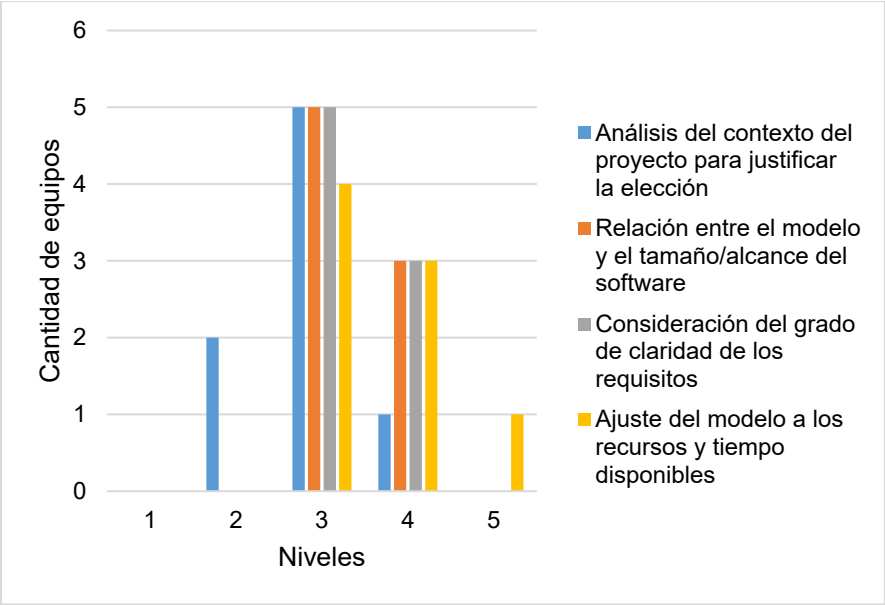


Figura 7. Justificación de la Metodología
Fuente: Elaboración propia

CC BY NC ND

En la categoría "Aplicación práctica del modelo", cuatro de los seis indicadores en total, tuvieron equipos con nivel de excelencia.

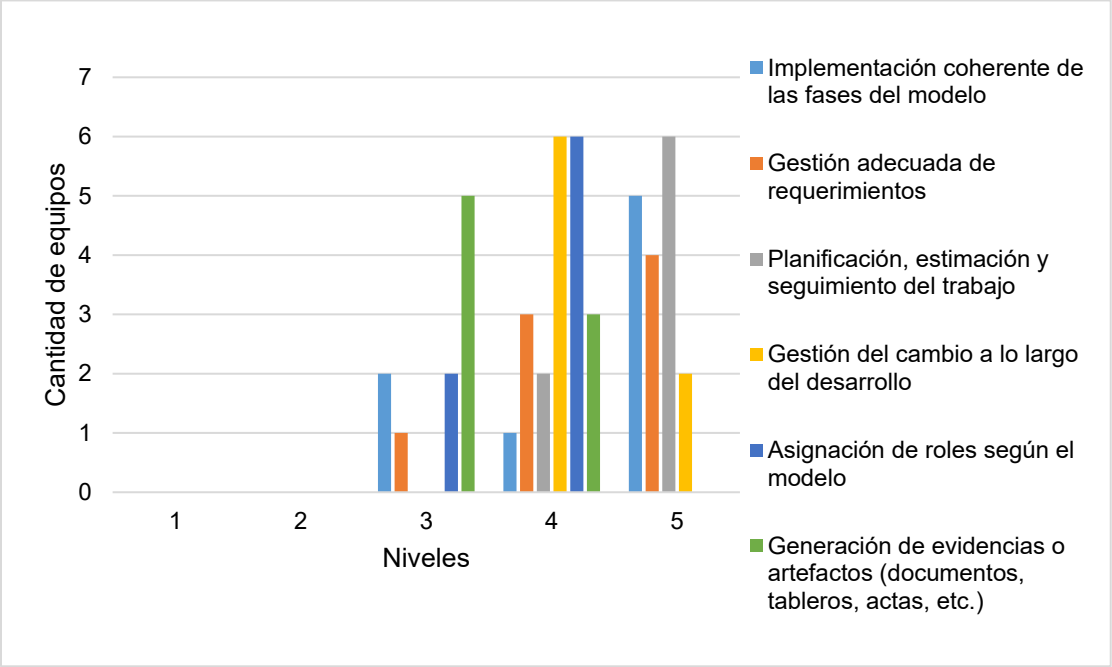


Figura 8. Aplicación práctica de la Metodología
Fuente: Elaboración propia

En la categoría "Reflexión y mejora", tres de los cuatro indicadores que lo conforman, tuvieron equipos con nivel de excelencia.

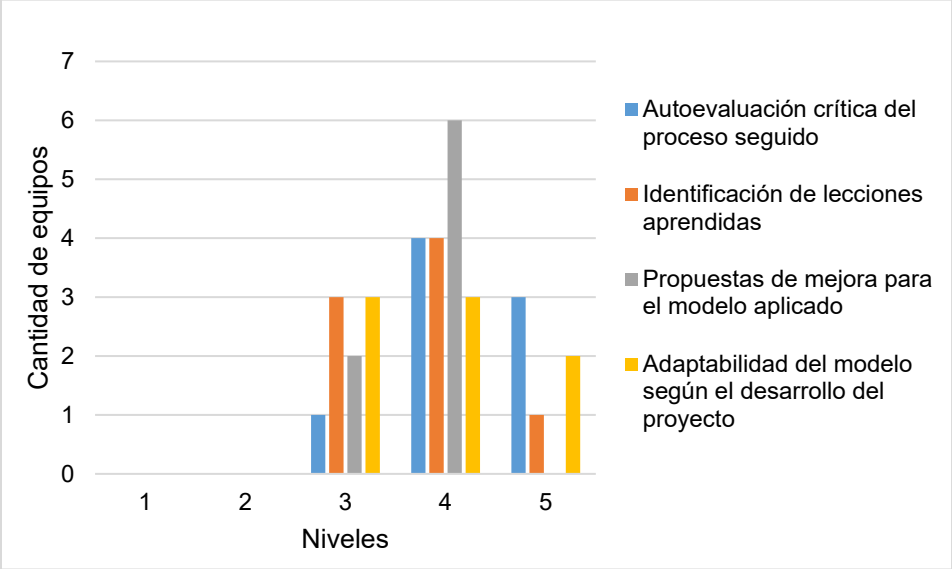


Figura 9. Reflexión y mejora
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En primer lugar, se observa que los proyectos desarrollados bajo la metodología tradicional (modelo de Cascada) presentan un desempeño predominantemente intermedio. La mayoría de las respuestas se concentraron en valores de 2 y 3, lo cual refleja un nivel moderado de cumplimiento de los criterios de evaluación. Se identificaron fortalezas en aspectos como la gestión de requerimientos, donde varios proyectos alcanzaron calificaciones altas. No obstante, se evidenciaron debilidades significativas en criterios como la relación entre el modelo y el tamaño del software, el ajuste a los recursos y tiempo disponibles, y la gestión del cambio, en los cuales los puntajes se ubicaron en su mayoría en niveles bajos. Asimismo, la autoevaluación crítica y la producción de evidencias o artefactos se mantuvieron en valores reducidos, lo que refleja limitaciones en la retroalimentación y en la formalización del proceso.

En contraste, los proyectos gestionados con la metodología ágil (marco de trabajo Scrum) alcanzaron mejores resultados en la mayoría de los criterios evaluados. La distribución de respuestas se concentró en niveles altos (4 y 5), lo que muestra un desempeño favorable. Destacan especialmente la planificación, estimación y seguimiento del trabajo, la implementación coherente de las fases, la gestión del cambio y la autoevaluación crítica, donde la mayoría de los proyectos lograron calificaciones sobresalientes. No obstante, se identificaron áreas de mejora en la comparación con Cascada y en la generación de evidencias o documentación, en donde los puntajes se concentraron en niveles medios.

Al realizar la comparación entre ambos modelos, se evidencia una clara diferencia, mientras que Cascada muestra consistencia únicamente en la gestión de requerimientos y rigidez frente a cambios o contextos dinámicos, Scrum se posiciona como una metodología flexible, con resultados superiores en adaptabilidad, seguimiento, retroalimentación y aprendizaje.

REFERENCIAS

Bibik, I. (2018). From Waterfall to Agile. En How to kill the Scrum monster (pp. 1–3). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3884-0_1

Biolchini, J., Gomes, P., Cruz, A., & Orta, G. (2005). Systematic review in software engineering (RT-ES679/05). Rio de Janeiro: Systems Engineering and Computer Science Department, COPPE/UFRJ.

Garcés, L., & Egas, L. (2015). Evolución de las metodologías de desarrollo de la ingeniería de software en el proceso de la ingeniería de sistemas. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 1(3), 15–22.

George, D., & Mallery, P. (2024). IBM SPSS statistics 29 step by step: A simple guide and reference. Routledge.

Méndez Nava, E. M. (2006). [Tesis de maestría, Universidad Católica Andrés Bello]. Biblioteca UCAB. http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ7365.pdf

Molina, S. G. R. (2013). Metodologías ágiles enfocadas al modelado de requerimientos. Informes Científicos Técnicos – UNPA, 5(1), 1–29. https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i1.58

Rivas, C., Corona, V., Gutiérrez, J., & Hernández, L. (2015). Metodologías actuales de desarrollo de software. Revista de Tecnología e Innovación, 2(5), 980–986.

Srivastava, A., Bhardwaj, S., & Saraswat, S. (2017). SCRUM model for agile methodology. In 2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA) (pp. 864–869). IEEE. https://doi.org/10.1109/CCAA.2017.8229928

The Standish Group. (1994). The CHAOS Report. http://www.standishgroup.com/sample_research_files/chaos_report_1994.pdf

Orjuela, A. D., & Rojas, M. (2008). Las metodologías de desarrollo ágil como una oportunidad para la ingeniería del software educativo. Revista Avances en Sistemas e Informática, 5(2), 159–171.

Yepes González, J. D., Pardo Calvache, C. J., & Gómez, O. S. (2015). Revisión sistemática acerca de la implementación de metodologías ágiles y otros modelos en micro, pequeñas y medianas empresas de software. Revista Tecnológica – ESPOL, 28(5), 45–54.

Análisis de recurrencia: de señales de ingeniería a la mejora continua en procesos de manufactura

Recurrence and complexity analysis: from engineering signals to continuous improvement in manufacturing processes.

Daniel Enrique Rivas Cisneros [1]
Andrés Eduardo Rivas Cisneros [2]

RESUMEN

Este trabajo explora la aplicación del Análisis de Recurrencias (RQA) como herramienta para evaluar la complejidad, estabilidad y predictibilidad en señales de ingeniería y procesos de manufactura. Se implementaron dos estudios de caso: (i) un motor en dos condiciones—sin vibración y con vibración inducida; y (ii) un proceso de producción simulado en dos escenarios—sin mejora continua y con mejora continua. La metodología consistió en generar series temporales, reconstruir trayectorias en el espacio de fases y calcular gráficas de recurrencia junto con sus métricas cuantitativas. Los resultados muestran que los sistemas ordenados y predecibles (sin vibración, con mejora continua) se caracterizan por un mayor determinismo y estructuras diagonales más largas, mientras que los sistemas desordenados (con vibración, sin mejora continua) presentan menor determinismo y diagonales reducidas. Estos hallazgos destacan el potencial de esta metodología para ofrecer una visión cuantitativa tanto en sistemas físicos de ingeniería como en procesos organizacionales, aportando una herramienta valiosa para el diagnóstico y la toma de decisiones en el contexto de la manufactura y la mejora continua.

PALABRAS CLAVES: Análisis de recurrencia, sistemas dinámicos, procesos, mejora continua.

Fecha de recepción: 28/08/2025

Fecha de aceptación: 15/10/2025

[1] Doctor en Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Orientación en Control Automático y Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Automatización. Profesor de la Preparatoria 9 de La UANL. E-mail: drivasc@uanl.edu.mx https://orcid.org/0000-0002-3078-4913
[2] Doctor en Educación, Maestría en Administración Industrial y de Negocios con Orientación en Relaciones Industriales, Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, E-mail: arivasc@uanl.edu.mx https://orcid.org/0009-0004-2243-8991

ABSTRACT

This work explores the application of recurrence analysis as a tool to evaluate complexity, stability, and predictability in engineering signals and manufacturing processes. Two case studies were implemented: (i) a motor under two conditions—without vibration and with induced vibration; and (ii) a simulated production process in two scenarios—without continuous improvement and with continuous improvement. The methodology consisted of generating time series, reconstructing trajectories in phase space, and computing recurrence plots along with their quantitative metrics. The results show that ordered and predictable systems (without vibration, with continuous improvement) are characterized by higher determinism and longer diagonal structures, while disordered systems (with vibration, without continuous improvement) exhibit lower determinism and shorter diagonals. These findings highlight the potential of this methodology to provide a quantitative perspective in both physical engineering systems and organizational processes, offering a valuable tool for diagnosis and decision-making in the context of manufacturing and continuous improvement.

KEYWORDS: Recurrence analysis, dynamical systems, processes, continuous improvement.

INTRODUCCIÓN

El concepto matemático de recurrencia se remonta a los trabajos de Poincaré (1890) y Feller (1950), y tiene aplicación directa en el estudio de sistemas dinámicos. En 1987, Eckmann y colaboradores incorporaron estas ideas en una herramienta cualitativa conocida como Gráfica de Recurrencia (Recurrence Plot, RP) (Webber,2015; Eckmann,1987; Eckmann,2007). Años más tarde, Zbilut y Webber cuantificaron estas gráficas al introducir el Análisis de Cuantificación de Recurrencias (RQA), definiendo inicialmente las siguientes variables de recurrencia: tasa de recurrencia, determinismo, longitud Promedio de la Línea Diagonal, entropía (Webber,2015; Eckmann,1987; Eckmann,2007).

Los procesos naturales y de ingeniería presentan comportamientos recurrentes, que pueden ser periódicos o irregulares (Rysak,2022; Zou,2008). De hecho, la recurrencia de estados —el hecho de que un sistema retorne a configuraciones similares tras cierto tiempo— es una propiedad fundamental de los sistemas deterministas y característica de dinámicas no lineales o caóticas. El análisis de recurrencia permite visualizar y cuantificar estos retornos en el espacio de fases y constituyen una forma robusta de detectar patrones ocultos.

En la ingeniería moderna, el análisis de series de tiempo resulta esencial para comprender fenómenos dinámicos tan diversos como las vibraciones en máquinas, la propagación de ondas sísmicas en estructuras civiles o la variación de la señal eléctrica en un sistema de potencia. En todos estos casos, las técnicas de recurrencia y su cuantificación ofrecen un marco robusto para revelar la organización oculta en procesos aparentemente caóticos.

Como ejemplo físico e ingenieril, se analiza la dinámica de un motor en dos escenarios: uno funcionando sin vibración y otro sometido a vibraciones externas. El Análisis de Recurrencias (RQA) permite diferenciar entre un comportamiento estable y predecible frente a uno más caótico e irregular, evidenciando cómo la presencia de vibración altera la periodicidad y la predictibilidad del sistema.

De manera análoga, se implementa también una simulación de un proceso de manufactura bajo dos condiciones: sin mejora continua y con la aplicación de estrategias de mejora continua. En este caso, el RQA cuantifica y compara las características dinámicas de ambos procesos, mostrando su utilidad más allá del ámbito físico, extendiéndose hacia la gestión y optimización de procesos productivos.

JUSTIFICACIÓN

El análisis de recurrencias se ha consolidado como una herramienta poderosa para el estudio de sistemas dinámicos complejos, ya que permite identificar patrones ocultos de estabilidad, periodicidad o caos en datos que, a primera vista, pueden parecer desordenados. Su aplicación ha sido ampliamente validada en áreas como la física, la ingeniería y las ciencias naturales (Suresha,2016; Syta,2012; Rivas,2023); sin embargo, su potencial en procesos industriales y de manufactura aún se encuentra en desarrollo.

La presente investigación busca precisamente explorar este potencial. A través de simulaciones de escenarios físicos —como el análisis de un motor con y sin vibración— y de procesos organizacionales —como la manufactura sin y con mejora continua— se demuestra cómo la RQA puede convertirse en una herramienta de diagnóstico y evaluación tanto en entornos técnicos como en contextos de gestión de procesos.

Este trabajo se justifica en la necesidad de contar con metodologías objetivas que permitan evaluar el grado de orden o desorden en sistemas reales. En ingeniería, esto puede traducirse en la detección temprana de fallas o anomalías, mientras que, en manufactura y mejora continua, permite medir la efectividad de las estrategias implementadas. Así, la investigación aporta un puente entre el análisis matemático de sistemas dinámicos y su aplicación práctica en procesos de optimización industrial.

METODOLOGÍA

La hipótesis de este trabajo plantea que el Análisis de Recurrencias (RQA) permite cuantificar de manera objetiva el grado de orden o desorden en sistemas dinámicos, tanto en escenarios físicos como en procesos de manufactura. Para ello, se consideró como variable independiente la condición del sistema (sin vibración / con vibración en el motor; sin mejora continua / con mejora continua en manufactura) y como variable dependiente las métricas de recurrencia: Tasa de recurrencia (RR), Determinismo (DET), Longitud Diagonal Promedio (L) y Entropía (ENTR).

La investigación se desarrolló mediante un diseño experimental simulado, ya que no se trabajó con un proceso físico real, sino con modelos matemáticos y señales generadas computacionalmente que representan distintos escenarios dinámicos. El universo de estudio corresponde a sistemas físicos y procesos de manufactura susceptibles de ser analizados mediante recurrencias, mientras que la muestra se representó con dos casos físicos (motor sin vibración y motor con vibración) y dos casos de manufactura (sin mejora continua y con mejora continua). Estos casos fueron seleccionados por su relevancia y contraste para mostrar la efectividad del método.

El análisis se realizó mediante simulaciones en Python, generando señales que representan cada escenario dinámico. Posteriormente, se reconstruyó el espacio de fases de la señal y se construyó la matriz de recurrencia, definida como (Webber,2015; Eckmann,1987; Eckmann,2007):

$$R_{ij} = \begin{cases} 1\,, \text{si} \,\|\, \mathrm{x}(\mathrm{t_i}) - \mathrm{x}(\mathrm{t_j}) \,\| \;<=\; \varepsilon, \\ 0\,, \text{si} \,\|\, \mathrm{x}(\mathrm{t_i}) - \mathrm{x}(\mathrm{t_j}) \,\| \;>\; \varepsilon, \end{cases} \quad (1)$$

donde $X(t_i)$ y $X(t_j)$ son estados del sistema en tiempos distintos, y ε es un umbral predefinido que determina la 'cercanía' de los puntos.

CC BY NC ND

A partir de esta matriz se calcularon las métricas de RQA. La tasa de recurrencia (RR), la cual indica la fracción de puntos recurrentes en la matriz, se define como (Webber,2015):

$$RR_{\varepsilon,\mathrm{N}} = \left(\frac{1}{\mathrm{N}^2}\right) * \Sigma_{\{\mathrm{i,j=1}\}}^{\mathrm{N}} \mathrm{R_{ij}}. \quad (2)$$

El determinismo (DET) se calculó como la proporción de puntos que forman líneas diagonales de longitud mínima (Webber,2015):

$$DET = \frac{\Sigma_{\ell=\ell_\mathrm{min}}^{\mathrm{N}} \ell\, \mathrm{P}(\ell)}{\Sigma_{\ell=1}^{\mathrm{N}} \ell\, \mathrm{P}(\ell)}. \quad (3)$$

Longitud Promedio de la Línea Diagonal (L), el cual es el promedio de la longitud de las líneas diagonales, se define como (Webber,2015):

$$L = \frac{\Sigma_{\ell=\ell_\mathrm{min}}^{\mathrm{N}} \ell\, \mathrm{P}(\ell)}{\Sigma_{\ell=\ell_\mathrm{min}}^{\mathrm{N}} \mathrm{P}(\ell)}. \quad (4)$$

Finalmente, la entropía (ENTR), esta métrica mide la complejidad del patrón de recurrencia, se define como (Webber,2015):

$$ENTR = -\Sigma_{\ell=\ell_{\mathrm{min}}}^{\mathrm{N}} \mathrm{P}(\ell) \ln P(\ell), \quad (5)$$

Una entropía alta sugiere una dinámica más compleja e impredecible, mientras que una baja entropía indica un sistema más predecible. Estas métricas fueron calculadas para cada escenario, permitiendo comparar cuantitativamente el grado de periodicidad, predictibilidad y complejidad entre los sistemas simulados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para evaluar el desempeño del método de recurrencias en un sistema físico, se implementó una simulación computacional de la señal de un motor eléctrico en dos escenarios: uno sin vibración (condición normal de operación) y otro con vibración (condición de falla).

La señal del motor sin vibración fue modelada como una onda periódica estable, representada matemáticamente por una función sinusoidal:

$$x(t) = A\sin(wt), \quad (6)$$

donde A corresponde a la amplitud de operación y w a la frecuencia angular del motor. La figura 1 muestra la simulación de una señal de un motor sin ruido.

CC BY NC ND

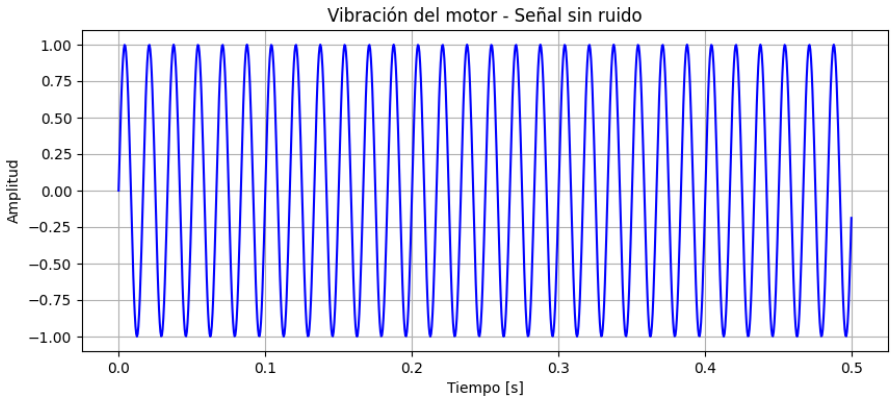


Figura 1: Simulación de la dinámica de un motor sin ruido.

En contraste, para simular la condición con vibración se introdujo un término adicional que representa la perturbación de alta frecuencia, generando una señal de la forma:

$$x(t) = A\sin(wt) + Bsin(w_v t), \quad (7)$$

donde B es la amplitud de la vibración y w_v la frecuencia asociada al fenómeno de vibración. Este segundo término altera la señal periódica ideal, provocando irregularidades que se reflejan posteriormente en la matriz de recurrencia y en las métricas RQA. La figura 2 muestra la simulación de una señal de un motor con ruido.

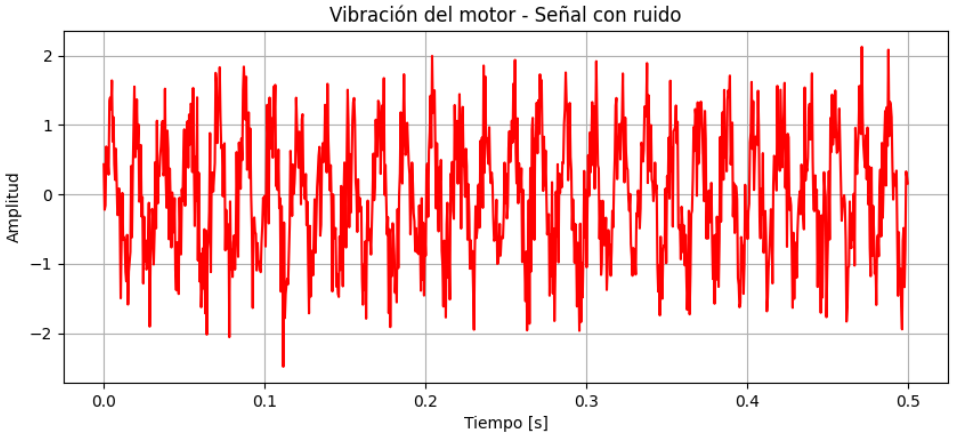


Figura 2: Simulación de la dinámica de un motor con ruido.

La figura 3 muestra la gráfica de recurrencia de los patrones tanto en la condición estable como en la condición con ruido, lo que facilita la comparación entre los dos escenarios

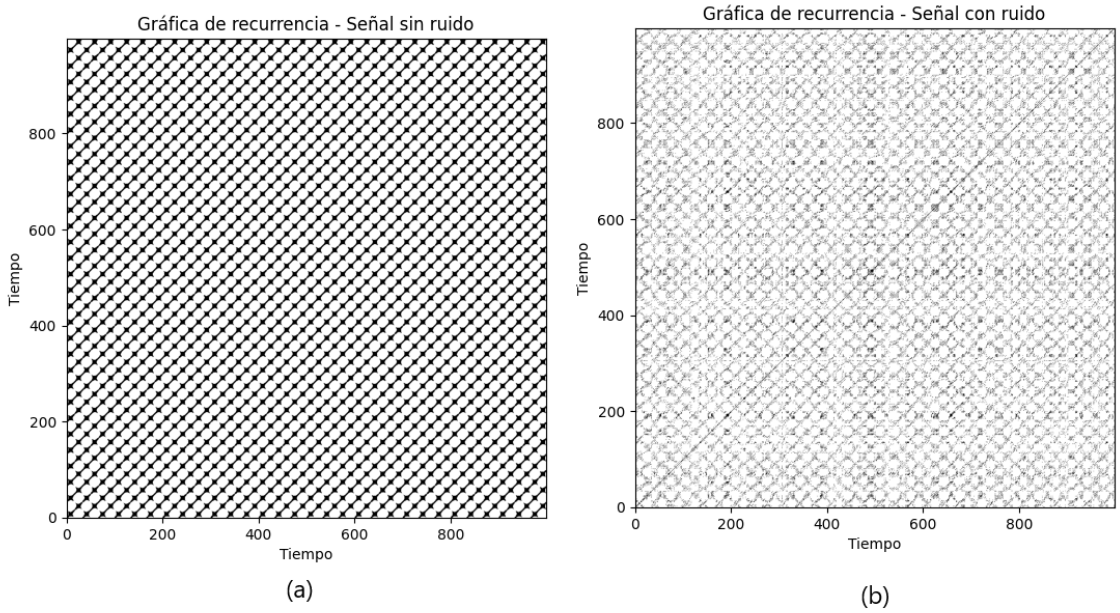


Figura 3: Gráfica de recurrencia. La gráfica (a) es la del motor sin ruido. La gráfica (b) es la del motor con ruido

La tabla 1 muestra los resultados de la métrica de recurrencia y su interpretación de la simulación del motor sin ruido y con ruido

Tabla 1. Comparación e interpretación de las métricas del motor sin ruido y con ruido

Métrica	Sin ruido	Con ruido	Interpretación
Tasa de recurrencia (RR)	0.2397	0.0936	Disminuye, lo que significa el ruido interrumpe la repetición de los patrones del motor.
Determinismo (DET)	0.9564	0.2308	Este es el indicador más fuerte. La caída drástica, nos dice que de un sistema altamente casi predecible y determinista se ha vuelto aleatorio.
Longitud Promedio de la Línea Diagonal (L)	8.5789	2.6933	La disminución indica que el ruido rompe la secuencia de estados del sistema.
Entropía (ENTR)	2.0665	1.0276	Una entropía menor con ruido sugiere una menor diversidad de patrones.

CC BY NC ND

El análisis RQA de la Tabla 1 demuestra que la adición de ruido a la señal del motor destruye la estructura determinista y periódica inherente a su funcionamiento normal. El motor "sin ruido" presenta las características de un sistema dinámico altamente organizado y predecible, como lo demuestran el alto Determinismo y la longitud promedio de la línea diagonal. En contraste, la señal "con ruido" muestra las propiedades de un sistema caótico y aleatorio, donde la recurrencia es mínima, el determinismo es bajo y los patrones se rompen rápidamente. Esto confirma que el ruido actúa como una perturbación que aleatoriza la dinámica del sistema, enmascarando los patrones subyacentes y dificultando la identificación de sus comportamientos cíclicos.

Además del caso del motor, se implementó una simulación computacional de un proceso de producción que simula el número de piezas por tiempo de ciclo en dos escenarios: sin mejora continua y con mejora continua. El objetivo fue analizar cómo las prácticas de optimización influyen en la dinámica del sistema y cómo estos cambios se reflejan en las métricas del análisis de recurrencias (RQA).

El escenario sin mejora continua fue modelado como un proceso con alta variabilidad e irregularidad en su desempeño, representado por una señal ruidosa:

$$x(t) = A\sin(wt) + n(t),$$

donde A es la amplitud, w es la frecuencia angular, $n(t)$ un término de ruido aleatorio que introduce desorden y alta variabilidad en el comportamiento del sistema. En contraste, el escenario con mejora continua se simuló como un proceso más estable y eficiente, en el cual la variabilidad (ruido) se reduce y se conserva un patrón más regular. La figura 4 muestra la simulación de la dinámica del proceso sin mejora continua y con mejora continua. La figura 5 muestra la gráfica de recurrencia de los patrones sin mejora continua y con mejora continua de un proceso de producción, lo que facilita la comparación entre los dos escenarios

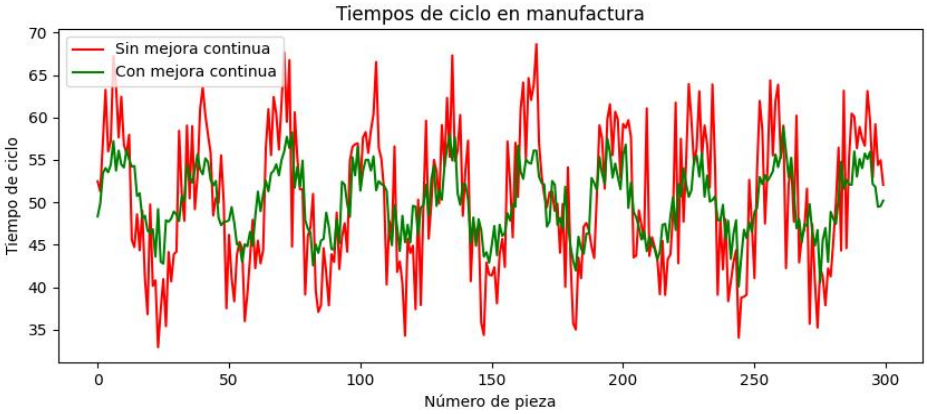


Figura 4: Simulación de la dinámica de un proceso de producción sin y con mejora continua.

La tabla 2 muestra los resultados de la métrica de recurrencia y su interpretación de la simulación del proceso de producción sin mejora continua y con mejora continua.

CC BY NC ND

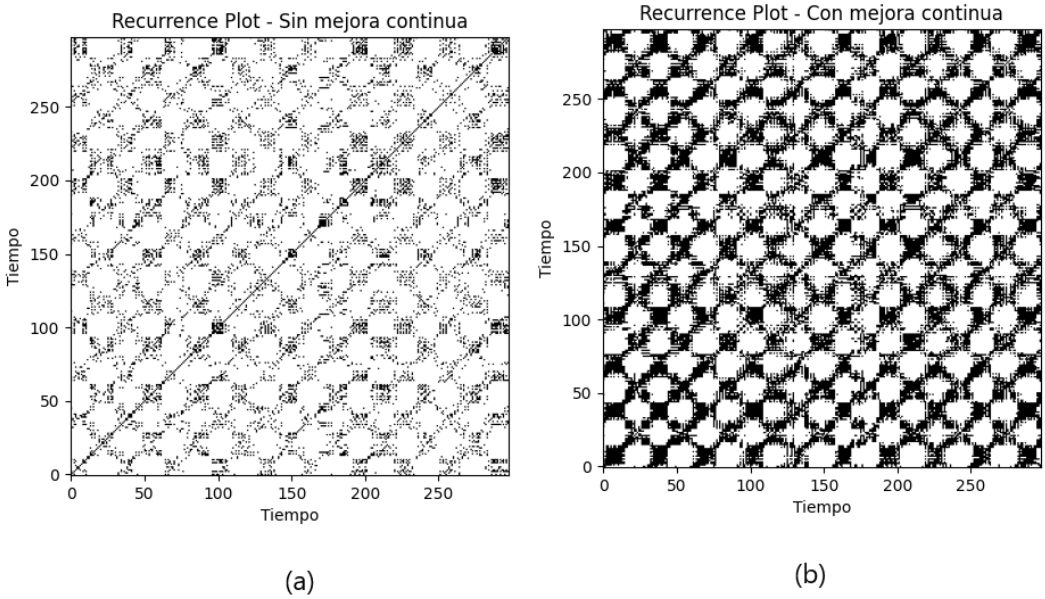


Figura 5: Gráfica de recurrencia. La gráfica (a) es la del proceso sin mejora continua. La gráfica (b) es la del proceso con mejora continua.

Tabla 2: Comparación en interpretación de las métricas de un proceso sin mejora continua y con mejora continua.

Métrica	Sin mejora continua	Con mejora continua	Interpretación
Tasa de recurrencia (RR)	0.1094	0.3738	El aumento indica que el proceso es más propenso a tener más repetición de patrones.
Determinismo (DET)	0.2918	0.7747	El aumento indica que el proceso se volvió más predecible y menos aleatorio.
Longitud Promedio de la Línea Diagonal (L)	3.05	5.04	El aumento indica que los patrones de comportamiento se mantienen estables.
Entropía (ENTR)	1.18	2.22	El aumento indica que el proceso tiene una mayor variedad y complejidad de patrones recurrentes.

Como se observa en la Tabla 2, la implementación de la mejora continua transformó la dinámica del proceso de un estado irregular y caótico a uno ordenado y predecible. El aumento en las cuatro métricas clave del RQA indica claramente que el sistema se ha vuelto más estable, recurrente y estructurado, con comportamientos que se repiten con mayor consistencia y por periodos más largos.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El análisis de recurrencia permite cuantificar el grado de orden o desorden de un proceso a partir de sus datos de recurrencia, lo que la convierte en una herramienta invaluable para el diagnóstico y análisis de sistemas complejos, desde fenómenos físicos hasta procesos de manufactura y mejora continua.

Los resultados muestran que la mejora continua no solo reduce la variabilidad y aumenta la regularidad del proceso, sino que también genera una riqueza mayor en los patrones temporales que pueden ser detectados mediante análisis de recurrencias. Esto confirma que el RQA es una herramienta efectiva para evaluar cambios en la dinámica de procesos de manufactura y permite cuantificar mejoras en predictibilidad y complejidad de manera objetiva.

REFERENCIAS

Webber, C. & Marwan, N. (2015). *Recurrence quantification analysis: Theory and best practices*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07155-8

Eckmann, J.-P., Kamphorst, S. O., & Ruelle, D. (1987). Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters, 4*(9), 973–977. https://doi.org/10.1209/0295-5075/4/9/004

Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports, 438*(5), 237–329. https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001

Rysak, A., Sedlmayr, M., & Gregorczyk, M. (2022). Revealing fractionality in the Rössler system by recurrence quantification analysis. *The European Physical Journal Special Topics, 232*, 1–16. https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00740-1

Zou, Y., Thiel, M., Romano, M., Read, P., & Kurths, J. (2008). Recurrence analysis of quasiperiodicity in experimental fluid data. *The European Physical Journal Special Topics, 164*, 23–33. https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00831-7

Suresha, S., Sujith, R., Emerson, B., & Lieuwen, T. (2016). Nonlinear dynamics and intermittency in a turbulent reacting wake with density ratio as bifurcation parameter. *Physical Review E, 94*(4), 042206. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.94.042206

Syta, A., Jonak, J., Jedliński, Ł., & Litak, G. (2012). Failure diagnosis of a gear box by recurrences. *Journal of Vibration and Acoustics, 134*(4), 041009. https://doi.org/10.1115/1.4005846

Rivas, D. E. (2023). Use of recurrence plots to find mutations in deoxyribonucleic acid sequences. *Complex Systems, 32*(1), 89–100. https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.32.1.89

El cine-foro como herramienta para la reflexión crítica en la formación de ingenieros

Film forums as a tool for critical reflection in engineering education

María Margarita Cantú Villarreal [1]
María Blanca Elizabeth Palomares Ruiz [2]
Cesar Sordia Salinas[3]
Aldo Manuel Padilla Camacho [4]

RESUMEN

La formación de los ingenieros en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), UANL, exige más que competencias técnicas: requiere el desarrollo del pensamiento crítico para enfrentar los retos sociales, éticos y tecnológicos de la actualidad. El presente estudio explora la integración del arte y el cine como recursos pedagógicos que fomentan la reflexión crítica en los estudiantes. Se desarrolló bajo un enfoque cualitativo con componentes de investigación basada en el arte, utilizando como técnica principal el cine-foro, complementado con entrevistas y grupos focales. Los resultados mostraron que la mayoría de los participantes reconoció que el análisis cinematográfico promueve nuevas formas de pensar, siendo significativo que más del 70% valorara la discusión posterior como el momento de mayor aprendizaje. Asimismo, se evidenció que cerca del 65% de los estudiantes consideró que estas actividades fortalecen competencias transversales como el trabajo colaborativo y la comunicación, mientras que un 60% señaló que el cine ayuda a cuestionar estereotipos sociales. Estos hallazgos confirman que el cine-foro, además de ser un recurso cultural, constituye un medio eficaz para la formación integral del ingeniero. En conclusión, el estudio demuestra que la incorporación del cine y la reflexión crítica en la FIME potencia tanto la sensibilidad ética y social como la capacidad de análisis de los estudiantes, perfilando un profesional más consciente, reflexivo y preparado para los desafíos contemporáneos.

PALABRAS CLAVES: cine, arte, formación, pensamiento crítico

Fecha de recepción: 26 de agosto, 2025.

Fecha de aceptación: 16 de octubre, 2025.

[1] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, PTC maria.cantuvr@uanl.edu.mx https://orcid.org/0009-0003-4099-4652
[2] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, PTC maría.palomaresrz@uanl.edu.mx https://orcid.org/0000-0002-4079-6969
[3] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, PTC cesar.sordiasl@uanl.edu.mx , https://orcid.org/0000-0003-2186-1080
[4] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Estudiante aldo.padillac@uanl.edu.mx https://orcid.org/0009-0003-5545-881X

ABSTRACT

The training of engineers at the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering (FIME), UANL, requires more than technical skills: it requires the development of critical thinking to face today's social, ethical, and technological challenges. This study explores the integration of art and cinema as pedagogical resources that encourage critical reflection in students. It was developed using a qualitative approach with components of art-based research, using film forums as the main technique, complemented by interviews and focus groups. The results showed that most participants recognized that film analysis promotes new ways of thinking, with more than 70% valuing the subsequent discussion as the moment of greatest learning. Likewise, it was evident that nearly 65% of students considered that these activities strengthen cross-cutting skills such as collaborative work and communication, while 60% pointed out that cinema helps to question social stereotypes. These findings confirm that film forums, in addition to being a cultural resource, are an effective means for the comprehensive training of engineers. In conclusion, the study demonstrates that incorporating cinema and critical reflection into FIME enhances both students' ethical and social awareness and their analytical skills, shaping professionals who are more conscious, reflective, and prepared for contemporary challenges.

KEYWORDS: film, art, education, critical thinking

INTRODUCCIÓN

La formación de un ingeniero en el siglo XXI no puede reducirse únicamente al dominio técnico y matemático de su disciplina, donde rodean un mundo caracterizado por la complejidad de los problemas sociales, ambientales y tecnológicos, el pensamiento crítico se vuelve una competencia fundamental. Según Piracoca Parada y Hernández Barbosa (2023), esta habilidad implica cuestionar, analizar y evaluar información y contextos, permitiendo al profesional tomar decisiones más fundamentadas y éticamente responsables. El arte, por sus diversas manifestaciones, ha sido un vehículo fundamental para comprender la condición humana y cuestionar la realidad.

En este contexto, el cine emerge como un medio privilegiado, ya que conjuga imagen, narrativa y técnica, ofreciendo experiencias estéticas capaces de transformar la percepción del espectador. De acuerdo con Deleuze (1984), el cine constituye una “imagen del pensamiento”, en tanto no solo representa, sino que provoca rupturas cognitivas que estimulan la reflexión crítica.

Diversos autores han señalado que el pensamiento crítico es una de las competencias transversales más importantes en la educación superior, y primordial para los futuros ingenieros. Facione (1990) lo define como un proceso de juicio autorregulado y reflexivo, indispensable para la resolución de problemas complejos en contextos profesionales. De manera similar, Paul y Elder (2006) sostienen que el pensamiento crítico consiste en analizar y evaluar el pensamiento con el propósito de mejorarlo, lo cual es especialmente relevante en carreras como la ingeniería, donde las decisiones técnicas suelen tener consecuencias sociales, ambientales y éticas de gran alcance. Ennis (2011) añade que el pensamiento crítico implica no solo la evaluación de argumentos, sino también la disposición a actuar de manera razonada y responsable frente a situaciones problemáticas.

La importancia del pensamiento crítico en la formación de un ingeniero destacado por diversos autores, quienes lo consideran una herramienta esencial para el análisis de discursos, ideologías y prácticas culturales (Piracoca Parada & Hernández Barbosa, 2023). En este sentido, la unión entre arte, cine y pensamiento crítico se convierte en un campo de investigación que busca comprender

cómo la experiencia estética puede convertirse en un catalizador de cuestionamientos y aprendizajes.

En particular, el cine-foro se presenta como una estrategia metodológica que articula estas dimensiones, pues permite que los participantes no se limiten a ser espectadores pasivos, sino que dialoguen, reflexionen y construyan colectivamente significados en torno a las películas (Baquero, 2018). De esta manera, este estudio se orienta a explorar la relación entre cine, arte y pensamiento crítico, subrayando el papel del cine-foro como herramienta pedagógica y de investigación.

JUSTIFICACIÓN

La investigación adquiere relevancia porque aborda un fenómeno cultural y educativo en el que el arte cinematográfico no solo se concibe como entretenimiento, sino como recurso formativo que es fundamental para la formación de un ingeniero. Santacruz (2025) sostiene que el cine, al integrar teoría, técnica y estética, se convierte en un medio capaz de estimular el pensamiento crítico en un contexto donde la sobreexposición mediática puede limitar la capacidad reflexiva de los individuos.

Además, la pertinencia del estudio radica en que aporta a la construcción de metodologías alternativas de enseñanza y aprendizaje, basadas en el diálogo y la interpretación artística. Rivera Miranda (2023) resalta que el cine posibilita la creación de rupturas en el pensamiento, lo que lo convierte en un espacio idóneo para promover la reflexión crítica en ámbitos educativos y comunitarios.

Desde una perspectiva social, el arte y el pensamiento crítico contribuyen a la formación de ciudadanos más conscientes, capaces de cuestionar estructuras de poder y prácticas culturales dominantes. Marxen (2025) afirma que el arte cumple un rol fundamental en la evaluación ética y estética de los fenómenos sociales, y por tanto, integrar cine y pensamiento crítico en la formación cultural significa también fortalecer valores de participación, diálogo y transformación social.

MARCO TEÓRICO

Arte y conocimiento artístico

Las artes no son solo expresión estética, sino modos de conocimiento y sensibilización. Como sostiene Marxen (2025), el análisis crítico es esencial en proyectos vinculados a las artes, pues el arte interviene en la evaluación ética y estética de los fenómenos sociales.

Como cita Ferreiro (2016) de Eisner (2004), las artes ofrecen oportunidades de lentificar la percepción, para examinar atentamente, para saborear las cualidades que en condiciones normales intentamos abordar con tanta eficacia que apenas notamos que están ahí. En esa misma línea, Jiménez-León (2024) revisa el concepto de *art-based research* (investigación basada en arte, IBA), identificando múltiples dimensiones en las que el arte no solo es un objeto de estudio sino también un medio de investigación y producción de conocimiento.

El arte, entonces, no se limita a representar la realidad, sino a transformarla como acto crítico, que es la capacidad de “hacer visible lo invisible” o de producir rupturas perceptivas.

Pensamiento crítico

El pensamiento crítico implica analizar, cuestionar, reflexionar y evaluar información, supuestos, discursos y estructuras de poder. En el ámbito educativo y cultural, se vincula con la formación de

sujetos capaces de detectar ideologías subyacentes, sesgos y mecanismos de dominación, que, para los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), son un recurso y habilidad esencial para su formación integral.

En el contexto del cine, el pensamiento crítico se activa cuando el espectador no solo consume la imagen, sino que dialoga con ella, la problematiza y la interpela. En el estudio "*El cine como recurso para desarrollar el pensamiento crítico"* de Parada y Barbosa (2023) se reporta que los estudiantes valoraron la reflexión mediada por orientaciones previas al visionado, la discusión colectiva y la articulación de ideas con otros campos del conocimiento.

Miranda (2023) explora en su investigación cómo el cine puede servir como plataforma para la formación del pensamiento crítico, entrelazando cine, literatura e imagen dentro de encuentros de cine-foro que combinan observación, conversación y problematización. Que, según ese estudio, el cine puede producir "rupturas en el pensamiento" que invitan al cuestionamiento.

Cine como arte, imagen y choque cognitivo

El cine es una forma artística caracterizada por la conjunción de imagen en movimiento, sonido, montaje y narrativa. Pero no sólo eso: para teóricos como Gilles Deleuze, el cine es una "imagen del pensamiento" (Asiáin, 2007), un dispositivo que no solo representa, sino que también infringe, conmueve y provoca el pensamiento.

Santacruz en su ensayo *El cine, arte, técnica y teoría para la formación crítica* analiza cómo las vanguardias cinematográficas pueden estimular el pensamiento crítico especialmente en el contexto de la proliferación de inteligencias artificiales generativas.

El cine-foro es una técnica especialmente relevante para conectar obra, espectador y reflexión crítica: permite estructurar encuentros en los que las audiencias comentan, interrogan y problematizan lo visto. Baquero (2018) propone su uso como técnica de investigación cualitativa para profundizar en las percepciones de los participantes frente a obras cinematográficas (cine no comercial, de autor, vanguardista).

Cine-foro

Como se ha mencionado en el estudio, el cine-foro es una estrategia educativa y cultural que consiste en la proyección de una película seguida de un espacio de diálogo y reflexión grupal, en el cual los participantes comparten opiniones, interpretaciones y análisis en torno a la obra audiovisual. Según Baquero (2018), el cine-foro constituye una técnica de investigación cualitativa que permite explorar percepciones, actitudes y construcciones colectivas de significado a partir de un estímulo cinematográfico.

Más allá de ser una actividad recreativa, el cine-foro se concibe como un espacio pedagógico y crítico, donde la película funciona como detonante de preguntas, debates y aprendizajes. Rivera Miranda (2023) subraya que el cine-foro favorece el desarrollo del pensamiento crítico, ya que invita a los participantes a cuestionar supuestos, relacionar el contenido con su contexto histórico-cultural y vincularlo con su propia experiencia personal y profesional.

En el ámbito universitario, el cine-foro ha demostrado ser un recurso formativo que estimula tanto la reflexión individual como el diálogo colectivo, lo que lo convierte en una herramienta idónea para promover competencias transversales como la argumentación, el análisis crítico y la comunicación efectiva en la formación de futuros profesionales.

CC BY NC ND

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo, siguiendo los planteamientos de la investigación basada en el arte (*art-based research*). Según Jiménez-León (2024), esta metodología reconoce la capacidad del arte para convertirse en un medio de producción de conocimiento, lo que la hace pertinente en estudios que exploran fenómenos estéticos y críticos.

Enfoque

El estudio se orienta bajo un diseño exploratorio-descriptivo, con el objetivo de comprender cómo el cine, en tanto arte, puede fomentar el pensamiento crítico en los participantes. Se eligió este enfoque debido a que permite profundizar en experiencias subjetivas y en procesos de interpretación simbólica (Barragán, 2011).

Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas que fueron contempladas son:

1. Cine-foro: Se proyectan películas seleccionadas con base en su relevancia temática y estética, seguidas de una discusión grupal. Esta técnica, como señala Baquero (2018), es efectiva para investigar procesos de reflexión y construcción de significados.
2. Entrevistas semiestructuradas: Se aplican a los participantes después de las proyecciones para explorar en mayor profundidad sus percepciones e interpretaciones.
3. Grupos focales: Se conforman para observar dinámicas colectivas, intercambio de ideas y contrastes de interpretación, siguiendo lo planteado por Rivera Miranda (2023).
4. Notas de campo y observación participante: Permiten registrar actitudes, gestos, silencios y emociones surgidas durante los cine-foros, lo que complementa la información oral.

Procedimiento

La investigación se llevó a cabo en cuatro fases:

1. Selección de películas: Criterios temáticos (vinculados al pensamiento crítico y lo social) y estéticos (cine de autor, cine de culto, propuestas artísticas).
2. Aplicación del cine-foro: Cada sesión incluye una introducción contextual, la proyección y la discusión posterior.
3. Recolección de datos: Mediante entrevistas, grupos focales y observaciones.
4. Análisis de la información: Se utiliza la codificación temática para identificar categorías emergentes, además del análisis del discurso para examinar cómo se construyen los significados en el diálogo colectivo.

Consideraciones éticas

El estudio se rige por principios éticos como el consentimiento informado, la confidencialidad de los participantes y el uso responsable de los datos. Además, se busca garantizar la credibilidad y transferibilidad de los hallazgos mediante la triangulación de fuentes y la validación de resultados con los propios participantes (Piracoca Parada & Hernández Barbosa, 2023).

CC BY NC ND

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las encuestas muestran que los estudiantes de la FIME valoraron de forma muy positiva la experiencia del cine-foro como estrategia formativa. En términos generales, más del 60% de los participantes evaluó las distintas actividades con las calificaciones más altas, lo que refleja un impacto significativo en la manera de comprender y reflexionar sobre el cine. Además, las respuestas evidencian que los estudiantes no solo apreciaron el visionado de la película, sino también los espacios de contextualización y discusión, que resultaron claves para detonar procesos de pensamiento crítico y diálogo colectivo.

La mayoría de los estudiantes (64.5%) consideró que la discusión grupal al final de la sesión fue el momento más enriquecedor del cine-foro. Esto confirma lo señalado por Baquero (2018), quien describe el cine-foro como un espacio para construir significados de manera colectiva y crítica (véase la Figura 1).

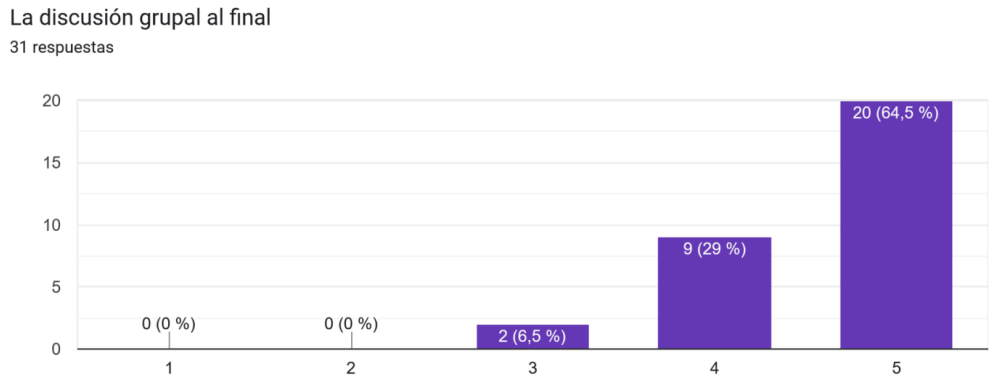


Figura 1. La discusión final fue el componente más valorado para generar reflexión colectiva.

La reflexión grupal (45.2%) y la combinación de todos los elementos (51.6%) fueron las opciones más señaladas. Esto sugiere que los estudiantes valoran tanto el diálogo como la integración de estrategias (fanzine, contextualización, película en comunidad), destacando la importancia de un enfoque integral (véase la Figura 2).

Figura 2. Los estudiantes resaltaron la reflexión grupal y la integración de elementos como los factores de mayor impacto.

Los resultados muestran que el 41.9% de los estudiantes cambió su perspectiva sobre temas sociales/culturales, mientras que un 45.2% afirmó comprender mejor el contexto histórico de la época representada (véase la Figura 3). Esto evidencia que el cine no solo entretuvo, sino que también impulsó aprendizajes significativos y cuestionamientos, en línea con lo planteado por Rivera Miranda (2023).

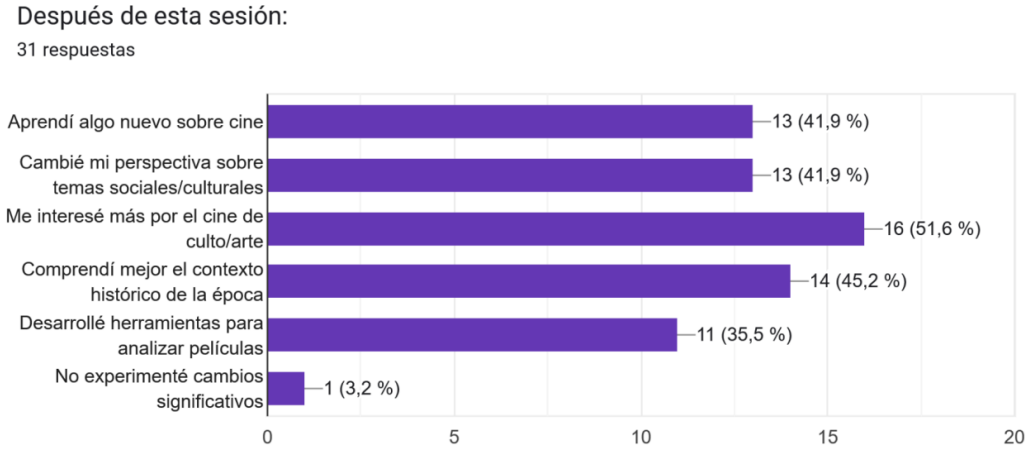


Figura 3. El cine-foro promovió cambios en la perspectiva social y la comprensión histórica de los estudiantes.

Un 51.6% calificó con la máxima puntuación y un 35.5% con calificación alta, lo que significa que la gran mayoría reconoció el valor del contexto histórico-cultural para interpretar la película (véase la Figura 4). Esto refuerza el argumento de Marxen (2025), quien plantea que el arte permite evaluar fenómenos sociales de manera crítica.

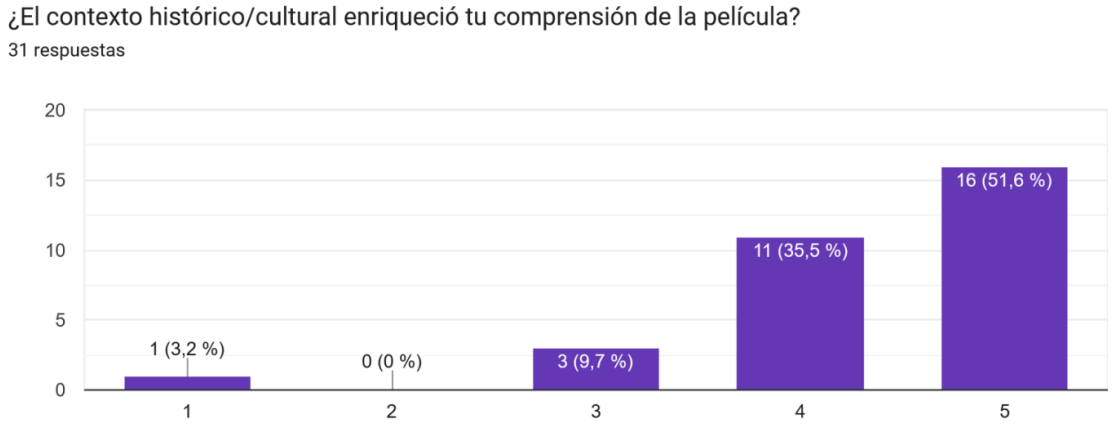


Figura 4. El contexto histórico-cultural fue reconocido como un factor esencial para la comprensión crítica de la película.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El análisis realizado confirma que la articulación entre arte, cine y pensamiento crítico constituye un campo fértil para la reflexión y la investigación. El cine, al ser una forma artística que conjuga técnica

CC BY NC ND

y narrativa, actúa como mediador cultural capaz de estimular procesos reflexivos en los espectadores (Deleuze, 1984; Santacruz, 2025).

De esta forma, se reconoce que el pensamiento crítico, entendido como la capacidad de cuestionar y evaluar la realidad, puede potenciarse significativamente mediante la práctica del cine-foro, en donde el diálogo y la construcción colectiva de significados generan un espacio de aprendizaje compartido (Baquero, 2018; Rivera Miranda, 2023).

Por lo tanto, se concluye que este estudio no solo resalta la importancia del cine como arte formativo, sino también su papel como herramienta pedagógica y de investigación cualitativa. De igual manera, la metodología basada en el arte aporta un enfoque innovador que permite a los participantes convertirse en sujetos activos de su propio proceso reflexivo.

REFERENCIAS

Baquero, C. B. B. (2018). El cine foro como técnica de investigación cualitativa. Revista de la Universidad Surcolombiana, 20(2), 45–62.

Barragán, C. M. (2011). Metodología cualitativa aplicada a las bellas artes. Arte, Individuo y Sociedad, 23(2), 235–246.

Deleuze, G. (1984). La imagen-tiempo. Paidós.

Eisner, E. W. (2004). El arte y la creación de la mente: El papel de las artes visuales en la transformación de la conciencia. Paidós.

Ennis, R. H. (2011). The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities. University of Illinois.

Facione, P. A. (1990). Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction. American Philosophical Association.

Jiménez-León, R. (2024). Revisión de la literatura de acuerdo al término: Investigación basada en el arte, Art-based research. Universidad de Granada.

Marxen, E. (2025). Pensar las artes y la poesía en la investigación cualitativa. Revista de Investigación Cualitativa, 9(1), 25–40.

Paul, R., & Elder, L. (2006). The Miniature Guide to Critical Thinking: Concepts and Tools. Foundation for Critical Thinking.

Piracoca Parada, D. M., & Hernández Barbosa, R. (2023). El cine como recurso para desarrollar el pensamiento crítico: El caso de estudiantes de filosofía. Revista Kavilando, 15(2), 99–114.

Rivera Miranda, D. (2023). El cine como una posibilidad para la formación del pensamiento crítico: Relaciones entre el cine, la literatura y la imagen. Universidad de Antioquia.

Santacruz, A. N. (2025). El cine, arte, técnica y teoría para la formación crítica. Revista HArtes, 3(1), 77–95.

CC BY NC ND

Red de colaboración en aporte de casos de éxito en una Dependencia de Educación Superior

Collaborative network for sharing success stories in a Higher Education Institution

Arturo Torres Bugdud [1]
Mayra Deyanira Flores Guerrero [2]
Oscar Rangel Aguilar [3]
María Blanca Elizabeth Palomares Ruíz [4]

RESUMEN

El presente trabajo analiza la transición de los estudiantes universitarios, desde la formación académica hacia su inserción en el ámbito laboral. Se presenta un marco teórico que aborda la definición y relevancia de la ingeniería, las teorías de aprendizaje aplicadas a la enseñanza y la conexión entre la teoría y la práctica, destacando el uso del aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje activo y la teoría de Kolb como ejes fundamentales. El estudio se centra en la experiencia generada a través de la interacción de los cuerpos académicos UANL-CA-275 y UANL-CA-431 y la experiencia de los coloquios organizados por el programa Proyectos Institucionales y de Vinculación, en los cuales los estudiantes y docentes comparten sus experiencias en el campo laboral de acuerdo con sus especialidades. La conclusión de estos eventos han demostrado ser un medio eficaz para fortalecer competencias técnicas y habilidades blandas, favoreciendo la empleabilidad temprana. Asimismo, se justifica la importancia de documentar y difundir casos de éxito como estrategia para mejorar la pertinencia de los programas académicos y consolidar la vinculación entre universidad e industria.

PALABRAS CLAVES: Ingeniería, coloquios, publicaciones

Fecha de recepción: 19 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 16 de octubre, 2025.

[1] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Profesor de Tiempo Completo. arturo.torresbg@uanl.edu.mx https://orcid.org/0000-0003-2214-9394
[2] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Jefa depto. Biomédico. mayra.floresgr@uanl.edu.mx https://orcid.org/0000-0001-7226-758
[3] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Docente. oscar.rangelag@uanl.edu.mx https://orcid.org/0000-0001-5563-9520
[4] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Profesor de Tiempo Completo. maria.palomaresrz@uanl.edu.mx https://orcid.org/0000-0002-4079-6969

ABSTRACT

This paper analyzes the transition of university students from academic training to their entry into the workforce. It presents a theoretical framework that addresses the definition and relevance of engineering, learning theories applied to teaching, and the connection between theory and practice, highlighting the use of project-based learning, active learning, and Kolb's theory as fundamental axes. The study focuses on the experience generated through the interaction of academic bodies UANL-CA-275 and UANL-CA-431 and the experience of the colloquiums organized by the Institutional and Outreach Projects program, in which students and teachers share their experiences in the workplace according to their specialties. The conclusion of these events has proven to be an effective means of strengthening technical competencies and soft skills, promoting early employability. Likewise, it justifies the importance of documenting and disseminating success stories as a strategy to improve the relevance of academic programs and consolidate the link between university and industry.

KEYWORDS: Engineering, colloquiums, publications

INTRODUCCIÓN

La formación de universitarios en el contexto actual exige una estrecha relación entre los conocimientos adquiridos en la universidad y las demandas reales del sector productivo. La ingeniería, por su carácter transversal y su aplicación en múltiples áreas industriales, requiere que los egresados no solo posean competencias técnicas sólidas, sino también habilidades blandas que les permitan integrarse y aportar valor en entornos laborales complejos y cambiantes.

En este sentido, la vinculación universidad-empresa se ha convertido en un elemento clave para garantizar la pertinencia de la formación profesional. Iniciativas como son los Proyectos Institucionales y de Vinculación (PIV) y sus coloquios bianuales han demostrado su eficacia como espacios donde los estudiantes y docentes pueden presentar los resultados de proyectos desarrollados en prácticas profesionales, al exponer soluciones innovadoras y recibir retroalimentación directa de especialistas y empleadores potenciales.

A través de un enfoque académico y aplicado, se exploran las bases teóricas que sustentan la integración de teoría y práctica, así como los resultados concretos obtenidos en términos de empleabilidad, desarrollo de competencias y fortalecimiento del vínculo con el sector industrial, que contribuye la formación de los futuros ingenieros. Asimismo, se justifica la necesidad de documentar y difundir casos de éxito como herramienta para la mejora continua de los programas educativos y para la proyección institucional hacia la industria.

Conjunto con esto, el trabajo fue apoyado por los cuerpos académicos de la FIME del UANL-CA-431 “Gestión de Proyectos Institucionales y de Vinculación con uso de TIC´s" con el UANL-CA-275 “Gestión Académico-Administrativa de Instituciones de Educación Superior”, donde el resultado de esta colaboración de ambos cuerpos académicos conforma una red de colaboración que propicia mejoras en los programas educativos, en los grupos de interés y en la inserción laboral.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de documentar los casos de éxito generados a partir de la participación en los Coloquios PIV radica en su valor como evidencia tangible del impacto positivo que tiene la vinculación temprana con la industria en la formación de ingenieros. Estos registros no solo reflejan

CC BY NC ND

la inserción laboral efectiva de estudiantes próximos a egresar, sino que también permiten analizar qué factores, metodologías y tipos de proyectos han resultado más eficientes para favorecer la transición de la academia al ámbito profesional.

Tener un compendio formal de estas experiencias exitosas contribuye a retroalimentar los planes de estudio, asegurando que las competencias desarrolladas respondan a las demandas reales del mercado laboral. La información obtenida permite identificar áreas de oportunidad en las que la formación universitaria puede fortalecerse, así como destacar los enfoques pedagógicos y técnicos que han facilitado el éxito de los estudiantes. De esta forma, la documentación no se limita a ser un registro histórico, sino que se convierte en una herramienta estratégica para la mejora continua de la enseñanza.

Igualmente, la difusión de estos logros tiene un doble impacto: por un lado, motiva a las generaciones actuales y futuras al mostrar ejemplos concretos de compañeros que han alcanzado un puesto laboral gracias a su desempeño en las prácticas y su participación en los coloquios; por otro lado, refuerza la imagen institucional frente a empresas e industrias, mostrando que la universidad no solo forma ingenieros competentes, sino que los prepara para integrarse y aportar valor de manera inmediata en el entorno laboral.

En un contexto en el que la competitividad industrial y la innovación son factores clave para el desarrollo económico, contar con ingenieros que han demostrado su capacidad para aportar soluciones prácticas antes incluso de egresar representa una ventaja tanto para las empresas como para la institución formadora. Por ello, registrar y difundir estos casos de éxito no es únicamente una acción de reconocimiento, sino una estrategia para fortalecer el ecosistema académico-industrial, consolidar alianzas estratégicas y proyectar a la comunidad universitaria como un agente activo de cambio y progreso tecnológico.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, orientado a comprender y describir con profundidad las experiencias de estudiantes y docentes durante la transición entre la formación académica y la inserción en el ámbito laboral, a través de su participación en coloquios y proyectos de vinculación universitaria. Este tipo de enfoque resulta adecuado cuando se pretende explorar fenómenos sociales en su contexto natural, priorizando la interpretación de significados y experiencias personales frente a la medición numérica de los resultados (De la Roche, Estupiñán & Pulido, 2021; Creswell & Poth, 2018). En este sentido, la investigación buscó rescatar las percepciones, aprendizajes y beneficios derivados de la interacción entre la universidad y el sector productivo, considerando la vinculación como un espacio de aprendizaje experiencial y de fortalecimiento de competencias profesionales.

El diseño de investigación fue descriptivo, orientado a documentar y analizar de manera sistemática los casos de éxito generados por la interacción entre los cuerpos académicos UANL-CA-275 “Gestión Académico-Administrativa de Instituciones de Educación Superior” y UANL-CA-431 “Gestión de Proyectos Institucionales y de Vinculación con uso de TIC’s”, así como las experiencias compartidas en los coloquios bianuales organizados por el PIV. Este diseño permitió identificar patrones recurrentes en las prácticas de vinculación, reconocer los factores que favorecen la empleabilidad temprana y destacar las estrategias pedagógicas más efectivas para la formación integral del ingeniero.

La delimitación de la muestra se realizó bajo criterios intencionales, seleccionando exclusivamente a estudiantes y docentes que participaron en algunos de los coloquios o proyectos del programa de PIV entre los años 2022 y 2025, puesto que fue cuando la UANL-CA-275 y UANL-CA-431 empezaron

a colaborar. Esta decisión permitió analizar información proveniente únicamente de sujetos con experiencia directa en procesos de articulación entre instituciones académicas y organizaciones del sector industrial, excluyendo a quienes no hubieran tomado parte en dichas actividades. Este tipo de muestreo, característico de los estudios cualitativos, permite la selección de informantes clave que aportan riqueza descriptiva y profundidad analítica (Patton, 2015).

La recolección de la información se llevó a cabo mediante tres estrategias complementarias: el análisis documental de artículos y reportes publicados en la Revista de PIV en formato impreso y electrónico; la observación directa de presentaciones en los coloquios, en las que se registraron interacciones entre estudiantes, docentes y representantes del sector industrial; y la revisión de testimonios escritos y orales compartidos por los participantes en dichos espacios. La triangulación de estas fuentes permitió aumentar la validez y la credibilidad de los hallazgos, conforme a los principios de la investigación cualitativa (Flick, 2018; Lincoln & Guba, 1985).

El procedimiento analítico consistió en la clasificación de los casos de éxito con base a tres criterios principales: el impacto en la empleabilidad (identificado a través de la contratación o inserción laboral de los egresados), las competencias desarrolladas (técnicas, comunicativas y de trabajo colaborativo) y las contribuciones a las empresas participantes (mejoras en productividad, innovación o procesos de gestión). La información se sistematizó mediante matrices de análisis temático, identificando patrones comunes y contrastando resultados entre distintas áreas de ingeniería. Este proceso permitió una interpretación contextualizada de los datos y una comprensión integral del fenómeno estudiado.

En relación con las recomendaciones metodológicas de Miles, Huberman y Saldaña (2018), se aplicaron estrategias de reducción, visualización y verificación de datos que facilitaron la construcción de categorías analíticas y la interpretación conceptual de los resultados. De esta manera, el análisis no se limitó a describir los hechos, sino que buscó comprender las dinámicas de colaboración y aprendizaje que emergen en la vinculación universidad-industria. En coherencia con el enfoque cualitativo, el tratamiento de los datos privilegió la identificación de tendencias y significados sobre la formulación de hipótesis causales, ofreciendo una visión reflexiva sobre las implicaciones formativas y organizacionales de la experiencia.

Marco Teórico

Ingeniería

La ingeniería es una disciplina aplicada centrada en optimizar procesos, diseñar sistemas y resolver problemas prácticos mediante el uso de conocimientos científicos y técnicos, con énfasis en eficiencia, calidad, seguridad y sostenibilidad. Es especialmente relevante en contextos de Industria 4.0 y 5.0, donde se integra la automatización, inteligencia artificial, “Internet of Things” y robótica para transformar sistemas productivos y servicios. Según Aracely Henríquez (2025), “la ingeniería desempeña un papel fundamental en la optimización de los procesos industriales y de servicios […] juega un rol significativo para entender de forma sistemática las mejoras que quieren lograrse con la innovación”.

Dentro del estudio se reconocen varias ramas de la ingeniería, como son las ingenierías industriales, ingenierías mecánicas e ingenierías civiles. Para emplear estos conocimientos se debe a llegar a un enlace entre la teoría y la práctica industrial, por donde se encuentran varias teorías y prácticas dentro de la universidad e industria para tanto el aprendizaje como el desarrollo de aquello.

Teoría de Aprendizaje

Durante el estudio de la ingeniería, se demuestran varias teorías de aprendizaje, algunas por las cuales se pueden captar su uso particular en las industrias. En la siguiente Tabla 1. se demuestra teorías empleadas:

Tabla 1. Teorías de Aprendizaje

Aprendizaje basado en proyectos (ABP)	Modelos recientes han aplicado ABP en la ingeniería mecánica, usando proyectos reales o kits de laboratorio en casa, que integran teoría y práctica, y promueven pensamiento crítico, motivación y mejor desempeño académico
Aprendizaje activo y colaborativo	Se utiliza el aprendizaje activo en ingeniería (debates, experimentación, proyectos colaborativos), combinando laboratorios y retroalimentación docente, lo cual favorece la autonomía, el compromiso, la autoeficacia y reducción de ansiedad en entornos presenciales y virtuales

Según estudios recientes de Álvarez Ariza (2022) muestran que el uso de laboratorios, ya sean en instalaciones físicas o mediante kits enviados a casa durante la pandemia, fortalece la formación técnica, la motivación y la autoeficacia de los estudiantes. Los contenidos prácticos combinados con blogs y videos de los alumnos y retroalimentación docente generan aprendizajes profundos en ingeniería aplicada

Conexión entre Teoría y Práctica

Para que los estudiantes de la ingeniería mecánica puedan conectar la teoría y la práctica, se reconoce la teoría de Kolb. Según Garcés (2020), la teoría de Kolb propone un ciclo de cuatro fases: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa. En el contexto de la educación en ingeniería y su vinculación con la Industria 4.0, esta teoría se usa para diseñar actividades de laboratorio que integran teoría y práctica, fomentando reflexión, colaboración y aplicación real de conocimientos.

La combinación de laboratorios experienciales, proyectos y metodologías activas permite que los conocimientos adquiridos en el aula se trasladen efectivamente al mundo real. El enfoque combina prácticas docentes contextualizadas, reflexión crítica y retroalimentación directa para consolidar habilidades transferibles.

Red de colaboración

La doctora en educación Cruz Pallares (2016) acredita que las redes de colaboración son estructuras colectivas de trabajo conformadas por cuerpos académicos o grupos de investigación, cuya meta principal es intercambiar conocimientos, coordinar esfuerzos y realizar actividades conjuntas para fortalecer la producción académica, la formación profesional, y el desarrollo institucional.

Esto es evidente gracias a la integración del UANL-CA-431 “Gestión de Proyectos Institucionales y de Vinculación con uso de TIC´s" conjunto con el UANL-CA-275 “Gestión Académico-Administrativa de Instituciones de Educación Superior”, cuyos líderes que colaboran en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) han contribuido a la formación de los ingenieros, a su vez han logrado despertar el interés en documentar casos de éxito y divulgarlos a la comunidad.

Cruz Pallares (2016) hace caracterizar la red de colaboración por:

- Tener objetivos comunes
- Apoyarse tanto en la colaboración presencial como en modalidades virtuales para superar barreras geográficas, políticas e institucionales.
- Requieren condiciones tales como infraestructura institucional, incentivos, reconocimientos y participación de los miembros para consolidarse de manera integral.
- Enfrentar retos similares en distintos contextos (geográficos, institucionales), aunque también mostrar diferencias debidas al entorno en que operan.

.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los coloquios organizados por el programa de Proyectos Institucionales y de Vinculación (PIV) se han consolidado como un espacio fundamental para fortalecer los lazos entre la academia y la industria. Estos encuentros representan una plataforma donde los estudiantes y docentes de ingeniería presentan los artículos y proyectos desarrollados a lo largo de sus prácticas profesionales, compartiendo experiencias, resultados y aprendizajes derivados de su participación en entornos reales de trabajo. Gracias a ello, los coloquios han funcionado como un puente efectivo de transferencia del conocimiento, permitiendo que los saberes teóricos adquiridos en el aula se transformen en soluciones concretas aplicadas a las necesidades de los distintos sectores productivos. Esta interacción ha contribuido a reducir la brecha existente entre la formación universitaria y las demandas del mercado laboral, fortaleciendo la pertinencia y la actualidad de los programas educativos.

Los hallazgos obtenidos en los últimos años evidencian de manera consistente la efectividad del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y del aprendizaje activo y colaborativo como metodologías que promueven la integración entre teoría y práctica. A través de los convenios establecidos con empresas y organismos del sector industrial, los estudiantes logran desarrollar proyectos con una finalidad tangible, en los que aplican conocimientos técnicos y analíticos bajo condiciones reales de producción o servicio. Este proceso genera un entorno formativo dinámico donde los participantes se desenvuelven tanto de forma individual como colectiva, asumiendo responsabilidades compartidas y recibiendo orientación constante por parte de sus supervisores académicos y profesionales del área. La participación simultánea de docentes, tutores y especialistas permite un seguimiento cercano que asegura la calidad del aprendizaje y la pertinencia de las propuestas presentadas.

En cada edición de los coloquios, los estudiantes exponen públicamente sus proyectos ante un jurado y un auditorio integrado por docentes, investigadores, representantes empresariales y compañeros de diversas disciplinas. Este ejercicio académico fomenta la retroalimentación técnica y profesional, estimula la reflexión crítica sobre los resultados alcanzados y fortalece el sentido de responsabilidad en la comunicación de hallazgos. Además, la dinámica de presentación y defensa técnica exige al estudiante argumentar con claridad sus decisiones, explicar la metodología empleada y justificar el impacto de su trabajo, lo que potencia su madurez profesional y su capacidad de análisis. De este modo, el formato de los coloquios trasciende la mera exposición de proyectos para convertirse en un espacio de validación académica y profesional, en el que se demuestra el dominio de competencias técnicas y se promueven habilidades transversales esenciales, tales como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, el liderazgo y la gestión del tiempo.

Otro resultado relevante derivado de esta experiencia es el impacto directo en la empleabilidad de los participantes. Un número considerable de estudiantes que han formado parte de los coloquios ha recibido ofertas laborales o invitaciones a colaborar con las mismas empresas donde realizaron sus prácticas. Este fenómeno responde a que la presentación pública de los proyectos permite a los

CC BY NC ND

empleadores observar de manera directa las capacidades técnicas, el compromiso y la actitud profesional de los jóvenes ingenieros. Así, los coloquios se consolidan no solo como un ejercicio académico, sino también como un mecanismo de inserción laboral temprana, que facilita el tránsito del aula al empleo formal. Esta sinergia entre universidad e industria beneficia a ambas partes: las empresas identifican talento con formación práctica y actitud proactiva, mientras que la universidad valida la efectividad de sus estrategias pedagógicas orientadas al desarrollo de competencias laborales.

Durante el proceso de evaluación de las redes de colaboración correspondientes al periodo 2022–2025, se identificó un crecimiento significativo en la participación de estudiantes y docentes, así como en la producción académica generada a partir de los proyectos presentados. En las Figuras 1 y 2 se muestra el aumento sostenido en el número de artículos publicados, tanto en formato impreso como electrónico, lo cual refleja la evolución del programa PIV hacia un modelo más estructurado, con mayor alcance y difusión. Este incremento en las publicaciones no solo representa un indicador cuantitativo de productividad, sino que también evidencia el fortalecimiento institucional de la red de colaboración, la consolidación de las prácticas de vinculación y la creación de una comunidad académica comprometida con la innovación, la investigación aplicada y la mejora continua de los procesos de enseñanza en ingeniería.

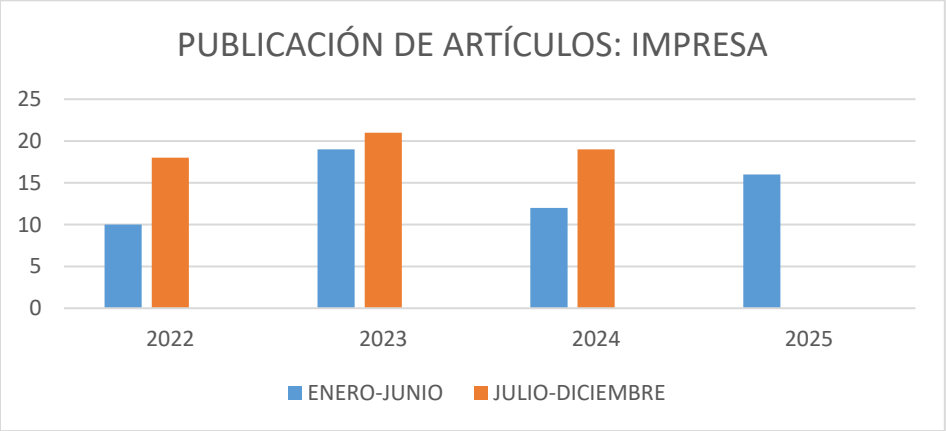


Figura 1. Publicaciones de Artículos impresos

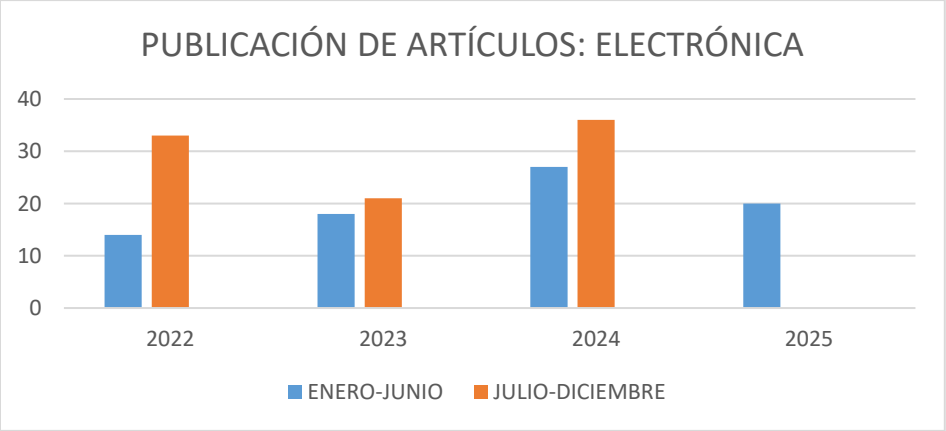


Figura 2. Publicaciones de Artículos electrónicos

Tomando como referencia los artículos y proyectos que han demostrado un impacto positivo en las empresas colaboradoras, los resultados obtenidos en los procesos de vinculación reflejan incrementos significativos en productividad y eficiencia operativa, evidenciando la relevancia práctica de las propuestas desarrolladas por los estudiantes. Un ejemplo destacado corresponde a una empresa del sector de galvanizado, donde la implementación del marco de trabajo Scrum (modelo de referencia que establece roles, tiempos y dinámicas de mejora continua) permitió aumentar la producción en más del 250% en un periodo de solo tres meses. Este resultado no solo evidencia la efectividad técnica de la propuesta, sino también la capacidad de adaptación de los estudiantes para aplicar metodologías ágiles en contextos industriales, demostrando dominio de procesos, gestión del tiempo y enfoque en resultados medibles.

De manera similar, en una empresa dedicada a la fabricación de motores eléctricos, la optimización de la línea de ensamble resultó en un incremento del 92% en la producción y en una mejora sustancial en la eficiencia general del proceso. Este caso destaca el potencial de la colaboración universidad–industria para transferir soluciones innovadoras que combinan conocimientos de ingeniería, análisis de procesos y gestión de recursos humanos. Las intervenciones realizadas por los estudiantes permitieron reducir tiempos muertos, reorganizar flujos de trabajo y mejorar la calidad de los productos finales, lo que demuestra la capacidad del aprendizaje aplicado para generar beneficios tangibles tanto para la empresa como para la formación profesional.

Estos ejemplos constituyen evidencias concretas del valor agregado que los proyectos de vinculación aportan al sector productivo. A través de ellos, se comprueba que la integración de metodologías académicas y herramientas de mejora continua contribuye a transformar la teoría en acciones con resultados verificables. De igual forma, se refuerza la idea de que los estudiantes, al enfrentar problemáticas reales bajo supervisión académica y empresarial, desarrollan competencias técnicas y blandas esenciales, como liderazgo, análisis crítico, gestión del cambio y toma de decisiones basada en evidencia.

La experiencia acumulada desde el año 2013 confirma que la estrategia de divulgación y colaboración implementada ha desempeñado un papel decisivo en el fortalecimiento de la empleabilidad temprana de los egresados de ingeniería. La visibilidad de los resultados en entornos productivos reales incrementa la confianza de las empresas en el talento formado por la institución, lo que se traduce en mayores oportunidades laborales y en un reconocimiento sostenido del prestigio académico. Asimismo, la participación continua en estos proyectos ha permitido consolidar una cultura de vinculación activa, donde docentes y estudiantes asumen un rol protagónico en la solución de problemas técnicos y organizacionales de alto impacto.

De igual manera, las experiencias documentadas se han convertido en un repositorio de conocimiento validado, que sirve como fuente de consulta y referencia para las generaciones posteriores. Este acervo no solo preserva la memoria de los logros alcanzados, sino que también actúa como una base de aprendizaje institucional, orientando futuras intervenciones y fomentando la replicabilidad de las prácticas exitosas. En este sentido, los proyectos de vinculación no se limitan a su valor inmediato, sino que adquieren una dimensión estratégica al nutrir la mejora continua, la innovación y la transferencia tecnológica dentro de la comunidad académica.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

CC BY NC ND

La experiencia de interacción entre los cuerpos académicos de la dependencia permitió comprobar con evidencia concreta que el trabajo colaborativo produce resultados tangibles y sostenibles. Este proceso no solo fortaleció la cohesión entre los equipos de investigación y docencia, sino que también consolidó una cultura institucional orientada a la vinculación, la innovación y la mejora continua. El intercambio de conocimientos y la cooperación entre docentes, estudiantes y representantes del sector productivo demostraron que la sinergia entre la academia y la industria constituye un motor efectivo para la generación de aprendizajes significativos y el desarrollo de competencias profesionales de alto impacto.

La evidencia recopilada confirma que la participación activa de docentes y estudiantes de la FIME en los proyectos y publicaciones derivadas de los coloquios se ha convertido en una estrategia eficaz para potenciar la empleabilidad y fortalecer la proyección profesional de los egresados de ingeniería. A través de estos espacios, los estudiantes logran validar públicamente sus capacidades técnicas, su pensamiento crítico y su habilidad para resolver problemas complejos en contextos reales. De igual manera, el proceso de exposición, análisis y defensa de resultados les permite desarrollar competencias transversales como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, la autogestión y la capacidad para recibir y aplicar retroalimentación constructiva.

La interacción constante con profesionales del sector industrial ha contribuido a reducir la distancia entre la formación académica y las demandas actuales del mercado laboral, generando un entorno de aprendizaje integral que combina la teoría, la práctica y la experiencia. Este diálogo directo entre la universidad y las empresas ha permitido ajustar los enfoques formativos a las necesidades reales del entorno productivo, promoviendo la pertinencia curricular y el desarrollo de perfiles profesionales más competitivos.

Asimismo, la contratación de egresados por parte de las empresas en las que realizaron sus prácticas o presentaron sus proyectos constituye una evidencia concreta del éxito del modelo de vinculación. Esta dinámica confirma que la exposición de resultados en los coloquios no solo visibiliza el talento de los estudiantes, sino que también refuerza la confianza del sector empresarial en la calidad de la formación impartida por la institución. En consecuencia, el programa PIV se consolida como una plataforma efectiva de integración entre docencia, investigación y práctica profesional, cuyo impacto trasciende el ámbito académico al contribuir directamente al desarrollo económico y tecnológico de la región.

En suma, esta experiencia demuestra que la colaboración académica y la vinculación con el sector productivo son pilares esenciales para una formación en ingeniería orientada a la excelencia, la empleabilidad y la innovación. El fortalecimiento de estos espacios garantiza no solo el desarrollo de profesionales competentes, sino también el cumplimiento de la misión universitaria de generar conocimiento aplicado al servicio de la sociedad.

REFERENCIAS

Ariza, J. Á. (2022, 30 marzo). Can in-home laboratories foster learning, self-efficacy, and motivation during the COVID-19 pandemic? -- A case study in two engineering programs. arXiv.org. https://arxiv.org/abs/2203.16465

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Diseño de investigación cualitativa: eligiendo entre cinco enfoques (4.ª ed.). SAGE Publications. https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-inquiry-and-research-design/book246896

Cruz Pallares, K. A. (2016). Los cuerpos académicos en la conformación de redes de colaboración. Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos Y Grupos De Investigación, 3(6). Recuperado a partir de https://mail.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/105

De la Roche, M. M., Estupiñán, A. M. V., & Pulido, M. A. (2021). Características e importancia de la metodología cualitativa en la investigación científica. Revista Semillas del Saber, 1(1), 18–27. https://revistas.unicatolica.edu.co/revista/index.php/semillas/article/view/314

Flick, U. (2018). Introducción a la investigación cualitativa (6.ª ed.). Ediciones Morata. https://edmorata.es/wp-content/uploads/2021/02/Flick.-Introduccion-a-la-investigacion-cualitativa_prw.pdf

Flores, A. (2021, 23 octubre). Agile vs. Scrum: descubre cuál es la mejor opción para acelerar el rendimiento de tu empresa. https://www.crehana.com. https://www.crehana.com/blog/estilo-vida/agile-vs-scrum/

Garcés, G., & Peña, C. (2020). Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. https://www.redalyc.org/journal/2431/243164095007/html/

Henríquez, A. (2025, 5 junio). Ingeniería, productividad e Industria 5.0 en la Optimización. Inspenet. https://inspenet.com/articulo/ingenieria-productividad-e-industria-5-0/

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Investigación naturalista. SAGE Publications. https://us.sagepub.com/en-us/nam/naturalistic-inquiry/book842

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). Análisis de datos cualitativos: Un enfoque de métodos de fuente múltiple (3.ª ed.). SAGE Publications. https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-data-analysis/book239534

Patton, M. Q. (2015). Métodos de evaluación e investigación cualitativa (4.ª ed.). SAGE Publications. https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-research-evaluation-methods/book232962

Implementación y verificación de un método selectivo para la determinación de nitrógeno amoniacal en agua destinada al consumo humano

Implementation and verification of a selective method for the determination of ammoniacal nitrogen in water intended for human consumption

Emilio Pérez Pacheco [1]
Oliva Guadalupe Ortiz Cel [2]
Jorge Carlos Canto Pinto [3]
Félix José Aguilar Vázquez [4]

RESUMEN

El ion amonio (NH_4^+) representa uno de los contaminantes nitrogenados más frecuentes en el agua, cuya presencia, derivada de fuentes naturales e industriales, exige una vigilancia estricta para asegurar su conformidad con los límites establecidos en normativas sanitarias. Este estudio tuvo como objetivo verificar la aplicabilidad del método para la determinación de nitrógeno amoniacal mediante electrodo selectivo, conforme a la NOM-127-SSA1-2021, apéndice 2.7. Se realizaron dos jornadas de análisis con muestras de agua purificada. En la primera etapa se construyó una curva de calibración empleando estándares de 0.1 a 1000 mg/L, que cumplió con el coeficiente de correlación (≥ 0.997) y rangos de recuperación (80-120%) establecidos por la NMX-AA-115-SCFI-2015.

En la segunda etapa se fortificaron las muestras para evaluar parámetros como intervalo lineal, límite de cuantificación, recuperación, sesgo, repetibilidad y reproducibilidad. Los resultados se ajustaron a los criterios normativos, demostrando la eficacia del método. El procedimiento permite una determinación precisa y confiable del nitrógeno amoniacal en agua para consumo humano, posicionándose como una herramienta analítica eficaz para fortalecer el monitoreo de la calidad del agua en sistemas de abastecimiento.

PALABRAS CLAVES: Nitrógeno amoniacal; Electrodo selectivo de amonio; Verificación de métodos analíticos; Agua para consumo humano.

[1] Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México y Universidad Modelo, Centro de Investigaciones Silvio Zavala, 97305, Mérida Yucatán, México. emilioperez@modelo.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-2242-1183
[2] Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México. ogortiz@itescam.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-3159-457X
[3] Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México. Autor de correspondencia, jccanto@itescam.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-6133-056X
[4] Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Mérida, Mérida, Yucatán, México. felix.av@merida.tecnm.mx, https://orcid.org/0009-0000-0719-2576

Fecha de recepción: 25 de agosto, 2025.

Fecha de aceptación: 29 de septiembre, 2025.

ABSTRACT

The ammonium ion (NH_4^+) is one of the most common nitrogenous contaminants in water. Its presence, originating from both natural and industrial sources, requires strict monitoring to ensure compliance with regulatory health standards. This study aimed to assess the applicability of the method for determining ammoniacal nitrogen using a selective electrode, in accordance with NOM-127-SSA1-2021, Appendix 2.7. Two analytical sessions were conducted using purified water samples. In the first stage, a calibration curve was built using standards ranging from 0.1 to 1000 mg/L, achieving the required correlation coefficient (≥ 0.997) and recovery ranges (80-120 %) set forth in NMX-AA-115-SCFI-2015. In the second stage, samples were fortified to evaluate parameters such as linear range, limit of quantification, recovery, bias, repeatability, and reproducibility. The results met the regulatory criteria, demonstrating the method's efficacy. The procedure enables precise and reliable determination of ammoniacal nitrogen in drinking water, positioning itself as an effective analytical tool to strengthen water quality monitoring in supply systems.

KEYWORDS: Ammoniacal nitrogen; Ammonium selective electrode; Analytical method verification; Drinking water.

La calidad del agua destinada al consumo humano es un aspecto crítico en la protección de la salud pública, siendo regulada por normas internacionales y nacionales que establecen límites permisibles para una amplia gama de contaminantes. Entre estos contaminantes, el nitrógeno amoniacal, presente comúnmente en forma de ion amonio (NH_4^+), representa uno de los principales indicadores de contaminación nitrogenada en cuerpos de agua, debido a su origen tanto antropogénico como natural (Organization, 2004). Este compuesto puede derivarse de la descomposición de materia orgánica, excretas humanas, efluentes industriales, y lixiviados agrícolas, generando implicaciones significativas en el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y en la potabilidad del agua (Camargo & Alonso, 2006).

Diversas investigaciones han demostrado que niveles elevados de nitrógeno amoniacal pueden provocar toxicidad en organismos acuáticos, alteración en procesos de nitrificación y formación de subproductos potencialmente dañinos para la salud humana durante el tratamiento del agua (Chen et al., 2020; Lin et al., 2025). A nivel normativo, la presencia de este compuesto es regulada por organismos como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Huff et al., 2013) y, en México, por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021.

En este sentido, los métodos electroquímicos han cobrado gran relevancia debido a su simplicidad, sensibilidad, rapidez y bajo costo operativo (Lin et al., 2025). Particularmente, el uso de electrodos selectivos ha demostrado ventajas frente a métodos tradicionales como el de Nessler o el espectrofotométrico, al evitar reactivos tóxicos y permitir un análisis más directo y automatizable (Nollet & De Gelder, 2000). Sin embargo, la implementación de estos métodos en laboratorios de ensayo requiere un proceso riguroso de verificación que asegure su fiabilidad, exactitud y conformidad con los estándares técnicos establecidos (Belezia & de Almeida, 2021; Guideline, 2005).

CC BY NC ND

Estudios reportados en la literatura han evaluado la aplicabilidad de electrodos selectivos en matrices ambientales y en aguas residuales (Yun et al., 2019; Zhang et al., 2025). No obstante, existen escasos reportes enfocados en la verificación normativa de este tipo de metodología en agua potable conforme a los criterios de recuperación, linealidad, sesgo, repetibilidad y reproducibilidad establecidos por la norma mexicana NMX-AA-115-SCFI-2015. Esta carencia de información limita su uso rutinario en laboratorios de control de calidad de agua, particularmente ante la reciente entrada en vigor de los lineamientos de la NOM-127-SSA1-2021.
Es por ello por lo que la presente investigación tiene como objetivo verificar experimentalmente el método de determinación de nitrógeno amoniacal por electrodo selectivo en muestras de agua potable, conforme a la normativa mexicana vigente. Esta verificación permitirá establecer la validez del método propuesto para su implementación en laboratorios certificados, a fin de fortalecer las capacidades analíticas para el monitoreo de este contaminante en sistemas de abastecimiento.

JUSTIFICACIÓN

La presencia de nitrógeno amoniacal en el agua destinada al consumo humano representa un factor crítico para la salud pública y la integridad ambiental, ya que puede indicar contaminación por materia orgánica o efluentes industriales. La actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 establece la aplicación de un método de prueba basado en electrodo selectivo de amonio, lo que exige a los laboratorios de ensayo validar y verificar su implementación conforme a los parámetros de calidad definidos por la NMX-AA-115-SCFI-2015. La necesidad de contar con métodos analíticos validados se vuelve relevante en regiones con alta vulnerabilidad hídrica, como las comunidades del Camino Real, donde el uso de fosas sépticas incrementa el riesgo de infiltración de compuestos nitrogenados en fuentes subterráneas.
Este estudio surge ante la carencia de reportes experimentales que confirmen la aplicabilidad del método en condiciones reales de laboratorio. La verificación propuesta contribuye al cumplimiento normativo y fortalece los análisis en aguas, a fin de garantizar datos confiables para la toma de decisiones en salud pública, calidad del agua y seguridad alimentaria.

METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en un laboratorio especializado en el análisis de agua potable, con el propósito de validar la implementación adecuada del método estandarizado para la cuantificación de nitrógeno amoniacal, conforme a los criterios técnicos establecidos en la norma NMX-AA-115-SCFI-2015. La verificación del método se realizó bajo condiciones controladas, asegurando el cumplimiento riguroso de los parámetros operativos definidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, que regula la calidad del agua destinada al consumo humano.

Preparación de soluciones

Para la preparación de las soluciones patrón se empleó cloruro de amonio (NH_4Cl) de grado analítico, previamente secado a 100 °C durante una hora para asegurar su estabilidad. La solución madre, con una concentración de 1000 mg/L de nitrógeno amoniacal, se elaboró disolviendo la sal en agua desionizada y aforando a un volumen final de un litro. A partir de esta solución, se generaron diluciones sucesivas para obtener estándares de trabajo. Las soluciones se almacenaron en frascos ámbar, previamente acidificados con ácido sulfúrico para ajustar el pH a 2, a fin de preservar la integridad del analito.

CC BY NC ND

El análisis instrumental se llevó a cabo mediante un electrodo selectivo de ion amonio, previamente calibrado y acoplado a un potenciómetro de alta sensibilidad. Antes de cada medición, se acondicionó el electrodo y se verificó la estabilidad del potencial eléctrico. Las muestras y soluciones patrón fueron alcalinizadas con hidróxido de sodio en presencia de EDTA, permitiendo la liberación del ion amonio. Posteriormente, se registraron los valores de potencial en milivoltios (mV), que se emplearon para determinar las concentraciones de nitrógeno amoniacal en las muestras evaluadas.

Curva de calibración

La construcción de la curva de calibración se llevó a cabo mediante análisis de regresión lineal. Se grafico el potencial eléctrico registrado vs el logaritmo de la concentración del ion amonio expresado como nitrógeno amoniacal. Este procedimiento permitió evaluar la respuesta analítica del electrodo selectivo de amonio bajo las condiciones experimentales establecidas. Para validar la linealidad del sistema, se empleó el coeficiente de determinación (R^2) como criterio estadístico; se consideró como aceptable un valor igual o superior a 0.995, de acuerdo con lo que se establece en la norma NMX-AA-115-SCFI-2015. Este parámetro es esencial para garantizar la precisión y exactitud en la cuantificación de nitrógeno amoniacal en muestras de agua destinadas a consumo humano.

Verificación del método

Con el propósito de validar la idoneidad del método analítico propuesto para la cuantificación de nitrógeno amoniacal, se llevaron a cabo evaluaciones de los principales parámetros de desempeño, como se establece en la norma NMX-AA-115-SCFI-2015. La verificación de la linealidad se basó en la construcción de una curva de calibración utilizando estándares preparados a partir de diluciones seriadas, valorada mediante el coeficiente de determinación (R^2), tomando como valor aceptable un valor igual o superior a 0.995.

La exactitud del método se estimó mediante ensayos de recuperación realizados con muestras fortificadas. Lo anterior permitió cuantificar la capacidad del procedimiento para medir con precisión el analito en presencia de la matriz. La reproducibilidad interdiaria se evaluó mediante la realización de diez determinaciones distribuidas en dos días consecutivos, y se calculó el coeficiente de variación (CV) para determinar la estabilidad del método en diferentes sesiones analíticas.

Adicionalmente, se aplicó la prueba estadística F de Fisher con el objetivo de contrastar las varianzas entre series, garantizando así la homogeneidad de los datos bajo condiciones analíticas controladas. Los resultados obtenidos se confrontaron con los criterios de aceptación establecidos en la normativa oficial, confirmando la aplicabilidad del método en las condiciones operativas del laboratorio.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Curva de calibración y linealidad

La curva de calibración se construyó utilizando soluciones estándar de cloruro de amonio con concentraciones nominales de 0.1, 0.5, 1, 10, 100 y 1000 mg/L. Las mediciones potenciométricas se realizaron con un electrodo selectivo de ion amonio calibrado con soluciones buffer de pH 4.00 y 7.00.

Los valores de milivoltios (mV) obtenidos para cada estándar mostraron una respuesta decreciente conforme aumentó la concentración. Estos resultados siguieron la tendencia de la ecuación de Nernst para electrodos selectivos. El ajuste de los datos se realizó mediante una regresión lineal logarítmica, obteniéndose la ecuación (1):

$$y = -54.3570 \ln(x) - 24.8580 \quad (1)$$

Donde y denota el potencial en mV, x denota a la concentración de ion amonio en mg/L.

CC BY NC ND

El coeficiente de correlación obtenido fue de 0.9996, y su coeficiente de determinación R^2 fue de 0.9992. Estos resultados (ver tabla 1) muestran una linealidad en todo el intervalo evaluado. Estos valores están por arriba del criterio de aceptación mínimo que se establece en la norma que debe ser R ≥ 0.997 para métodos de análisis cuantitativo. La linealidad se mantuvo constante incluso en los extremos del intervalo evaluado, desde concentraciones de 0.1 mg/L hasta niveles elevados de1000 mg/L. Lo anterior indica que el método es aplicable para una amplia gama de concentraciones sin necesidad de realizar diluciones adicionales o ajustes por sensibilidad del equipo.

En cuanto al porcentaje de recuperación, los valores obtenidos para los estándares dentro de la curva oscilaron entre 92.29 % y 116.90 %, encontrándose todos dentro del intervalo aceptable de 80 % a 120 %. Esto respalda la fidelidad del electrodo y la precisión en la preparación de los patrones. Además, se observó que el potencial eléctrico mantenía una relación logarítmica coherente con la concentración, sin presencia de puntos atípicos ni desviaciones sistemáticas.

Los resultados permiten confirmar que la curva de calibración desarrollada es estadísticamente válida y cumple con los criterios de aceptación exigidos para su uso en análisis rutinarios de nitrógeno amoniacal en agua potable.

Tabla 1. Valores de potencial eléctrico obtenidos para soluciones estándar de ion amonio y su correspondiente concentración logarítmica.

Concentración (mg/L)	Potencial (mV)
0.1	-100.1
0.5	-115.5
1	-120.3
10	-145.2
100	-177.9
1000	-206.6

De acuerdo con el criterio de aceptación del coeficiente de correlación debe de ser ≥ 0.997 y el % de Recobro de 80-120. La curva realizada se aceptó, esto, se puede apreciar en la siguiente figura 1 y los resultados de las lecturas de los análisis de los estándares en la tabla 2.

La curva de calibración construida a partir de los estándares mostró un coeficiente de correlación de 0.9996, cumpliendo con el criterio de aceptación (≥ 0.997). El porcentaje de recuperación osciló entre 92.29 % y 116.90 %, dentro del intervalo aceptable de 80-120 %.

CC BY NC ND

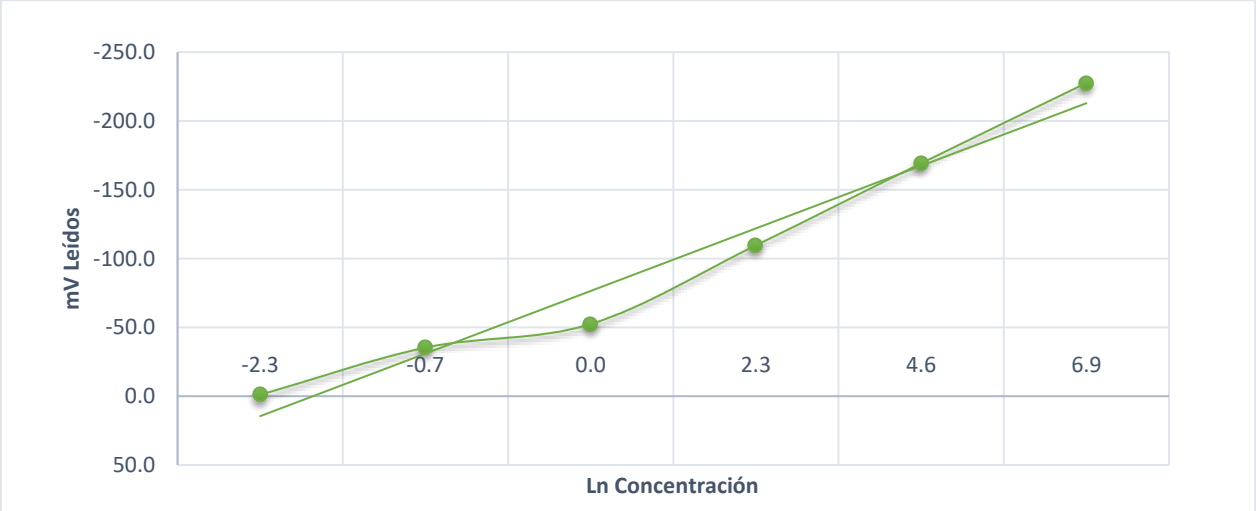


Figura 1. Curva de calibración del electrodo selectivo de ion amonio.

Recuperación y sesgo

Los estudios de recuperación y sesgo se realizaron con el objetivo de evaluar la exactitud del método de determinación de nitrógeno amoniacal mediante electrodo selectivo, de acuerdo con la norma NMX-AA-115-SCFI-2015. Para ello, se prepararon soluciones estándar con concentraciones crecientes de ion amonio, y se midieron los potenciales eléctricos generados por el electrodo, así como los porcentajes de recuperación obtenidos.

Los valores de recuperación calculados para cada punto de la curva oscilaron entre 92.29 % y 116.90 %, con un promedio general de 100.39 %, lo que indica una alta fidelidad en la cuantificación del analito a lo largo de todo el intervalo de concentraciones evaluado (ver tabla 2). En todos los casos, los valores se mantuvieron dentro del intervalo de aceptación definido por la norma (80 % a 120 %). Los resultados anteriores confirman la validez del método en términos de exactitud. El valor más alto se obtuvo con la concentración más baja (0.1 mL), con un 116.90 % de recuperación, lo cual es aceptable considerando las posibles variaciones en niveles traza. En contraste, los estándares de concentración media y alta presentaron recuperaciones más cercanas al 100 %, lo que sugiere una respuesta más estable del electrodo en dichas condiciones.

El sesgo, entendido como la diferencia entre el valor teórico esperado y el valor obtenido experimentalmente, fue mínimo en todos los niveles de concentración, indicando que el método no presenta desviaciones sistemáticas significativas. Esta ausencia de sesgo refuerza la confiabilidad del método y su aplicabilidad en condiciones rutinarias de laboratorio.

Los resultados obtenidos muestran que el método cumple con los criterios establecidos por la legislación mexicana vigente y también ofrece un desempeño analítico comparable al de métodos de referencia internacionales.

CC BY NC ND

Tabla 2. Respuesta potenciométrica del electrodo selectivo de ion amonio y valores de recuperación para los estándares de calibración.

Vol. Patrón (ml)	Ln de conc.	mV Leidos	% Recobro
0	-----	12.2	-----
0.1	-2.3	-1.0	116.90
0.5	-0.7	-35.3	92.91
1	0.0	-52.4	92.43
10	2.3	-109.6	92.29
100	4.6	-169.2	101.49
1000	6.9	-227.6	106.35
			100.39

Repetibilidad y reproducibilidad

La evaluación de la repetibilidad y reproducibilidad del método se llevó a cabo con el fin de comprobar su precisión en diferentes condiciones operativas (ver tabla 3). La repetibilidad se determinó mediante la medición de muestras replicadas por un mismo analista, en un mismo equipo y bajo las mismas condiciones experimentales, mientras que la reproducibilidad se evaluó considerando variaciones entre analistas y días de trabajo, empleando el mismo procedimiento analítico. Ambas pruebas se realizaron utilizando una solución patrón de 10 mg/L de ion amonio como muestra de referencia.

Los resultados obtenidos para la repetibilidad mostraron una desviación estándar relativa (coeficiente de variación, CV) inferior al 5 %, con valores consistentes entre las réplicas, lo que indica un comportamiento preciso y confiable del electrodo selectivo en condiciones controladas. Este resultado cumple con el criterio establecido por la NMX-AA-115-SCFI-2015, que establece como aceptable un CV ≤ 15 % para este tipo de análisis.

Por otro lado, la reproducibilidad presentó una ligera variabilidad atribuible al cambio de operador y de día de análisis, pero manteniéndose dentro de los límites permisibles. El coeficiente de variación interdiario fue igualmente inferior al 5 %, confirmando que el método conserva su precisión aún bajo condiciones variables. Esta estabilidad es crucial para su implementación en laboratorios de ensayo que trabajan bajo acreditación ISO/IEC 17025, donde la robustez del método es un requisito fundamental para garantizar la trazabilidad y la confiabilidad de los resultados.

La baja dispersión de los datos obtenidos en ambas evaluaciones respalda la capacidad del electrodo selectivo de ion amonio para producir resultados precisos de manera consistente, sin dependencia significativa de factores externos. Además, la prueba F de Fisher aplicada a las varianzas obtenidas entre ambos días indicó que no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$), lo cual valida la estabilidad del método frente a variaciones menores en el tiempo. Esta consistencia es fundamental en contextos de control de calidad del agua potable, donde la precisión analítica impacta directamente en la toma de decisiones sanitarias y regulatorias. Estos resultados fortalecen la viabilidad del método como herramienta analítica confiable en el monitoreo de nitrógeno amoniacal en agua para consumo humano.

CC BY NC ND

Tabla 3. Resultados de la concentración de nitrógeno amoniacal obtenidos durante la evaluación de la reproducibilidad interdiaria del método.

Día 1 (mg/L)	Día 2 (mg/L)
5.265	5.018
5.06	5.182
5.147	5.095
5.336	5.015
5.28	5.055
4.853	5.042
5.143	5.187
4.977	4.974
4.985	5.039
5.062	4.893
5.265	5.018

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El método basado en electrodo selectivo de ion amonio demostró ser preciso para la determinación de nitrógeno amoniacal en agua potable, cumpliendo con los criterios establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 y la NMX-AA-115-SCFI-2015. La curva de calibración presentó excelente linealidad, las recuperaciones estuvieron dentro del intervalo aceptable y los coeficientes de variación fueron inferiores al 5 %. Los resultados aportan evidencia técnica que respalda el uso de este método en análisis de calidad del agua como alternativa segura, económica y confiable. Además, se contribuye al fortalecimiento de los análisis en los sistemas de vigilancia sanitaria del agua en contextos vulnerables.

REFERENCIAS

Belezia, L. C., & de Almeida, M. F. L. (2021). Self-assessment model for testing and calibration laboratories based on ISO/IEC 17025: 2017 requirements. Journal of Physics: Conference Series,

Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, *32*(6), 831-849. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002

Chen, G.-H., van Loosdrecht, M. C., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2020). *Biological wastewater treatment: principles, modeling and design*. IWA publishing.

Guideline, I. H. T. (2005). Validation of analytical procedures: text and methodology. *Q2 (R1)*, *1*(20), 05.

Huff, L., Delos, C., Gallagher, K., & Beaman, J. (2013). Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia-freshwater. *Washington DC: US Environmental Protection Agency*.

Lin, C., Liu, Y., Li, Y.-Y., & Liu, J. (2025). A novel mainstream partial nitritation process by ex-situ high salinity NOB inhibition: long-term stability and microbial response. *Journal of*

Environmental Management, *392*, 126867. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126867

Nollet, L. M., & De Gelder, L. S. (2000). *Handbook of water analysis*. CRC press.

Organization, W. H. (2004). *Guidelines for drinking-water quality* (Vol. 1). World health organization.

Yun, L., Yu, Z., Li, Y., Luo, P., Jiang, X., Tian, Y., & Ding, X. (2019). Ammonia nitrogen and nitrite removal by a heterotrophic Sphingomonas sp. strain LPN080 and its potential application in aquaculture. *Aquaculture*, *500*, 477-484. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.054

Zhang, Y., Ding, Y., Fu, Y., Wu, X., Bao, L., & Yang, Q. (2025). Performance enhancement of shortcut nitrification-denitrification in an activated sludge system under high-frequency intermittent aeration strategy. *Environmental Technology & Innovation*, *40*, 104496. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104496

CC BY NC ND

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Improving the cooling system to prevent the water tank from freezing: component optimization for energy efficiency and quality in domestic refrigerators

Martha Elia García Rebolloso [1]
Tomas Norberto Martínez García [2]
Karina Vega García [3]
Raúl Alan Delgado Barbosa [4]

RESUMEN

Esta investigación aborda la problemática del congelamiento del tanque de agua en el refrigerador doméstico modelo French Door Bottom Mount (FDBM) de Whirlpool, causado por fugas de aire frío debido a un gasket o espuma de espesor inadecuado en el ensamble de la torre de aire. El problema generaba un consumo energético ineficiente y recurrentes llamadas de servicio, impactando el costo y la calidad del producto. La metodología cuantitativa, enfocada en la objetividad y los números, se estructuró en fases de validación de concepto, validación de diseño y validación de proceso. Se realizaron pruebas rigurosas en el laboratorio de termodinámica, incluyendo Energy Baseline, No Load 90 y Pull Down, utilizando cámaras térmicas para la obtención de datos cuantitativos. Además, se ejecutaron pruebas de control y seguridad como la prueba de Empaque (Packaging Test) y Material Odour. Los resultados principales demostraron que la implementación de un nuevo gasket condujo a una mejora en la eficiencia energética, alcanzando un consumo de 618.1 KWh/año. Las unidades modificadas cumplieron satisfactoriamente con las especificaciones de temperatura en la prueba No Load 90 y lograron el abatimiento de temperatura en la prueba Pull Down en un promedio de 4 horas y 25 minutos, superando la especificación de 6 horas. Finalmente, los eventos de pre-piloto y piloto en planta confirmaron que el nuevo componente se ensambla de manera rápida y eficaz, sin interferencias. Se concluye que la hipótesis fue aceptada, ya que la mejora del sistema de refrigeración mediante el cambio del gasket solucionó el congelamiento del tanque, redujo las llamadas de servicio y optimizó la eficiencia energética y la calidad del producto FDBM.

PALABRAS CLAVES: Refrigeración Doméstica, Eficiencia Energética, Mejora de la Calidad, Componentes, Fugas de Aire, Validación de Proceso

[1] Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma Nuevo León. martha.garciarb@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0001-5863-0396
[2] Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. tomas.martinezgr@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0007-1406-7061
[3] Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, karina.vegagrc@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0003-1595-6398
[4] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, raul.delgadobrbs@uanl.edu.mx

Fecha de recepción: 03 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 10 de octubre, 2025.

ABSTRACT

The objective was to implement the 'Material Coverage' methodology to solve this operational problem and optimize inventories. This research addresses the problem of water tank freezing in the Whirlpool French Door Bottom Mount (FDBM) domestic refrigerator model, caused by cold air leaks due to an inadequate thickness of the gasket or foam in the air tower assembly. This issue resulted in inefficient energy consumption and recurrent customer service calls, affecting both cost and product quality. The quantitative methodology, focused on objectivity and numerical data, was structured into phases: Concept Validation, Design Validation, and Process Validation. Rigorous testing was performed in the Thermodynamics Laboratory using thermal chambers, including Energy Baseline, No Load 90, and Pull Down tests, to obtain quantitative data. Control and safety tests, such as Packaging Tests and Material Odour, were also conducted. The main results showed that implementing the new gasket led to an improvement in energy efficiency, achieving a consumption of 618.1 KWh/year. The modified units satisfactorily met temperature specifications in the No Load 90 test and achieved temperature pull-down in an average of 4 hours and 25 minutes, surpassing the 6-hour specification. Factory pre-pilot and pilot events confirmed that the new component assembles quickly and effectively without interference. It is concluded that the hypothesis was accepted, as improving the refrigeration system through the gasket change solved the tank freezing issue, reduced service calls, and optimized the energy efficiency and quality of the FDBM product.

KEYWORDS: Domestic Refrigeration, Energy Efficiency, Quality Improvement, Components, Air Leaks, Process Validation

INTRODUCCIÓN

La industria de la línea blanca ha incrementado su importancia dentro del comercio global, siendo Whirlpool Corporation un actor predominante a nivel mundial en la fabricación y comercialización de electrodomésticos. Esta corporación, con ventas anuales que superan los $20 mil millones de dólares y operaciones en múltiples países, busca mantener su liderazgo garantizando la calidad y la eficiencia de sus productos. La calidad es un atributo esencial que asegura que un producto cumpla con su propósito y satisfaga las expectativas del usuario, abarcando aspectos como durabilidad, funcionalidad y eficiencia. El compromiso de Whirlpool se centra en ofrecer productos de alta calidad y servicio excepcional, lo cual requiere optimizar continuamente los costos y la eficiencia energética de sus procesos.

Planteamiento del Problema

El modelo de refrigerador doméstico French Door Bottom Mount (FDBM) presenta un problema recurrente que afecta directamente la satisfacción del cliente y la calidad del producto: el congelamiento del tanque de almacenamiento de agua. El análisis de la causa raíz identificó que este congelamiento se debe a fugas de aire frío originadas en el ensamble de la torre de aire. Específicamente, el gasket o espuma utilizada en dicho ensamble posee un espesor insuficiente, lo

CC BY NC ND

que permite que el aire frío se desvíe hacia los laterales y la parte frontal del tanque de agua, provocando la solidificación del líquido. Esta falla genera llamadas de servicio constantes, impactando negativamente en los costos operativos y en la reputación de la calidad del producto. Adicionalmente, la solución de este issue es vital para resolver problemas de consumo energético en el modelo FDBM.

Objetivos y Pregunta de Investigación

El objetivo general de esta investigación es optimizar el consumo energético en el sistema de refrigeración del modelo FDBM, rectificando el flujo de aire mediante el cambio de componentes para obtener mejoras en el costo y la calidad del producto final. Para alcanzar esta meta, se establecieron diversos objetivos específicos:

1) Recabar información sobre el congelamiento del tanque y evaluar el potencial ahorro económico.
2) Identificar el problema mediante análisis de datos de costo y gráficos de funcionamiento para contrastar la situación actual con la propuesta de mejora.

3) Planear y ejecutar pruebas de laboratorio para validar el consumo energético y la seguridad para el cliente.

4) Analizar los resultados gráficos para tomar la decisión óptima respecto al gasket propuesto.

5) Programar eventos en planta para validar el ensamble y la funcionalidad del nuevo componente en la producción.

Hipótesis: ¿La mejora del sistema de refrigeración mediante el cambio de componentes (gaskets o foam) eliminará las fugas de aire, solucionando el congelamiento del tanque de agua, reduciendo las llamadas de servicio y generando un ahorro económico, a la vez que se mejora la calidad del producto FDBM?

Contexto, Variables y Definiciones
La investigación se desarrolló en el contexto de la planta de Whirlpool México, específicamente utilizando los recursos del laboratorio de termodinámica en el departamento CETEC, donde se simulan condiciones reales de uso mediante cámaras térmicas.

La metodología empleada es de naturaleza cuantitativa, priorizando la objetividad y el análisis numérico para validar los resultados. El marco teórico de la tesis se enfoca en la evolución de los conceptos y herramientas de calidad, desde la inspección visual hasta la Gestión de Calidad Total (TQM), destacando la importancia del control estadístico de procesos (SPC) y la mejora continua (Kaizen). En este contexto, se considera que la calidad en productos se refiere a su fiabilidad y cumplimiento de especificaciones técnicas.

Las variables principales

Variable Independiente (Intervención): La modificación e implementación del nuevo gasket o foam con el espesor adecuado en el ensamble de la torre de aire del modelo FDBM.

Variables Dependientes (Mediciones de Resultado): Se miden la eficiencia energética (consumo en KWh/año), la calidad funcional (temperaturas en el compartimiento del refrigerador (RC) y congelador (FC), tiempo de abatimiento de temperatura en la prueba Pull Down y cumplimiento de criterios No Load 90), y la calidad percibida/costo (reducción en llamadas de servicio por tanque de agua congelado).

CC BY NC ND

Limitaciones y Alcance de la Investigación

La investigación tiene un alcance definido, centrándose exclusivamente en el sistema de refrigeración del refrigerador doméstico modelo FDBM producido por Whirlpool. La metodología se basa fuertemente en la recolección de datos cuantitativos obtenidos de pruebas de laboratorio rigurosas (como Energy Baseline, No Load 90 y Pull Down).

Una limitación reconocida en el estudio es el enfoque predominantemente cuantitativo, sugiriéndose para futuras investigaciones la conveniencia de combinar metodologías cualitativas y cuantitativas para un análisis más exhaustivo. Además, aunque la muestra representativa para la producción total de FDBM fue calculada (en aproximadamente 23 unidades), las pruebas de validación se realizaron con un número específico de unidades de línea base y modificadas (4 a 6 unidades por prueba clave).

JUSTIFICACIÓN

La relevancia de esta investigación se fundamenta en la necesidad práctica y económica de la industria de electrodomésticos, la cual exige la optimización de costos y el aseguramiento de la calidad total de sus productos. El estudio aborda directamente un issue crítico en el refrigerador modelo French Door Bottom Mount (FDBM) de Whirlpool: el congelamiento del tanque de agua, cuya causa raíz se identificó como una fuga de aire frío generada por un gasket de espesor inadecuado en el ensamble de la torre de aire. La perpetuación de esta falla resulta en recurrentes llamadas de servicio, lo cual incrementa los costos operativos y deteriora la satisfacción del cliente.

Por lo tanto, el porqué de esta investigación radica en la necesidad urgente de pasar de una calidad reactiva (solución de fallas en campo) a un control de calidad preventivo mediante la modificación del diseño y la validación rigurosa.

La relevancia social y económica del proyecto se enfoca en el para qué se aplica la mejora de componentes, centrándose en la eficiencia energética. La búsqueda de un mejor rendimiento energético permite que el producto sea catalogado como de alta calidad y contribuye a la reducción del consumo eléctrico en los hogares. Esta disminución en la demanda energética se traduce directamente en un ahorro económico para las familias que utilizan el producto. Así, la investigación no solo soluciona un problema funcional (agua congelada), sino que también tiene un impacto positivo en el gasto doméstico y promueve productos sostenibles y de mayor eficiencia en el mercado. Véase Gráfico 1. “Llamadas de servicio”.

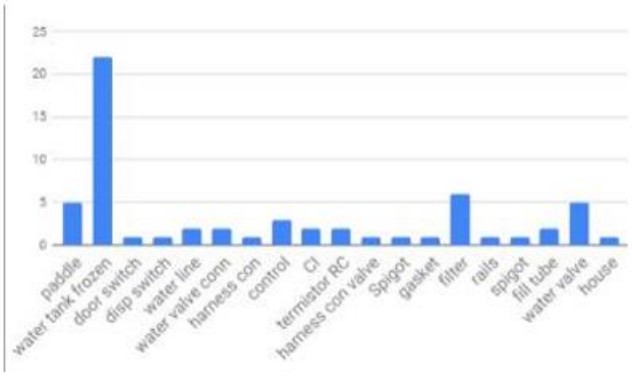


Gráfico 1. Llamadas de servicio.

Desde una perspectiva académica y metodológica, el estudio utiliza la objetividad y los números mediante una rigurosa metodología cuantitativa. Se emplearon herramientas de gestión de calidad y control estadístico de procesos (SPC) para la validación del concepto, diseño y proceso.

El proyecto demuestra cómo el análisis profundo, apoyado por tecnologías como las cámaras térmicas y pruebas estandarizadas (Energy Baseline, No Load 90, Pull Down), permite aplicar los principios de la mejora continua (Kaizen) y el Control de Calidad Total (TQC) en un entorno de fabricación masiva. El uso de fases de Validación de Concepto (CV), Diseño (DV) y Proceso (PV) establece un modelo reproducible para futuros proyectos de costo y calidad. Véase Tabla 1. Tabla comparativa de vacíos

Tabla 1. Tabla comparativa de vacíos.

Eje de Análisis	*Vacío o Enfoque Tradicional*	*Contribución de esta Investigación*
Calidad de Diseño y Falla	Detección de problemas mediante inspección final o quejas de cliente, implicando costos de incumplimiento.	Prevención de fugas de aire frío a través de la modificación y validación del *gasket* en la etapa de diseño/proceso.
Desempeño Energético	Consumo energético ineficiente debido a desviaciones de flujo de aire.	Optimización y cuantificación de la eficiencia energética, logrando un consumo de 618.1 KWh/año y un abatimiento de temperatura superior a la especificación.
Integración Industrial	Validación de componentes aislada, sin asegurar la factibilidad de ensamble en línea.	Implementación de fases pre-piloto y piloto en planta para validar el ensamble rápido y eficaz del nuevo componente por el operador de línea.

METODOLOGÍA

Diseño de Investigación y Enfoque. La presente investigación adoptó una metodología cuantitativa, fundamentada en el análisis objetivo y numérico de datos, utilizando herramientas matemáticas y estadísticas para procesar resultados y determinar el tamaño de la muestra representativa. El proyecto se estructuró rigurosamente en un modelo de tres fases consecutivas de validación, centradas en la mejora de costo y calidad: 1) Validación del Concepto (CV), 2) Validación del Diseño (DV) y 3) Validación del Proceso (PV). Este diseño garantiza la factibilidad económica y técnica antes de la implementación en la línea de producción.

Hipótesis de Trabajo. La investigación se centró en la validación de la siguiente hipótesis: Si se realiza la mejora del sistema de refrigeración mediante la modificación de componentes (gaskets o *foam*), se logrará la eliminación de las fugas de aire frío, resolviendo el problema del congelamiento del tanque de agua. Se espera que esta intervención reduzca las llamadas de servicio por este *issue* y, consecuentemente, genere un ahorro económico y una mejora en la calidad general del producto French Door Bottom Mount (FDBM).

Variables y Definiciones. La variable independiente clave en este estudio fue la implementación del nuevo *gasket* o *foam* con el espesor adecuado en el ensamble de la torre de aire del refrigerador FDBM. Este cambio busca corregir las fugas de aire frío que impactaban directamente en el tanque de agua.

CC BY NC ND

Las variables dependientes midieron el impacto de la intervención en el rendimiento y la calidad del producto:

1. Eficiencia Energética: Cuantificada en consumo de energía (KWh/año) y evaluada mediante la prueba *Energy Baseline*.
2. Rendimiento del Sistema de Refrigeración: Medido por el tiempo de abatimiento de temperatura (*Pull Down*) y el cumplimiento de rangos de temperatura en condición *No Load 90*.
3. Calidad y Costo Operacional: Evaluado mediante la reducción esperada de llamadas de servicio por tanque de agua congelado y la correcta validación del ensamble en planta.

Población y Muestra

La población objeto de estudio fueron los refrigeradores del modelo French Door Bottom Mount (FDBM) fabricados por Whirlpool México, con un volumen de producción actual de 137,673 unidades. Para determinar la muestra representativa, se aplicó el método estadístico para un volumen conocido, utilizando un nivel de confianza del 95% (Z=1.96), una probabilidad de éxito esperada del 96% (p=0.96) y una precisión de 4% (9=0.04). El cálculo arrojó un tamaño de muestra representativa "n" de aproximadamente 22.8216 unidades.

$$N * Z^2 * p * q$$

$$n = d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q$$

$$(30) * 1.96^2 * 0.96 * 0.04$$

$$n = 0.04^2 * (30 - 1) + 1.96^2 * 0.96 * 0.04$$

$$N = 137{,}673 * 3.8416 * 0.96 * 0.04$$

$$(0.0016 * 29) + 3.8416 * (0.96 * 0.04)$$

$$n = 4.4255$$

$$0.0464 + 0.1475$$

$$4.4255$$

$$N = 0.1939$$

$$n = 22.8216$$

CC BY NC ND

Instrumentos y Entorno de Prueba

Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Termodinámica de la planta de Whirlpool México. El instrumental clave incluyó:

- Cámaras Térmicas: Utilizadas para simular condiciones reales de uso en los hogares, modificando la temperatura y humedad del ambiente.
- Sensores de Temperatura (Termopares): Empleados para instrumentar las unidades y permitir a los técnicos de termodinámica leer los datos de temperatura del refrigerador (RC) y congelador (FC) desde sus sistemas.
- Laboratorio de Empaque: Utilizado para las pruebas de Stack Lean (Estiba) y Centro de Gravedad, simulando el trayecto en transporte para garantizar la seguridad del componente y la estética de la unidad.
- Formatos Estandarizados: Se utilizó el Formato A3 para documentar el desarrollo del proyecto, el análisis de costos y la información estadística. Además, se emplearon reportes AHAM para obtener los datos gráficos y numéricos del consumo energético.

Procedimiento Metodológico Detallado

Esquema 1. Diagrama de Flujo del Procedimiento Metodológico por Fases

Fase de Validación	Objetivo Principal	Actividades Clave	Resultados Requeridos para Aprobación
CV	Concepto: Evaluar factibilidad económica y técnica del cambio de *gasket*.	Pruebas de Laboratorio (Energía, *No Load 90*, *Pull Down*). Pruebas de Seguridad (*Packaging Test*, *Odour*).	Datos cuantitativos positivos: Mejora de consumo energético y cumplimiento de especificaciones de temperatura y seguridad.
DV	Diseño: Controlar procesos y evitar interferencias.	Análisis y posible ajuste del diseño del nuevo componente.	Componentes validados para ensamble sin interferencias.
PV	Proceso: Validar ensamble en línea de producción.	Construcción Pre-piloto (15 unidades). Construcción Piloto (30 unidades vendibles).	Ensamble rápido y eficaz por operador de línea. Aprobación final por subsistemas de ingeniería.

El procedimiento se ejecutó mediante las tres fases de validación (Véase Esquema 1. Diagrama de Flujo del Procedimiento Metodológico por Fases), con las unidades instrumentadas previamente en el Laboratorio de Preparación:

Fase CV (Validación del Concepto): Se enfocó en la factibilidad técnica y económica. Se corrieron pruebas rigurosas en el laboratorio de termodinámica, incluyendo la prueba *Energy Baseline* (evaluando los puntos MM, CC y WW) para determinar el consumo energético, la prueba *No Load 90* (cumplimiento de rangos de temperatura, Figura 2. Tabla de Aprobación de Criterio para Prueba No Load), y la prueba *Pull Down* (tiempo de abatimiento de temperaturas). Adicionalmente, se realizaron pruebas de control y seguridad, como el *Packaging Test* (Estiba y Centro de Gravedad) y *Materials Odour*. Los resultados positivos de estas pruebas eran requeridos para avanzar a la siguiente fase.

CC BY NC ND

Ambient(°F)	Control Setting			Design Target (°F)		Electronic Control Approval Criteria				Control with gas filled temperature sensing tubes and /or mechanically controlled mechanisms in the RC and FC compartments				Single Electro/Mechanical Control Approval Criteria			
	RC	FC	Heater	RC	FC	RC°F	limit	FC°F	limit	RC°F	limit	FC°F	limit	RC°F	limit	FC°F	limit
110PD	-	-	HI	Electronic		50	max @6hr	10	max @6hr								
110PD	-	-	HI	Dual Evap BM		70	max @6hr	20	max @6hr								
110PD	C	W	HI	Electro/Mechanical						50	max @6hr	10	max @6hr	50	max @6hr	10	max @6hr
110BO	C	C	HI			35	max	2	max	35	max	2	max	35	max	2	max
90NL	W	W	HI	45	5	48	MAX	15	MAX	48	max	15	MAX	48	MAX	15	MAX
	W	C	HI	45	-5	48	max			51	max						
	M	M	HI	37	0	35 to 41	range	-5 to 4	range	35 to 42	range	-6 to 4	range	35 to 42	range	-6 to 4	range
	C	W	HI	33	5	32	min			28	min						
	C	C	HI	33	-5	32	min	-10	Min	28	min	-10	Min	34	max		
70NL	W	W	HI	45	5	48	max	10	max	48	max	15	max	48	max		
	W	C	HI	45	-5	48	max	-10	min	48	max	-10	min				
	M	M	HI	37	0	35.5 to 38.5	range	-3 to 3	range	34 to 40	range	-3 to 6	range	34 to 40	range	-3 to 6	range
	C	W	HI	33	5	32 to 35	range	10	max	28	min	15	max				
	C	C	HI	33	-5	32 to 35	range	-10	min	28	min	-10	min	32 to 35	range		
55NL	M	M	HI	37	0	32	min	8	Max	32	Min	8	Max	34	Max	8	Max
70 to 90	M	M	Hi	37	0	-1 to 3	Range	-4 to 2	Range	0 to 4	Range	-7 to 2	Range	-1 to 3	Range	-4 to 2	Range

Figura 2. Tabla de Aprobación de Criterio para Prueba No Load.

Fase DV (Validación del Diseño): Una vez validados los resultados positivos en la Fase CV, se procedió a validar el diseño de los nuevos componentes. En esta etapa, si se consideraba necesario, se realizaban ajustes en el diseño de los componentes para asegurar que los procesos estuvieran controlados y se eliminaran las interferencias en el ensamble.

Fase PV (Validación del Proceso): Esta fase se llevó a cabo en la línea de producción de la planta, requiriendo la aprobación de los subsistemas (Ingeniería, Producción, Materiales, etc.). Consistió en la realización de pruebas pre-piloto (15 unidades) y piloto (30 unidades vendibles). Se validó la rapidez y eficacia del ensamble del nuevo *gasket* por el operador de línea, el correcto funcionamiento de soldaduras, y se midió el tiempo de ensamble para asegurar que no se afectara la producción. Véase Figura 1. Planeación de Pruebas. Véase también Tabla 2. Unidades Utilizadas en Pruebas de Validación Clave.

Arquitectura	Glis	# Serial	Laboratorio	Prueba	Status
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Energia	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Home Economics	Materials Odour	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Home Economics	Materials Odour	defining

Figura 1. Planeación de Pruebas

CC BY NC ND

Tabla 2. Unidades Utilizadas en Pruebas de Validación Clave

Tipo de Prueba	Unidades de Línea Base (Sin cambio)	Unidades Modificadas (Con nuevo *Gasket*)	Propósito de la Prueba
Energy Baseline / Energy	4	4	Determinar consumo energético (KWh/año) y cumplimiento de termostato.
No Load 90	2	4	Verificar que las temperaturas (RC y FC) se mantengan dentro de especificación a 90° F de ambiente.
Pull Down	N/A (Se evaluó el tiempo de abatimiento en las unidades modificadas)	4	Confirmar la capacidad de la unidad para alcanzar temperaturas objetivo en menos de 6 horas.
Validación del Proceso (PV)	N/A	15 (Pre-piloto, para pruebas)	Validar el ensamble en la línea de producción y funcionalidad del componente.
Validación del Proceso (PV)	N/A	30 (Piloto, vendibles)	Validar la producción masiva sin interferencias ni fallas de línea.

Problemas y Limitaciones Enfrentadas

El proyecto implicó una inversión considerable de tiempo y herramientas de trabajo para su realización, lo cual hizo crucial la evaluación inicial del ahorro económico durante la fase CV para determinar su factibilidad. Aunque la metodología cuantitativa fue efectiva para la validación numérica de la mejora (eficiencia energética, tiempo de abatimiento), se reconoce en las recomendaciones que para futuros estudios sería conveniente complementar este enfoque con metodologías cualitativas y utilizar muestras más representativas de la población total.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados cuantitativos obtenidos a lo largo de las fases de Validación de Concepto (CV), Validación de Diseño (DV) y Validación de Proceso (PV) confirman la aceptación de la hipótesis planteada, demostrando que la mejora del sistema de refrigeración mediante el cambio del *gasket* eliminó las fugas de aire frío que causaban el congelamiento del tanque de agua. Este enfoque se alinea con los principios de prevención en la calidad (Crosby, 1987), buscando corregir el defecto en el diseño del ensamble y no simplemente detectarlo al final del proceso. La implementación del nuevo componente en el *damper* del compartimiento de refrigeración (RC) no solo solucionó el *issue* reportado en campo, sino que también optimizó la eficiencia energética y la calidad funcional del producto FDBM. Véase la Figura 2. Resultados de Energía Línea Base.

CC BY NC ND

ENG NUMBER	UNIDAD 1		UNIDAD 2		UNIDAD 3		UNIDAD 4	
LAB REQUEST	2716980		2716980		2716980		2716980	
test	474008	2716980	473682	474101	474508	473779	486546	486796
STALL	231		232		233		234	
Thermostat Position	MM	CC	MM	WW	MM	CC	MM	WW
Power (W) TPAR	96.9	91.5	95.3	100.6	95	86.7	96	102.8
CAB 1 AVG	41.7	34.5	39.8	46.9	41.8	34.3	38.1	48.7
CAB 2 AVG	38	30.8	38.1	45.1	40.2	32.5	35.8	46.6
CAB 3 AVG	37.4	30	38.5	45.5	40.2	32.3	35.5	46.1
AVG RC	39.03	31.77	38.80	45.83	40.73	33.03	36.47	47.13
FC 1 AVG	-0.8	-7.8	0.5	7.1	0.3	-7	-0.2	7.3
FC 2 AVG	-2.9	-9.2	-0.8	5.3	-1.9	-8.7	-2	4.9
FC 3 AVG	-2.3	-9	-0.3	5.9	-1.5	-8.5	-1.5	5.6
AVG FC	-2.00	-8.67	-0.20	6.10	-1.03	-8.07	-1.23	5.93
ON	0:29:41	0:59:25	0:23:05	0:19:55	0:27:34	0:58:00	0:25:49	0:17:23
OFF	0:20:14	0:17:01	0:17:20	0:25:03	0:18:38	0:16:17	0:16:16	0:21:21
Run time	59.47%	77.74%	57.11%	44.29%	59.67%	78.08%	61.35%	44.88%
cycle/hr	1.20	0.78	1.48	1.33	1.3	0.81	1.43	1.55
Cycle/24hrs	28.80	18.72	35.52	31.92	31.2	19.44	34.32	37.2
Energy kWh/ temps	1.4400	1.709	1.384	1.148	1.395	1.676	1.4730	1.205
Energy kWh/d (ADC)	1.4740	1.749	1.42	1.191	1.435	1.725	1.5100	1.246
Interpolate kWh/year	622.4		599.9		631.6		618.5	
RVF	-0.8%		2.9%		-2.2%		-0.1%	

Figura 2. Resultados de Energía Línea Base.

Análisis de la Eficiencia Energética y Rendimiento Térmico

La eficiencia energética del modelo FDBM fue evaluada mediante la prueba *Energy Baseline*, demostrando una mejora significativa tras la implementación del nuevo *gasket* y la corrección del flujo de aire. La línea base de consumo, evaluada en cuatro unidades, arrojó un promedio de 618.1 KWh/año, con la unidad 1 registrando inicialmente 622.4 KWh/año. Esta optimización es crucial para que los productos sean catalogados como de alta calidad, reduciendo el consumo energético en los hogares y mejorando el gasto económico familiar. El análisis del reporte AHAM (*Véase Figura 3. Gráfica de Temperaturas de la Prueba de Energía*) permitió identificar el pico de *wattage* durante el ciclo de descongelamiento, crucial para calcular el consumo energético y verificar el cumplimiento de los puntos de control del termostato (M-M, C-C y W-W).

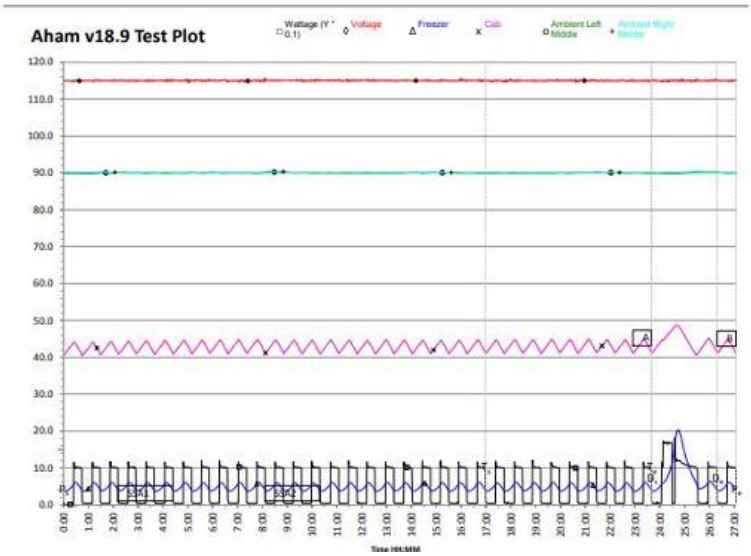


Figura 3. Gráfica de Temperaturas de la Prueba de Energía.

En cuanto al rendimiento térmico, la prueba No Load 90 validó que las unidades modificadas cumplían rigurosamente con las especificaciones de temperatura, a diferencia de las unidades de línea base que se encontraban fuera de rango. Para un ambiente de 90°F, las unidades modificadas mantuvieron el área de refrigeración (RC) entre 35 y 41°F y el congelador (FC) entre -5 y -4°F, confirmando que el nuevo diseño del ensamble evitaba las fugas de aire frío, estabilizando así las temperaturas internas. Véase Figura 4. Resultados de Prueba No Load.

Project	Model	Product	AMB	Setting	Resistencia	RC AVG	RC min	RC max	Status	FC AVG	Status	AVG
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205525	90	CC	ON	34.95	32	50	OK	-9.14	OK	
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205527	90	MM	ON	37.08	35	41	OK	-2.37	OK	
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205528	90	WW	ON	43.66		45	OK	5.04	OK	
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205525	90	CC	ON	34.34	32	50	OK	-8.93	OK	CC
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205527	90	MM	ON	37.1	35	41	OK	-2.4	OK	35.69
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205528	90	WW	ON	46.95		45	1.95	5	OK	MM
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205525	90	CC	ON	33.42	32	50	OK	-9.89	OK	37.43
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205527	90	MM	ON	36.07	35	41	OK	-4.14	OK	WW
bb Gasket	WRF560SEHZ03	23U205528	90	WW	ON	46.28		45	1.28	3.05	OK	45.07

Figura 4. Resultados de Prueba No Load.

El tiempo de abatimiento de temperatura (*Pull Down*) también superó satisfactoriamente la especificación. La especificación requería que la unidad alcanzara 10°F en el FC y 50°F en el RC en un periodo máximo de 6 horas. Las cuatro unidades evaluadas con los nuevos componentes lograron el abatimiento de temperatura en un tiempo promedio de 4 horas y 25 minutos, situándose 1 hora y 35 minutos por debajo del límite máximo establecido. Este resultado (*Figura 5. Resultados de Prueba Pull Down*) confirma que el sistema de refrigeración, optimizado por la correcta carga de refrigerante y el buen desempeño de los nuevos componentes, opera con una alta eficiencia.

PRODUCT	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3	UNIDAD 4
MODEL	FDBM	FDBM	FDBM	FDBM
SERIAL	4686984	4686985	46886986	46886987
STALL	41	42	43	44
PROJECT	New gasket	New gasket	New gasket	New gasket
RESULTS	OK	OK	OK	OK
TEST NUMBER	50044	50045	50046	50047
SETTING	CC	CC	CC	CC

Figura 5. Resultados de Prueba Pull Down.

Validación de Calidad, Control y Proceso

La rigurosidad metodológica incluyó pruebas de control y seguridad para el cliente, alineándose con una Gestión de Calidad Total (TQM), donde la fiabilidad del producto es esencial. El Packaging Test, incluyendo la prueba de Estiba (*Stack Lean*), confirmó que el nuevo *gasket* no afectaba la integridad estructural de la unidad durante el transporte y almacenamiento. Los resultados demostraron que el desplazamiento de inclinación hacia adelante (38.3 mm) y el desplazamiento lateral (8.44 mm) se mantuvieron dentro de la especificación máxima de 40 mm y 15 mm, respectivamente, asegurando la aprobación del producto para la logística. Adicionalmente, la prueba Materials Odour determinó que el nuevo material era aprobatorio y seguro para el almacenamiento de alimentos. Véase Figura 6. Resultados Estiba.

CC BY NC ND

	DECIMALES							
	STACK 1		STACK 2		STACK 3		STACK 4	
	Front	Right side	Front	Right side	Front	Right side	Front	Right side
Medida incial	3.25	1.25	2.5	1.25	3.125	2	3.5	1.125
1er medida	3.375	1.5	3.25	1.5	3.5	2.25	3.625	1.5
2da medida	3.625	1.5	3.25	1.5	3.5	2.25	3.5	1.5
3era medida	3.625	1.5	3.25	1.5	3.5	2.25	3.625	1.5
4ta medida								
Incremento 1-0	0.125	0.25	0.75	0.25	0.375	0.25	0.125	0.375
Incremento 2-1	0.25	0	0	0	0	0	-0.125	0
Incremento 3-2	0	0	0	0	0	0	0.125	0
Incremento 4-3	-3.625	-1.5	-3.25	-1.5	-3.5	-2.25	-3.625	-1.5

Figura 6. Resultados Estiba.

Finalmente, la Validación del Proceso (PV) en la línea de producción cerró el ciclo de mejora continua (*Kaizen*). Los eventos pre-piloto (15 unidades) y piloto (30 unidades vendibles) demostraron que el nuevo *gasket* podía ser ensamblado por el operador de línea de manera rápida y eficaz, sin causar interferencias con otros componentes (como el EPS) y sin generar paros en la producción. La aprobación por parte de los subsistemas de Ingeniería y Producción garantizó que la solución es sostenible a gran escala, concluyendo satisfactoriamente la implementación del proyecto de costo y calidad. Véase Figura 7. Ensamble de Gasket en el Damper.

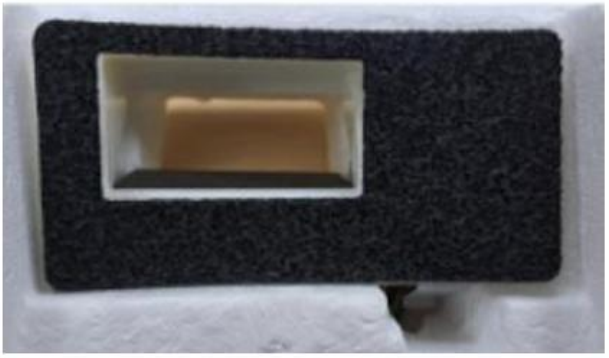


Figura 7. Ensamble del Gasket en el Damper.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La presente investigación se desarrolló con el objetivo general de optimizar el consumo energético en el sistema de refrigeración del modelo FDBM mediante la rectificación del flujo de aire, lo cual fue alcanzado satisfactoriamente. El problema inicial del congelamiento del tanque de agua, causado por fugas de aire debido a un *gasket* delgado en el ensamble de la torre de aire, fue solventado mediante la implementación de un nuevo componente, según confirman los resultados cuantitativos. Por lo tanto, se concluye que la hipótesis de investigación fue aceptada. El cambio del *gasket* eliminó las fugas de aire, solucionando el *issue* que generaba llamadas de servicio recurrentes, mejorando así la calidad del producto FDBM y el funcionamiento del sistema de refrigeración.

Las implicaciones de los hallazgos son significativas en términos de calidad y eficiencia operativa. Las pruebas de *Energy Baseline* demostraron una eficiencia energética mejorada, obteniendo un

CC BY NC ND

consumo de 618.1 KWh/año con el nuevo componente. Además, las unidades modificadas superaron la prueba *Pull Down* al lograr el abatimiento de temperatura en un tiempo promedio de 4 horas y 25 minutos, significativamente menor al límite de 6 horas requerido por la especificación. Asimismo, la prueba *No Load 90* confirmó que las temperaturas del RC y FC se mantuvieron dentro de los rangos solicitados por los aprobadores, garantizando el correcto funcionamiento del sistema de control eléctrico de temperaturas.

El éxito del proyecto se consolidó mediante la aplicación rigurosa de la metodología por fases de Validación de Concepto (CV), Validación de Diseño (DV) y Validación de Proceso (PV). Los eventos pre-piloto y piloto en planta (15 unidades de prueba y 30 unidades vendibles) validaron que el nuevo *gasket* puede ser ensamblado por el operador de línea de manera rápida y eficaz, sin presentar interferencias con otros componentes (como el EPS). Este cumplimiento integral de la validación del proceso asegura que la mejora es sostenible y factible para la producción masiva, brindando resultados satisfactorios en cuanto a eficiencia energética y ensamble de componentes. Véase Tabla 3. Cumplimiento de Objetivos Específicos. Véase también Figura 8. Test Plan Concluido.

Tabla 3. Cumplimiento de Objetivos Específicos.

Objetivo Específico	Cumplimiento	Fuente de Verificación
1. Recabar información de la problemática (congelamiento) y evaluar ahorro económico.	SÍ	Análisis de llamadas de servicio y evaluación económica en fase CV.
2. Identificar el problema mediante análisis de datos de costo y gráficos.	SÍ	Análisis de causa (fuga de aire por *gasket* delgado) y contraste con la situación actual.
3. Planear y ejecutar pruebas (consumo energético, control y seguridad).	SÍ	Ejecución de *Energy Baseline*, *No Load 90*, *Pull Down*, *Packaging Test* y *Materials Odour*.
4. Analizar los gráficos y tomar la decisión óptima sobre el *gasket* propuesto.	SÍ	Análisis de reportes AHAM y datos de termodinámica, confirmando la mejora y el cumplimiento de especificaciones.
5. Programar eventos en planta para validar el ensamble del nuevo componente.	SÍ	Realización y aprobación de eventos pre-piloto y piloto, validando ensamble rápido y eficaz.

Arquitectura	Glis	# Serial	Laboratorio	Prueba	Status
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Energia	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	No load 90°	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	No load 70°	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Home Economics	Materials Odour	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Home Economics	Materials Odour	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Pull Down	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Termodinamica	Pull Down	complete
FDBM	23U205528	VSC4498710	Termodinamica	Pull Down	complete
FDBM	23U205525	VSC4498710	Termodinamica	Pull Down	complete
FDBM	23U205527	VSC4498710	Packing	Packing	defining
FDBM	23U205528	VSC4498710	Packing	Packing	defining
FDBM	23U205525	VSC4498710	Packing	Packing	defining
FDBM	23U205527	VSC4498710	Packing	Packing	defining

Figura 8. Test Plan Concluido

CC BY NC ND

Con el propósito de complementar la solución implementada y asegurar la continuidad de la mejora de la calidad en el departamento de refrigeración, se establecen las siguientes recomendaciones: Es crucial continuar con el monitoreo de la eficiencia energética del modelo FDBM que ahora incluye los nuevos componentes. Este seguimiento debe ser constante para verificar la sostenibilidad del ahorro obtenido y para mantenerse actualizado respecto a las ofertas disponibles en el mercado que puedan conducir a futuras mejoras de otros componentes dentro del sistema de refrigeración.

Se sugiere desarrollar mejoras en las etiquetas de los compresores con la finalidad de prevenir posibles fallos relacionados con quemaduras de etiquetas o problemas en la lectura de información de estos componentes. Este paso aseguraría la integridad de los datos de los activos críticos del sistema de enfriamiento.

Para futuros proyectos enfocados en la mejora de costo y calidad, se recomienda seguir utilizando la metodología estructurada en fases (CV, DV, PV) y las pruebas de validación rigurosas. Finalmente, de cara a futuras investigaciones académicas, se considera conveniente analizar el fenómeno en muestras más representativas de la población objeto de estudio y combinar metodologías cualitativas y cuantitativas para obtener un análisis más exhaustivo y profundo

REFERENCIAS

Alhajeri, M. H., Koluib, A. M., Alajmi, R., & Kalim, S. P. (2009). Effect of Coolant Temperature on the Condensation Heat Transfer in Air-Conditioning and Refrigeration Applications. Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Generation, Transport, Storage, and Conversion.

Case, K., Nor, A., & Teoh, P. C. (2010). A diagnostic service tool using FMEA. International Journal of Computer Integrated Manufacturing.

Crosby, P. B. (1987). [Referencia del trabajo original no especificado; Principios de Calidad].

Iyengar, R. S., Sekhar, C., Karimabad, A. S., Haghighat, F., & Zhu, K. (2015). A Comparative Study of Leakage Characteristics between an Under Floor Air Distribution System and an Over Head Air Distribution System. International Journal of Ventilation.

Jason Martin, Mattias Elg & Ida Gremyr (2020). The Many Meanings of Quality: Towards a Definition in Support of Sustainable Operations. Total Quality Management & Business Excellence.

Johansson, E., Witell, L. y Elg, M. (2013). Cambiando la iniciativa de calidad: ¿cambia realmente el perfil de calidad? Total Quality Management & Business Excellence.

Kenton Graviss Senior Product Developer & Jacek M. Zurada Professor (1998). A Neural Network Controller for Optimal Temperature Control of Household Refrigerators. Intelligent Automation & Soft Computing.

K. Palm, J. Lilja & H. Wiklund (2014). The challenge of integrating innovation And quality management practice. Total Quality Management & Business Excellence.

Loushine, T. W., Hoonakker, P. L. T., Carayon, P., y Smith, M. J. (2006). Gestión de calidad y seguridad en la construcción. Gestión de calidad total y excelencia Empresarial.

WEI-HAN TAO, JYI-YU SUN & CHIH-CHEN CHANG (2001). THE DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENT REFRIGERATORS. Chemical Engineering Communications.

Aprendizaje activo para las ciencias básicas en los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL: una revisión de literatura

Strategies to achieve educational excellence in higher education in Mexico amid the growing use of artificial intelligence

Emily Nadiezda Yamilett Saucedo Mariscal [1]
Roxana Colunga Jaime [2]
Blanca Yarumi Hi Guarjardo [3]

RESUMEN

La Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL, en el programa de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, ha presentado una disminución de matrícula en los últimos años. A través de un estudio documental, se pudo identificar que los estudiantes pueden desertar, quedarse rezagados o incluso abandonar sus estudios, debido a los índices de reprobación muy elevados en unidades de aprendizaje de las ciencias básicas, por lo cual no pueden concluir en tiempo su formación. El propósito de este artículo fue analizar metodologías educativas basadas en el aprendizaje activo que permitan el rendimiento de los estudiantes, para disminuir tanto la reprobación como el abandono de estos, y se presenta únicamente la revisión de la literatura.

PALABRAS CLAVES: rendimiento estudiantil, aprendizaje activo, reprobación y abandono, metodologías de aprendizaje.

Fecha de recepción: 08 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 30 de octubre, 2025.

ABSTRACT

The FIME UANL, in the electronic and communications engineering program, has experienced a decline in enrollment in recent years. Through a documentary study, it was identified that students may drop out, fall behind, or even abandon their studies due to high failure rates in basic science courses, which prevent them from completing their education on time. This literature review aimed to

[1] Maestría en Ingeniería con orientación en Telecomunicaciones. Profesora de tiempo completo. Universidad Autónoma de Nuevo León. emily.saucedomr@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0001-8439-0100
[2] . Maestría en Administración de Negocios con Especialidad en Relaciones Industriales. Profesora de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León E-mail roxana.colungajm@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0003-6788-7785
[3] Maestría en Administración con Orientación en Producción y calidad. Profesora de tiempo completo. Universidad Autónoma de Nuevo León. blanca.higj@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0004-9404-5177

analyze educational methodologies and active learning strategies that can enhance student performance to reduce both failure and dropout rates.

KEYWORDS: Student performance, active learning, failure and dropout rates, learning methodologies.

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI ha significado dos décadas de una constante evolución teórica, práctica y académica en todos los aspectos, incluyendo, por supuesto, la educación. En los últimos años la corriente educativa ha optado por “democratizar” la educación en el aula, migrando de la concepción descontinuada en donde el docente actúa como un transmisor de conocimientos, quien se limita a repetir los dogmas educativos con los que un estudiante debe contar al término de un grado académico, hacia una perspectiva en donde el docente adquiere un papel de facilitador, en donde acompaña a sus educandos en la búsqueda de los conocimientos mediante la implementación de metodologías de aprendizaje que privilegien el desarrollo de capacidades críticas, analíticas e intelectuales de sus educandos, a fin de que estos sean capaces, no solo de concentrar los conocimientos necesarios para la obtención de una calificación satisfactoria, sino de que tengan las facultades para discernir problemáticas, establecer analogías situacionales y construir soluciones a los escenarios que pudieren enfrentar en la vida profesional. Por ello, el rol de maestro y el del estudiante han evolucionado. Actualmente se considera al maestro como un guía, asesor y referencia académica, mientras que el estudiante deja de lado la faceta de oyente de una cátedra, y se convierte en parte activa de un diálogo de naturaleza intelectual con el docente y con sus pares.

Sin embargo, no en todos los casos esta transición se implementa o interpreta de manera uniforme. La literatura identifica que los sistemas educativos en niveles previos suelen fomentar un rol pasivo en el estudiante (Sierra,2013; Razo-Abundis et al., 2024), lo que puede dificultar la adaptación a modelos activos en educación superior. Esta situación puede contribuir al rezago académico y al abandono escolar.

Los estudios revisados identifican a las unidades de aprendizaje de ciencias básicas como una de las principales causas de reprobación en estudiantes de ingeniería (Cerda et al., 2017). Por ello, esta revisión de literatura analiza metodologías aplicadas a estudiantes de este nivel para abordar el tema y proporcionar herramientas a los docentes. Se busca que los docentes utilicen diferentes metodologías de enseñanza que promuevan el aprendizaje activo, las cuales practican exigencias intelectuales y académicas para todos los intervinientes en el sector educativo. Para los docentes, la complejidad de esto radica en la reinterpretación de su labor y la implementación de estos novedosos modelos; mientras que para los estudiantes esto representa un reto académico pues recae en ellos la responsabilidad definitiva de adquirir los conocimientos.

Aunado a esto es importante mencionar que la enseñanza de las matemáticas en los últimos años ha planteado desafíos complejos en los sistemas educativos, incluyendo en los niveles superiores. Los profesores enfrentan exigencias cambiantes e innovadoras, lo que requiere mayor enfoque en la didáctica de la matemática y el desarrollo de unidades de aprendizaje para abordar diversidad temática (Mora,2022, citado por Cabrera, 2024, p.2).

La enseñanza de las matemáticas se basa en enfoques como la resolución de problemas, el desarrollo de proyectos y el análisis de casos. Sin embargo, suele predominar el uso de ejercicios mecánicos, mientras que la indagación dialógica y el cuestionamiento crítico reciben menor atención en el proceso de aprendizaje.

Marín & Mejía (2016), afirman que a lo largo del tiempo la asignatura de las matemáticas ha sido percibida por los estudiantes como una materia difícil, debido a su contenido abstracto y a las metodologías de enseñanza-aprendizaje repetitivas, en las que se producen y memorizan ejercicios para luego plasmarlos en un examen. Esto ha generado muchas veces rechazo.

Otros autores (Cerda et al., 2017) argumentan que es fundamental cambiar las perspectivas actuales en la enseñanza de las matemáticas para lograr una mayor motivación y un mejor aprendizaje en este campo. Este desafío afecta a todos los docentes, ya que es crucial adaptarse a las necesidades y expectativas de los alumnos para que puedan comprender y disfrutar de las matemáticas.

Por otro lado, Muñoz Rivas et al.(s.f.) afirman que las matemáticas son fundamentales para el desarrollo científico y tecnológico de los alumnos, ya que ofrecen un conjunto de procedimientos lógicos y análisis del mundo natural y social en diversos aspectos de la realidad, promoviendo el desarrollo de competencias matemáticas.

Aprendizaje activo se basa en la teoría de aprendizaje llamada constructivismo, que enfatiza el hecho de que los alumnos construyen su propio conocimiento. Cualquier estrategia de enseñanza en la que los estudiantes participan en actividades que promueven el análisis, la síntesis y la evaluación del contenido, en lugar de recibir pasivamente información (Bonwell & Eison,1991, como se citó en Sierra, 2013), lo hace idóneo para poderlo aplicar en este estudio. El aprendizaje activo es un proceso en el que los estudiantes participan activamente en su propia construcción del conocimiento, a través de actividades que los comprometen en el análisis, la síntesis y la evaluación de la información. Es un enfoque educativo que implica la participación directa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje (Lozoya et al., 2024).Al fomentar la participación, se busca desarrollar habilidades fundamentales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la colaboración, preparando a los estudiantes para los desafíos del mundo moderno (Mejías, 2019, como se citó en Lozoya et al.,2024).

Se ha desarrollado también una metodología basada en el aprendizaje activo, la cual parte de la idea de que los estudiantes aprenden de manera más efectiva cuando están involucrados activamente en su proceso de aprendizaje y tienen la posibilidad de aplicar lo aprendido en situaciones prácticas y reales (Bell Rodríguez et al., 2024).

De acuerdo con la literatura revisada, a pesar de que se realizan diversas estrategias en el aprendizaje de las matemáticas, se hace necesario realizar un estudio que permita analizar la correspondencia que existe entre las estrategias de enseñanza-aprendizaje utilizadas actualmente por los docentes y que ayude a que el nivel de reprobación, deserción o abandono no se vea tan afectado. Como objetivo principal, este trabajo busca describir como ayuda el aprendizaje activo a los docentes y alumnos de estas unidades de aprendizaje.

JUSTIFICACIÓN

La presente revisión se justifica por la situación crítica en el desempeño académico de los estudiantes de la FIME–UANL, particularmente en el programa de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, donde se ha observado una disminución de la matrícula y altos índices de reprobación en las unidades de aprendizaje de ciencias básicas. Estas condiciones se traducen en rezago, deserción y dilatación del tiempo de egreso, con efectos directos en la eficiencia terminal, el aprovechamiento de recursos institucionales y la trayectoria formativa de los estudiantes. Ante este escenario, resulta pertinente identificar enfoques pedagógicos que mejoren el rendimiento y reduzcan la reprobación y el abandono.

En el plano pedagógico, el tránsito desde modelos transmisivos hacia enfoques donde el docente funge como facilitador del aprendizaje exige metodologías activas que comprometan al estudiante

CC BY NC ND

en la búsqueda, análisis y aplicación del conocimiento. La literatura reciente documenta que el aprendizaje activo favorece la atención sostenida, la participación, el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la retroalimentación oportuna; además, promueve interacciones colaborativas que consolidan competencias clave en ingeniería. Estas evidencias respaldan su pertinencia para atender los nudos problemáticos detectados en ciencias básicas.

La relevancia social e institucional de este estudio radica en que el fortalecimiento del aprendizaje en ciencias básicas impacta el desarrollo de capital humano en áreas estratégicas, mejora los indicadores académicos (rendimiento, permanencia, egreso) y aporta insumos para la toma de decisiones curriculares y de formación docente. En términos prácticos, sistematizar estrategias de aprendizaje activo aplicables al contexto de la FIME permite ofrecer a los docentes lineamientos claros para el rediseño de clases, la gestión del tiempo en aula y la evaluación formativa, considerando también retos de implementación (tiempo, resistencia estudiantil y ajuste emocional-docente) descritos en la literatura.

Finalmente, este trabajo se justifica como etapa necesaria de fundamentación: al tratarse de una revisión de literatura, provee una base conceptual y metodológica para el diseño de intervenciones posteriores y/o estudios empíricos en el aula. En síntesis, ante la evidencia de reprobación y deserción en ciencias básicas, el aprendizaje activo emerge como un camino viable y respaldado para elevar el rendimiento y mejorar la permanencia de los estudiantes de ingeniería en la FIME–UANL

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio documental con enfoque de revisión narrativa de la literatura sobre aprendizaje activo en ciencias básicas para estudiantes de ingeniería (contexto FIME–UANL). El alcance del manuscrito se delimita a la revisión bibliográfica, sin trabajo de campo ni intervención con participantes. El propósito fue identificar metodologías y estrategias de aprendizaje activo asociadas a la mejora del rendimiento y a la disminución de la reprobación y el abandono en asignaturas de ciencias básicas en ingeniería; en consecuencia, la pregunta guía fue: ¿qué estrategias de aprendizaje activo reporta la literatura como efectivas para mejorar el rendimiento y reducir la reprobación y el abandono en ciencias básicas del nivel de ingeniería? La revisión se centró en estudiantes de ingeniería de la FIME–UANL, con énfasis en materias de ciencias básicas (p. ej., matemáticas), dada su incidencia documentada en reprobación, rezago y deserción.

Se consultaron repositorios académicos y bases de datos especializadas en educación e ingeniería, (Scopus, ERIC, Redalyc, SciELO) en español e inglés, para el periodo 2010-2024. La estrategia de búsqueda combinó descriptores y operadores booleanos construidos a partir de las palabras clave del tema (“aprendizaje activo” OR “active learning”) AND (“rendimiento académico” OR “Student performance”) AND (“educación superior” OR “higher education”) AND (“ingeniería” OR “enginnering”) AND (“reprobación” OR “failure”) AND (“deserción” OR “dropout”).

Los criterios de inclusión comprendieron: publicaciones académicas (artículos, capítulos y reportes) sobre aprendizaje activo en ciencias básicas de educación superior en ingeniería; estudios empíricos o revisiones con resultados sobre rendimiento, reprobación, permanencia o participación; y textos en español o inglés. Se excluyeron trabajos sin relación con educación superior, sin vínculo con ciencias básicas/ingeniería o sin reporte de resultados o implicaciones.

El procedimiento de selección contempló cinco fases: primero, definir objetivo y pregunta; segundo, buscar artículos una selección inicial por título y resumen para verificar pertinencia; tercero, selección de estudios, lectura a texto completo de los registros elegibles; cuarto, extraer datos se empleó una matriz de síntesis con las variables: autor/año, país/ámbito, asignatura (ciencias básicas), diseño o metodología, nivel de evidencia según jerarquía de Melnyk & Fineout-Overholt, estrategias de aprendizaje activo implementadas (p. ej., resolución de problemas, proyectos, estudio de casos,

CC BY NC ND

trabajo colaborativo), indicadores de resultado (rendimiento, reprobación, abandono, participación) y hallazgos e implicaciones, se registraron condiciones de implementación (tiempo, recursos, rol docente–estudiante) y quinto: sintetizar y concluir retos reportados, consenso para la inclusión final (Figura 1). Tras este proceso, se seleccionaron 45 estudios para el análisis.

El análisis temático fue codificado de forma independiente, resolviendo las discrepancias mediante discusión y consenso. El análisis se desarrolló mediante síntesis narrativa temática, organizado los hallazgos en cuatro ejes: tipo de estrategia de aprendizaje activo; condiciones de implementación docente; efectos en rendimiento y permanencia; y facilitadores y obstáculos. Cuando fue posible, se contrastaron tendencias y puntos de convergencia entre estudios. Dado que se trata de una revisión de literatura sin interacción con personas, no se requirió consentimiento informado y se respetó la propiedad intelectual de las fuentes consultadas y citadas. Finalmente, se reconocen como limitaciones el posible sesgo de publicación, la heterogeneidad de contextos y asignaturas y la variabilidad de los indicadores de resultado, lo que justifica la elección de una síntesis narrativa en lugar de un metaanálisis y acota el grado de generalización de los hallazgos.

Figura 1. Diagrama simplificado de la metodología de revisión.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El rezago académico y la deserción a nivel licenciatura en la educación superior de México y en América Latina es un fenómeno muy extendido y generalizado. Como lo afirma (Rochin Berumen, 2021) ,la deserción escolar es una problemática que afecta a estudiantes de todo el mundo, de ahí que sus consecuencias terminan impactando al conjunto de la sociedad. Algunas de las casusas tienen que ver con las fallas latentes en los planes y programas de estudio. Para lo cual, es necesario implementar nuevas metodologías pedagógicas que ayuden a generar mayor interés, compromiso por parte de los estudiantes, así como también la necesidad de motivar los conocimientos que adquieren con situaciones a aplicaciones dentro y fuera de la academia, como lo menciona en su estudio (Arnaud Bobadilla et al., 2022). Ya que los alumnos llegan al programa educativo con muchas

CC BY NC ND

deficiencias desde los niveles básicos tanto de análisis como de expresión y comunicación oral y escrita (en español y en inglés).

La literatura identifica que los sistemas educativos en niveles previos suelen fomentar un rol pasivo en el estudiante (Sierra,2013; Razo-Abundis et al., 2024), lo que puede dificultar la transición a modelos de aprendizaje activo en la educación superior. Se ha documentado que el sistema de enseñanza en México produce estudiantes pasivos, que no están acostumbrados a realizar búsquedas por sí mismos y esperan que todo de les proporciones en clase, lo que ocasiona estudiantes poco motivados.

Por eso que en este estudio se recomienda el uso del aprendizaje activo en los estudiantes de ingeniería, en el programa educativo Ingeniero el Electrónica y Comunicaciones de la UANL.

La evidencia sugiere priorizar metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos (ABPy), el aprendizaje colaborativo y los estudios de caso, las cuales han demostrado mejorar el rendimiento académico, reducir la reprobación y aumentar la participación (Smith,2000; Bell Rodríguez et al.,2024). Estas metodologías ofrecen a los estudiantes una experiencia educativa más dinámica e interactiva, en la que participan activamente en su propio concepto de aprendizaje.(Yolanda Razo-Abundis et al., 2024)

Las estrategias de aprendizaje activo más recurrentes en su implementación identificadas en la literatura analizada, se muestra en la tabla 1, la cual sintetiza estrategias, condiciones claves y el efecto reportado al implementarlas, aunque su eficacia está condicionada a una minuciosa planificación y una buena adaptación del rol del docente.

Tabla 1. Estrategias de Aprendizaje Activo, Condiciones de Implementación y Efectos reportados. Creación propia.

Estrategia	Condiciones Clave	Efecto reportado	Fuente
Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)	Problemas reales o simulados, trabajo en pequeños grupos, tutoría docente activa	Mejora significativa en la comprensión conceptual y la retención de conocimientos.	Smith (2000)
Aprendizaje colaborativo	Estructuración de roles dentro del grupo, interdependencia positiva, evaluación grupal.	Aumento de la participación y desarrollo de habilidades sociales y de comunicación.	Johnson et al. (1999)
Estudio de Casos	Casos relevantes al contexto profesional, discusión guiada, análisis de múltiples soluciones.	Fomento del pensamiento crítico y la capacidad de aplicar teoría a la práctica.	Bell Rodríguez et al. (2024)
Instrucción entre Pares	Preguntas conceptuales, discusión en parejas, retroalimentación inmediata.	Mayor engagement y mejora en la identificación y corrección de conceptos erróneos	Sierra (2013)

Los beneficios encontrados por algunos estudios al utilizar dicha metodología son los siguientes:

- Los alumnos mantienen mejor el nivel de atención: Es bien sabido que en una clase expositiva se produce una baja de atención aproximadamente a los 15 minutos. La atención se recupera un poco y hacia el final, ante la inminencia de una posible

CC BY NC ND

conclusión de la charla. La introducción de algún tipo de actividad cada 15 o 20 minutos ayuda a que los alumnos mantengan la atención (Stuart & Rutherford, 1978) citado por Sierra (2013).

- Favorece el aprendizaje de los nuevos conocimientos: Está comprobado que los estudiantes recuerden mejor la información cuando la aplican poco después de recibirla. Dado que es imposible que estudien inmediatamente después de la clase lo más conveniente es que realicen alguna actividad relacionada durante la misma sesión.

- El aprendizaje activo permite a los estudiantes interactuar con los conceptos en niveles cognitivos superiores. El dominio del nivel de aplicación se alcanza cuando son capaces de emplear un concepto en un contexto específico y novedoso. Diversos autores destacan la eficacia del “aprender haciendo” y sostienen que los estudiantes desarrollan una mejor capacidad para aplicar conceptos clave cuando tienen la oportunidad de practicarlos en un entorno guiado y estructurado. Uno de ellos es David A. Kolb, que propone que el aprendizaje es un proceso cíclico que incluye la experiencia concreta, la observación reflexiva, la conceptualización abstracta y la experimentación activa (Alonso et al, 2007).

La retroalimentación es muy beneficiosa, tanto para estudiantes como profesores: Los estudiantes confunden a menudo el hecho de reconocer un reforzamiento bien formulado con el hecho de ser capaces de producirlo. Kurfiss (1988, p.34) sostiene que los estudiantes corrigen errores en relación con los conceptos vistos en clase cuando hacen predicciones basándose en los mismos y luego las ponen a prueba. El aprendizaje activo fomenta el uso constante de conceptos en la comunicación oral y escrita por parte de los estudiantes. A través de la supervisión de estas interacciones, los docentes pueden orientarles sobre el uso correcto de los términos y detectar posibles errores. Además, este enfoque permite que los estudiantes escuchen y analicen los razonamientos de su compañero, y les brinda la oportunidad de aprender mutuamente. Asimismo, el aprendizaje activo proporciona a los profesores una retroalimentación constante sobre el nivel de comprensión de los estudiantes, permitiéndoles ajustar su enseñanza en función de sus necesidades.

Durante los ejercicios, los alumnos que aprenden rápidamente pueden tomar el rol de profesores. Cuando los docentes se dan cuenta de que algunos miembros de un grupo comprenden un problema, pueden pedirles que lo expliquen con sus propias palabras a los demás. Los que actúan como ayudantes aprenden distintas maneras de transmitir sus ideas e incrementar su grado de comprensión al verbalizarlo (Sierra,2013). Dando como resultado que los estudiantes reciben una atención más personalizada de la que el docente podría brindar individualmente, y experimentan una menor carga emocional, ya que el apoyo proviene de un compañero, lo que genera un ambiente de aprendizaje más colaborativo y menos intimidante.

El aprendizaje activo promueve una actitud positiva ante el aprendizaje: Por diversas razones, la participación en el aprendizaje activo mejora las actitudes de los estudiantes ante el aprendizaje, incluso en clases con un elevado número de matriculados (Smith, 2000). En primer lugar, la aplicación del material de la asignatura en los ejercicios resulta satisfactoria para los estudiantes. En segundo lugar, al trabajar con actividades y tareas vinculadas a situaciones reales, los alumnos comprenden la importancia y relevancia de la economía, lo que los motiva a esforzarse más en dominar conceptos que pueden aplicar en su vida cotidiana. En tercer lugar, asumen una mayor responsabilidad en su aprendizaje, tanto por la sensación de contribuir a un esfuerzo colectivo como por la expectativa de ser responsables de su propio progreso. En cuarto lugar, los estudiantes se preparan mejor para

CC BY NC ND

las clases de aprendizaje activo, ya que son conscientes de que deberán participar activamente. Finalmente, disfrutan conversar sobre el contenido del material con sus compañeros, empleando un lenguaje más cercano y accesible.

Los estudiantes se benefician de la interacción en clase con sus compañeros: Los estudiantes se ven beneficiados al interactuar con sus compañeros en el entorno controlado que proporciona el aprendizaje activo (Johnson et al., 1999). Desarrollan la capacidad de escuchar de manera crítica, formular preguntas cuando algo no les resulta claro y expresar sus dudas ante ideas con las que no coinciden. Estas habilidades son esenciales, ya que las respuestas de los estudiantes suelen ser incompletas o incorrectas. Quienes emplean este método tienen múltiples oportunidades para modelar competencias relacionadas con la escucha crítica, la formulación de preguntas y el análisis de ideas. Además, en el aprendizaje activo, los estudiantes descubren que cada persona aborda las tareas de manera distinta y desde diversas perspectivas. A través de la interacción con sus compañeros, adquieren herramientas para desenvolverse en el mundo laboral y social, donde con frecuencia se enfrentarán a una variedad de opiniones y argumentos con los que no siempre estarán de acuerdo.

El aprendizaje activo genera beneficios para los docentes: Dar una clase de aprendizaje activo plantea toda una serie de desafíos que no se plantean en una clase magisterial. El profesor debe estar listo para reaccionar de manera fructífera ante cualquier tipo de respuesta, pregunta o aportación de los estudiantes. (Estela Sánchez Velásquez et al., 2024).

Ubica al estudiante como el centro del proceso: Todo aprendizaje genuino es activo y no pasivo. Este involucra el uso de la mente y no solo la memoria. Es un proceso de descubrimiento en el cual el estudiante es el principal agente. (Aguilar, 2024).El cual lo hace más idóneo en el área de la ingeniería y las ciencias exactas.

El aprendizaje activo presenta impactos que deben considerarse cuidadosamente al implementar en el aula.

El método del aprendizaje activo presenta tres impactos que tienen que ser considerados cuidadosamente al implementarlo en el aula. Podemos describir con detalle cada uno de ellos.

- El impacto en tiempo: en una clase basada en el aprendizaje activo, se abarca menos contenido en comparación con una clase en la que el docente expone sin interrupciones. Implementar este enfoque implica sacrificar parte del temario; sin embargo, este impacto puede minimizarse si se aplica el aprendizaje activo únicamente en la enseñanza de los conceptos más relevantes, dejando claro a los estudiantes que ciertos temas deberán ser aprendidos de manera autónoma. Lo fundamental no es la cantidad de la información que el profesor transmite, sino lo que los estudiantes realmente logran aprender.

- El impacto emocional: al implementar una estrategia de aprendizaje activo, suele haber un entusiasmo inicial, ya que los docentes se sienten satisfechos al ver a los estudiantes más participativos. No obstante, este entusiasmo puede dar paso a la frustración al notal que el nivel de comprensión de los alumnos es más bajo de lo esperado. Efectivamente, la retroalimentación generada a través de la actividad en el aula (algo que no ocurre en una clase expositiva) revela una realidad que antes pasaba desapercibida: no todos los estudiantes han comprendido el contenido. Esta situación puede generar tal desánimo en el docente que lo lleve a retroceder y volver al método expositivo. Además, la implementación de estrategias para fomentar el aprendizaje activo demanda una planificación minuciosa y bien estructurada.

CC BY NC ND

- Resistencia de los estudiantes a la participación: en términos generales, los estudiantes tienden a sentirse más cómodos en un rol pasivo, prefiriendo recibir información en lugar de involucrarse activamente en su propio proceso de aprendizaje. (Robbins, 1996) agrupa en dos categorías las fuentes principales de resistencia: individual (características humanas básicas como precepciones, personalidad y necesidades) y organizacional (inercia estructural que favorecen la continuidad del modelo actual).

Por último, se describen las facilidades y obstáculos en el aprendizaje activo:

- Aprenden mejor los que tienen preferencia por el estilo activo cuando pueden**:** Intentar nuevas experiencias y oportunidades, competir en equipo, generar ideas sin limitaciones formales, resolver problemas, cambiar y variar las cosas, abordar quehaceres múltiples, dramatizar, representar roles, poder realizar variedad de actividad diversas, vivir situaciones de interés, acaparar la atención, dirigir debates, reuniones, hacer presentaciones, intervenir activamente, arriesgarse, sentirse ante un reto con recursos inadecuados y situaciones adversas, realizar ejercicios actuales, resolver problemas como parte de un equipo, aprender algo nuevo, que no sabía o que no podía hacer antes, encontrar problemas o dificultades exigentes, intentar algo diferente, dejarse ir y por ultimo encontrar personas de mentalidad semejante con las que pueda dialogar.
- El aprendizaje será más difícil para los activos cuando tengan que:

Exponer temas muy teóricos: explicar causas, antecedentes, etc. Asimilar, analizar e interpretar muchos datos que no están claros. Prestar atención a los detalles o hacer trabajos que exijan detallismo. Trabajar solos, leer, escribir o pensar solo. Evaluar de antemano lo que va a aprender. Ponderar lo ya realizado o aprendido. Repetir la misma actividad. Estar pasivo: oír conferencias, exposiciones de cómo deben hacerse las cosas, etc. Sufrir la implantación y consolidación de experiencias a largo plazo. Tener que seguir instrucciones precisas con poco margen de maniobra. No poder participar. Tener que mantenerse a distancia. Asimilar, analizar e interpretar gran cantidad de datos sin coherencia. Y por último hacer un trabajo concienzudo.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se recomienda a los docentes, involucrarse más y fomentar la forma más activa de llevar a cabo la aplicación del aprendizaje en sus unidades en el área de las ciencias básicas. Esto se puede lograr actualizando y capacitando a los docentes con esta metodología y que las puedan poner en práctica en sus programas académicos, y así mismo, en las actividades fundamentales que los alumnos desarrollan, e incluir más estrategias de aprendizaje para los estudiantes.

La evidencia revisada sugiere que la implementación sistemática de estrategias de aprendizaje activo, particularmente aquellas basadas en problemas reales y trabajo colaborativo, puede constituir una respuesta efectiva a los desafíos de reprobación y deserción en las ciencias básicas de ingeniería. Se recomienda que las futuras intervenciones consideren los factores contextuales identificados y desarrollen programas de formación docente que faciliten la transición hacia modelos pedagógicos más centrados en el estudiante.

REFERENCIAS

Aguilar, R. (2024). Aprendizaje Activo: Estrategias innovadoras para el aula (R. Aguilar González, Ed.; primera). Astra Ediciones. https://doi.org/10.61728/AE20242008

Arnaud Bobadilla, A. J., Sánchez Villarreal, F., Galindo Miranda, N. E., Franco Bodek, D., & Ruiz Gutiérrez, R. (2022). Diagnóstico de las causas de rezago y deserción en alumnos de la Facultad de Ciencias de la UNAM. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo, 12(24). https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1181

Bell Rodríguez, R. F., Lema Cachinell, A. N., & Martin Álvarez, Y. M. (2024). Integración de la docencia y el aprendizaje activo en la educación superior. Metodologías, componentes y actores. Prohominum, 6(1), 97–105. https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0230

Cerda, G., Pérez, C., Casas, J. A., & Ortega-Ruiz, R. (2017). Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas: La necesidad de un análisis multidisciplinar. Psychology, Society, & Education, 9(1). https://doi.org/10.25115/psye.v9i1.428

Estela, Sánchez Velásquez, Msc. B., Guevara Lozano, Msc. C. del P., Teresa Carbo Martillo, Lcda. M., Uca Reategui, Msc. L. J., & Emperatriz Villota Dávila, Mgs. A. (2024). El Impacto Del Aprendizaje Activo En El Desarrollo De Habilidades De Pensamiento Crítico En Los Educandos. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(5), 8033–8051. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14215

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. Johnson. (1999). El aprendizaje cooperativo en el aula. Paidós.

Lozoya, N. R., Holguín Magallanes, K. I., Chávez Márquez, I. L., & Cabrera Zapata, A. J. (2024). Aprendizaje Activo en la Educación Superior Como Enfoque Pedagógico. European Scientific Journal, ESJ, 20(1), 17. https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n1p17

Muñoz Rivas, J., Mendoza Moreira, S. (s.f.). *Artículo Original El pensamiento lógico-matemático y la didáctica creativa: caso del circuito educativo 13D01_C07 del Ecuador Logical-mathematical thinking and creative didactics: the case of the 13D01_C07 educational circuit in Ecuador*. https://doi.org/10.36097/rsan.v0i52.2206

Razo-Abundis, I. Y., Debut-Toledo, L. S., & Portal-Gallardo, J. A. (2024). Las metodologías activas de aprendizaje en las carreras de ingeniería. Revista UGC, *2*(2), 46-51.

Robbins, S. P. (1996). Comportamiento organizacional: teoría y práctica (séptima). Prentice-Hall Hispanoamericana.

Rochin Berumen, F. L. (2021). Deserción escolar en la educación superior en México: revisión de literatura. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo, 11(22). https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.821

Smith, K. A. (2000). Strategies for Energizing Large Classes: From small groups to learning communities: energizing large classes. 30th Annual Frontiers in Education Conference. Building on A Century of Progress in Engineering Education. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.00CH37135), 25–44. https://doi.org/10.1109/FIE.2000.897674

Stuart, J., & Rutherford, R. J. D. (1978). MEDICAL STUDENT CONCENTRATION DURING LECTURES. The Lancet, 312(8088), 514–516. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(78)92233-X

Sierra, J. E. (2013). Aprendizaje activo: metodologías para el aula. Editorial UN.

Percepción y adaptación de los docentes de ingeniería ante la incorporación de TIA Portal v17 en la enseñanza universitaria

Perception and adaptation of engineering educators to the implementation of TIA Portal v17 in higher education

Francisco Javier Esparza Mendoza [1]
Jesús Alejandro Quiroz Aguilar [2]
Anel Jacaranda Torres Díaz [3]

RESUMEN

El presente estudio analiza la percepción y adaptación de los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León ante la incorporación del software TIA Portal V17 en la enseñanza de la unidad de aprendizaje Automatización, en sustitución del programa STEP 7. La investigación, de enfoque cuantitativo y tipo descriptivo, se basa en la aplicación de encuestas al profesorado para evaluar sus competencias digitales, el grado de familiarización con la herramienta, la frecuencia de uso y las necesidades de formación complementaria. Los resultados muestran altos niveles de competencia digital y uso técnico del software, con promedios de respuesta entre 4.0 y 4.25 en una escala de cinco puntos, lo que evidencia una adecuada preparación técnica. Sin embargo, se identifican áreas de mejora vinculadas con la integración pedagógica del software y la necesidad de capacitación continua. En conjunto, los hallazgos reflejan un profesorado abierto a la innovación tecnológica, pero que requiere apoyo institucional para fortalecer la aplicación didáctica del TIA Portal V17 y consolidar una enseñanza en ingeniería alineada con los principios de la Industria 4.0.

PALABRAS CLAVES: TIA Portal, docencia, competencias digitales, automatización, Industria 4.0, educación en ingeniería.

Fecha de recepción: 11 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 30 de octubre, 2025.

[1] Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, javier.esparzamndz@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-4858-5944
[2] Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, jquiroza@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-1044-0283
[3] Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, anel.torresd@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0004-9673-6756

ABSTRACT

This study analyzes the perception and adaptation of professors from the FIME-UANL regarding the incorporation of TIA Portal V17 software in the Automation course, replacing STEP 7. The research followed a quantitative, descriptive design, applying surveys to evaluate digital competence, familiarity with the tool, frequency of use, and training needs. Results indicate high levels of digital proficiency and consistent technical use of the software, with average responses ranging from 4.0 to 4.25 on a five-point scale, reflecting significant technical adequacy. Nonetheless, the study identifies improvement areas related to the pedagogical integration of the software and the need for ongoing professional development. Overall, findings reveal a teaching community receptive to technological innovation but still requiring institutional support to enhance didactic implementation of TIA Portal V17 and promote engineering education aligned with Industry 4.0 principles.

KEYWORDS: TIA Portal, teaching, digital competence, automation, Industry 4.0, engineering education.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio analiza cómo los docentes universitarios perciben y enfrentan la incorporación de herramientas digitales en la enseñanza de la automatización industrial, con especial atención al uso del software TIA Portal V17 en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León, concentrándose en los docentes que imparten la unidad de aprendizaje Automatización. La investigación busca identificar los factores que facilitan o dificultan la integración de estas plataformas en el aula, así como las estrategias de adaptación que los profesores desarrollan para aplicarlas de forma efectiva dentro de su práctica pedagógica.

En los últimos años, la digitalización de la enseñanza ha cobrado un papel protagónico en la formación de ingenieros, impulsada por los cambios estructurales que trae consigo la Industria 4.0, caracterizada por la automatización, la conectividad y la gestión inteligente de la información. En la actualidad, los entornos académicos se ven desafiados a actualizar sus métodos y recursos, incorporando softwares de simulación y control que emulan los procesos reales de la industria. Estas herramientas no sólo facilitan la enseñanza práctica, sino que también transforman las dinámicas pedagógicas tradicionales, al promover un aprendizaje más autónomo, interactivo y vinculado con los escenarios profesionales.

De esta manera, el estudio aborda el problema de la adaptación docente ante la transición tecnológica, entendida como el conjunto de ajustes, aprendizajes y actitudes que los profesores adoptan frente al cambio digital. Esta perspectiva permite reflexionar sobre los procesos de innovación educativa que acompañan la digitalización de la enseñanza en ingeniería y sobre el papel fundamental del profesorado en la apropiación de herramientas tecnológicas.

El objetivo general consiste en analizar comparativamente las percepciones y estrategias de adaptación de los docentes ante la implementación de herramientas digitales como TIA Portal, Factory I/O y STEP 7 en la enseñanza de la automatización industrial, explorando la relación entre la formación docente, el uso de software especializado y el impacto percibido en el aprendizaje de los estudiantes. La investigación se fundamenta en dos variables principales: la implementación de herramientas digitales de automatización, que comprende la frecuencia de uso, la capacitación y la integración curricular; y la adaptación docente, definida como la disposición y capacidad del profesorado para incorporar dichas tecnologías en su práctica educativa.

Al situar el análisis en la experiencia docente, este estudio no sólo busca describir cómo se ha integrado la tecnología en la enseñanza, sino también reconocer los retos, percepciones y

CC BY NC ND

aprendizajes que surgen en el proceso. Reflexionar sobre estos aspectos permite comprender la dimensión humana del cambio tecnológico y su influencia en la calidad educativa, aportando una visión más integral del papel del docente en la era digital. Así, la investigación pretende contribuir al fortalecimiento de la formación académica, ofreciendo una mirada crítica y constructiva sobre la manera en que las herramientas digitales están transformando la enseñanza de la ingeniería y los procesos de aprendizaje en el aula universitaria.

JUSTIFICACIÓN

Los constantes avances tecnológicos están rediseñando y definiendo la enseñanza en ingeniería y transformando la manera en que el conocimiento técnico se construye y se imparte dentro de las aulas. La llegada de la Industria 4.0 ha modificado los procesos productivos y, con ello, las competencias que deben desarrollar los futuros ingenieros, quienes se enfrentan actualmente a entornos automatizados, conectados y altamente digitalizados (Rojas & Humberto, 2017; Monroy-González, 2022). En este escenario, el docente se convierte en figura clave, no solo como un transmisor de saberes técnicos, sino como el mediador capaz de traducir la complejidad tecnológica en experiencias de aprendizaje significativas y contextualizadas.

La demanda que genera la transformación digital en la educación técnica es la combinación de la innovación con la capacidad de adaptación. Como señalan Rivera et al. (2021), la formación en ingeniería debería de alinearse con las demandas tecnológicas del entrono industrial y en conjunto con los objetivos de sostenibilidad, integrando competencias transversales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la colaboración interdisciplinaria. Dentro de este contexto, la docencia universitaria enfrenta el desafío de reinventar y rediseñar sus metodologías, pasando de un enfoque transmisivo a uno basado en la simulación, la programación y el aprendizaje activo.

La implementación del TIA Portal V17 en la FIME, constituye precisamente ese punto en el que converge la innovación tecnológica y la práctica educativa. Este software no solo moderniza la infraestructura académica, sino que también transforma la dinámica entre la teoría y la práctica, permitiendo que los estudiantes experimenten con entornos virtuales, sistemas industriales reales (Bee, 2022; Balla et al., 2023). A través de herramientas complementarias como Factory I/O o la integración de gemelos digitales, los futuros ingenieros pueden comprender de forma más profunda los procesos de automatización y las interacciones propias de los entornos productivos reales actuales.

Sin embargo, este avance también plantea retos significativos para el profesorado: la necesidad de tener una capacitación constante, la resistencia al cambio y las limitaciones institucionales que pudieran dificultar la adopción plena de nuevas plataformas digitales (Rivera, 2021). La innovación educativa no depende exclusivamente de la incorporación de la tecnología, sino de la capacidad de desarrollar competencias docentes que posibiliten su aplicación pedagógica y la conviertan en un verdadero catalizador de aprendizaje, como bien menciona Rivera (2021).

Al explorar cómo los docentes enfrentan estos procesos de transición tecnológica dentro de la educación, se abre la posibilidad de comprender las condiciones reales en las que se materializa la innovación educativa y se ofrece la oportunidad de construir estrategias de acompañamiento efectivas. Analizar la manera en la que, el profesorado, integra herramientas como TIA Portal, Factory I/O o STEP 7 en su práctica y que no solo aporta una visión del presente de la enseñanza en ingeniería, sino que también contribuye en delinear un modelo formativo más dinámico, participativo y coherente con las transformaciones de la Industria 4.0 y con las exigencias pedagógicas de un entorno en constante cambio (Sánchez-Caballé & Esteve-Mon, 2023).

CC BY NC ND

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo con el propósito de analizar la manera en que los docentes de FIME se adaptan al uso del software TIA Portal V17 en la enseñanza de la automatización industrial. Este enfoque permitió identificar tendencias generales, niveles de competencia digital y percepciones sobre la utilidad del programa dentro del proceso formativo.

La hipótesis que fungió como guía en el estudio, plantea que una percepción positiva hacia el uso del TIA Portal V17 favorece la disposición y rapidez con que el profesorado incorpora esta herramienta en su práctica docente. En este marco, se consideraron dos variables principales: la implementación del software —relacionada con la frecuencia y el modo de uso, así como con la capacitación y su integración curricular—, y la adaptación del docente, que se entiende como la capacidad del profesorado para ajustar sus estrategias de enseñanza ante la incorporación de nuevas tecnologías.

La muestra estuvo conformada por docentes que imparten la unidad de aprendizaje Automatización dentro de la FIME, seleccionados por su experiencia en el uso de softwares de control y simulación industrial. Esta población resultó especialmente representativa por su contacto directo con el entorno de automatización y su participación en los procesos de actualización tecnológica de la facultad.

Para la recolección de datos se diseñó una encuesta estructurada basada en la adaptación del instrumento Validation of Iranian EFL Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) Scale, ajustada al contexto de la enseñanza en ingeniería. El cuestionario incluyó ítems con escala tipo Likert del 1 al 5, orientados a medir el nivel de competencia digital, la familiarización con el TIA Portal, la frecuencia de uso y las necesidades de formación complementaria.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la fase cuantitativa permiten observar las tendencias generales en torno a la adaptación docente al uso del TIA Portal V17 en la enseñanza de la automatización industrial. A través de las encuestas aplicadas al profesorado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, se evaluaron distintos aspectos relacionados con la competencia digital, la frecuencia de uso del software y la percepción sobre su utilidad en el proceso educativo.

La Figura 1 muestra los datos correspondientes al nivel de competencias digitales del profesorado participante. Este primer indicador refleja el grado de dominio que los docentes poseen sobre el uso de tecnologías en el aula, así como su capacidad para resolver problemas técnicos y adaptarse al aprendizaje de nuevas herramientas.

CC BY NC ND

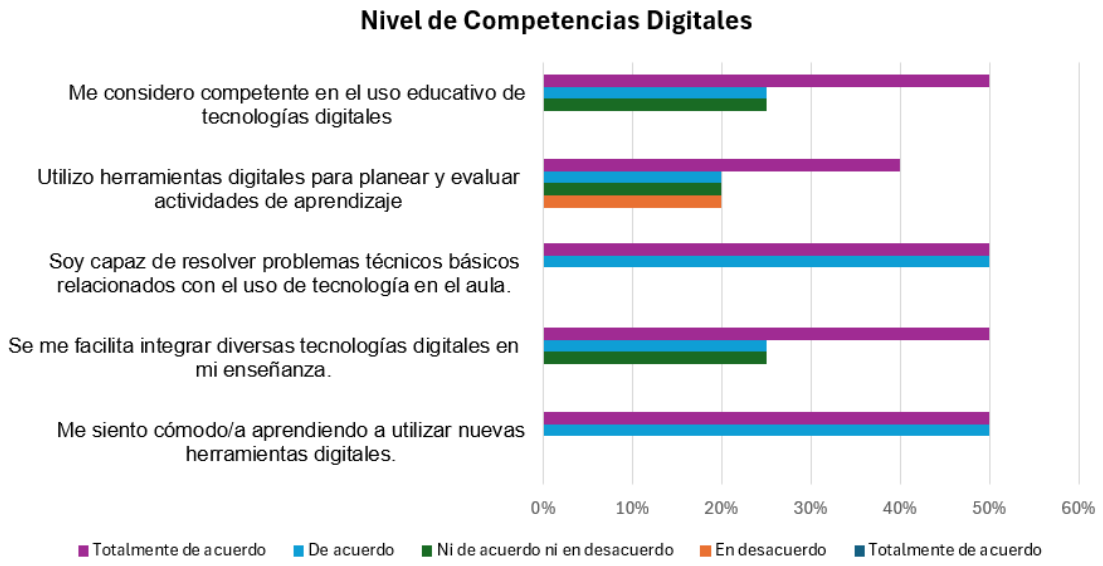


Figura 1. Nivel de competencias digitales

Los resultados obtenidos en el apartado de competencias digitales muestran una tendencia ampliamente favorable hacia el dominio y uso de tecnologías por parte del profesorado. La mayoría de los docentes se perciben como competentes en el uso educativo de herramientas digitales y manifiestan sentirse cómodos al aprender nuevas aplicaciones o programas. Este comportamiento refleja un nivel de familiarización consolidado con la tecnología, resultado de una práctica docente que ha incorporado progresivamente recursos digitales en la planeación, evaluación y comunicación académica.

Asimismo, destaca la autopercepción positiva respecto a la resolución de problemas técnicos básicos, lo cual evidencia una apropiación funcional de la tecnología en el aula. Este hallazgo sugiere que los docentes no sólo utilizan herramientas digitales como apoyo, sino que también desarrollan habilidades prácticas que les permiten adaptarse con mayor facilidad a entornos de enseñanza mediados por software especializado como TIA Portal V17.

Sin embargo, el nivel de acuerdo disminuye al considerar la integración de diversas tecnologías en la enseñanza, lo que indica que, aunque existe confianza en el manejo individual de herramientas, aún persiste cierta dificultad para articularlas dentro de estrategias didácticas coherentes. Este aspecto coincide con lo señalado por Sánchez-Caballé y Esteve-Mon (2023), quienes subrayan que la competencia digital docente no depende únicamente del dominio técnico, sino de la capacidad para transformar ese conocimiento en experiencias de aprendizaje significativas.

En conjunto, los resultados de esta dimensión evidencian que el profesorado de la FIME-UANL posee una base sólida de competencias digitales que facilita su proceso de adaptación al uso del TIA Portal V17. No obstante, también ponen de relieve la necesidad de fortalecer la formación pedagógica en torno al diseño e integración de actividades que aprovechen de manera más estratégica las herramientas digitales disponibles.

La presenta los resultados sobre el grado de familiarización del profesorado con el TIA Portal V17, considerando aspectos como la confianza en su uso, la capacidad para aplicarlo en el aula y la formación previa recibida.

En general, los docentes muestran un alto nivel de conocimiento sobre las funciones básicas del programa y una percepción positiva respecto a su aplicación pedagógica. La mayoría se siente

CC BY NC ND

segura al utilizar el software con sus estudiantes y reconoce su utilidad para ilustrar conceptos técnicos de automatización, lo cual refleja un proceso de apropiación tecnológica progresivo dentro de la facultad.

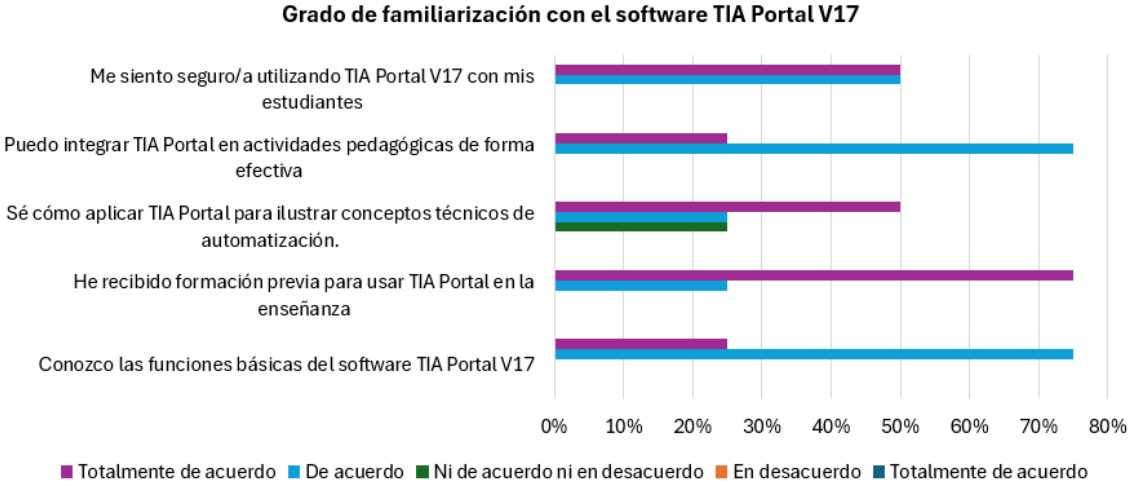


Figura 2. Grado de familiarización con el software TIA Portal V17.

Sin embargo, se observa una disminución en los niveles de acuerdo en los ítems relacionados con la formación previa y la integración pedagógica efectiva del software. Este resultado sugiere que, si bien los docentes dominan los aspectos técnicos del TIA Portal V17, aún enfrentan dificultades para traducir ese conocimiento en estrategias didácticas estructuradas o actividades de aprendizaje significativas.

La diferencia entre la competencia técnica y la competencia pedagógica coincide con lo señalado por Balla et al. (2023) y Sánchez-Caballé & Esteve-Mon (2023), quienes destacan que la adaptación docente a nuevas tecnologías no depende únicamente del manejo del software, sino de la capacidad para integrarlo en el diseño curricular y en la enseñanza práctica. En el caso de la FIME, esta brecha evidencia la necesidad de fortalecer los programas de capacitación continua, orientados no sólo a la operación técnica del TIA Portal, sino a su aprovechamiento como herramienta didáctica.

En conjunto, los resultados de esta gráfica confirman que el profesorado posee una base sólida de familiarización con el software, pero aún requiere acompañamiento institucional para consolidar su aplicación pedagógica. Este hallazgo resulta clave para diseñar estrategias de formación que equilibren el dominio técnico con la innovación educativa en el aula de ingeniería.

La Figura 3 muestra la frecuencia con la que el profesorado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) utiliza el TIA Portal V17 en sus clases, considerando tanto las sesiones teóricas como las prácticas.

CC BY NC ND

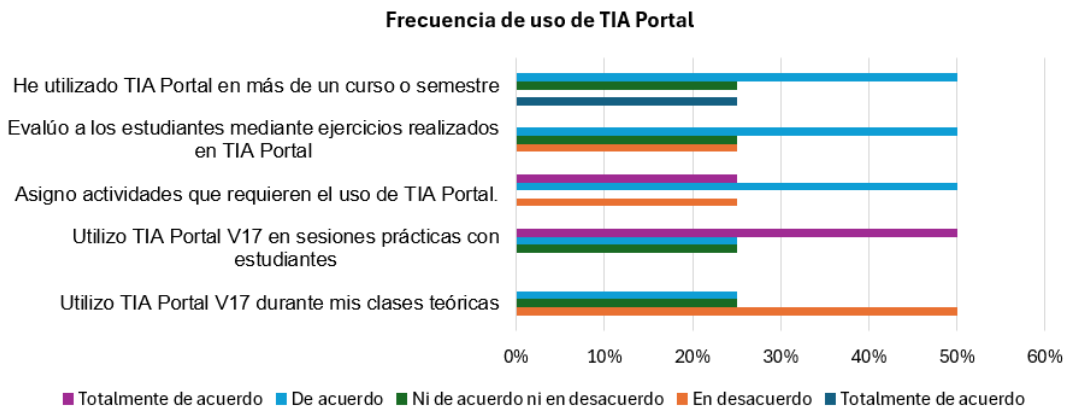


Figura 3. Frecuencia de uso de TIA Portal

Los resultados revelan que el software se emplea principalmente en actividades prácticas, donde los docentes guían a los estudiantes en la programación y simulación de procesos automatizados. Este hallazgo coincide con la naturaleza del TIA Portal como herramienta aplicada, que facilita la comprensión de sistemas industriales a través de la experimentación directa. Asimismo, una proporción considerable de docentes reporta utilizarlo en más de un curso o semestre, lo que demuestra la continuidad y consolidación del programa dentro de la estructura académica de la facultad.

No obstante, los niveles de uso disminuyen cuando se trata de incorporar el software en clases teóricas o en actividades de evaluación, lo que sugiere que su aplicación aún se percibe principalmente como un recurso de apoyo técnico más que como un componente integral de la enseñanza. Esta tendencia indica una posible fragmentación entre la teoría y la práctica, fenómeno común en la enseñanza de la ingeniería, donde la tecnología suele vincularse con los laboratorios, pero no siempre con el análisis conceptual.

De acuerdo con lo señalado por Bee (2022) y Balla et al. (2023), el aprovechamiento pleno de las herramientas digitales en la educación técnica requiere de un enfoque pedagógico que integre la simulación y la práctica en todos los niveles del proceso de aprendizaje. En este sentido, los resultados obtenidos subrayan la necesidad de impulsar estrategias que promuevan un uso más transversal del TIA Portal V17, no solo como medio de aplicación práctica, sino también como apoyo en la enseñanza teórica y en la evaluación de competencias.

De manera general, los datos muestran un uso frecuente y sostenido del software por parte del profesorado, aunque dejan ver la oportunidad de fortalecer su integración pedagógica, vinculando el dominio técnico con procesos de reflexión conceptual e innovación educativa.

La

muestra los resultados relacionados con las necesidades de formación y apoyo docente frente al uso del software TIA Portal V17.

CC BY NC ND

Los resultados reflejan una coincidencia casi unánime entre los docentes respecto a la importancia de fortalecer la capacitación institucional. Una amplia mayoría manifiesta interés en mejorar sus competencias tecnológicas y reconoce la necesidad de recibir formación específica sobre el uso pedagógico del TIA Portal, más allá de la simple familiarización técnica. Esto confirma que, aunque los profesores cuentan con un dominio funcional del software, buscan consolidar su aplicación didáctica y metodológica dentro del aula.

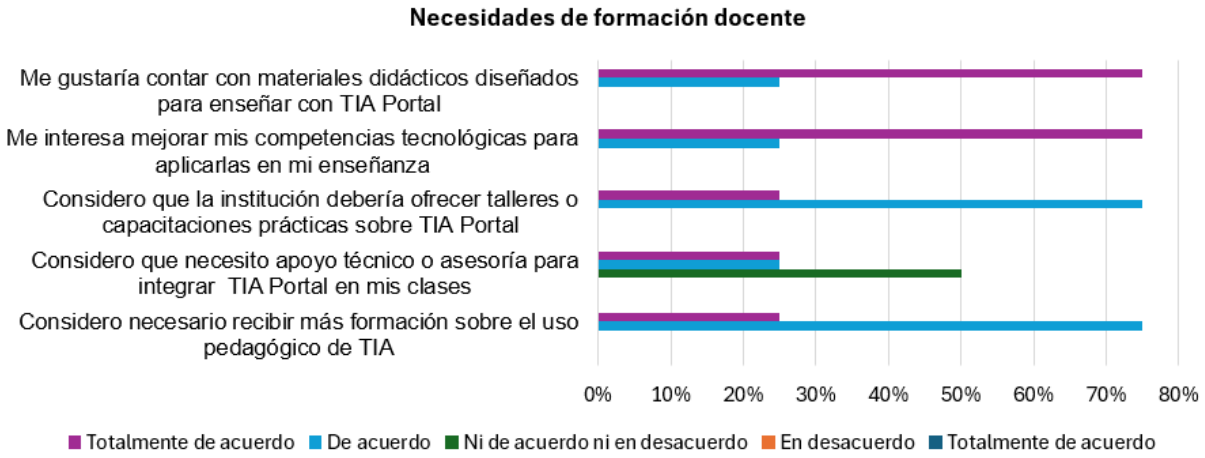


Figura 4. Necesidades de formación docente

Asimismo, resalta el alto nivel de acuerdo con la idea de que la institución debería ofrecer talleres y materiales didácticos diseñados para la enseñanza con TIA Portal. Este resultado sugiere que el proceso de adaptación tecnológica no puede depender exclusivamente del esfuerzo individual, sino que requiere de un acompañamiento estructurado por parte de la universidad, que promueva espacios de formación práctica, asesoría técnica y desarrollo colaborativo.

De igual manera, una parte significativa del profesorado expresó necesitar apoyo técnico o asesoría especializada para integrar el software de manera efectiva en sus clases. Este punto resulta clave, ya que la falta de acompañamiento puede limitar el potencial pedagógico del TIA Portal, reduciendo su uso a ejercicios puntuales o demostraciones técnicas.

Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Sánchez-Caballé y Esteve-Mon (2023), quienes destacan que la sostenibilidad de los procesos de innovación educativa depende en gran medida de la capacitación continua del docente y del respaldo institucional. En este sentido, las respuestas obtenidas evidencian una actitud proactiva del profesorado de la FIME-UANL, que reconoce la importancia de su formación permanente como vía para mejorar la enseñanza y fomentar una integración más efectiva de las herramientas digitales en el aprendizaje de la automatización industrial.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que el profesorado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME-UANL) se encuentra en un proceso avanzado de adaptación tecnológica, caracterizado por un dominio sólido de las competencias digitales y una actitud positiva hacia la incorporación de herramientas digitales en la enseñanza. La mayoría de los docentes se siente segura utilizando tecnologías y reconoce el valor del TIA Portal V17 como un recurso formativo que favorece la comprensión práctica de los procesos de automatización industrial.

No obstante, el análisis también revela brechas significativas entre el manejo técnico del software y su integración pedagógica. Aunque los docentes dominan las funciones básicas del TIA Portal y lo aplican de manera habitual en sesiones prácticas, su incorporación en actividades teóricas y

evaluativas aún es limitada. Este patrón refleja la necesidad de fortalecer las competencias didácticas asociadas al uso del software, de modo que la tecnología se convierta en un componente transversal y no en un recurso aislado dentro del currículo.

De forma paralela, las respuestas sobre las necesidades de formación subrayan una demanda clara de apoyo institucional. Los docentes expresan interés en recibir capacitación continua, materiales didácticos y asesoría técnica que les permitan aprovechar plenamente el potencial educativo del TIA Portal. Esta disposición evidencia un profesorado comprometido con la mejora de su práctica, pero que requiere de un entorno institucional que fomente el aprendizaje colaborativo, la innovación y la actualización constante.

En suma, los hallazgos confirman que la implementación del TIA Portal V17 ha impulsado una transformación positiva en la enseñanza de la automatización industrial, pero también plantea el reto de consolidar un modelo de formación docente integral, en el que el conocimiento tecnológico y la competencia pedagógica se desarrollen de manera conjunta. Este equilibrio resulta esencial para avanzar hacia una educación en ingeniería alineada con los principios de la Industria 4.0 y con las exigencias formativas del entorno digital contemporáneo.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

Los datos muestran altos niveles de competencia digital, uso consistente y familiarización con el software técnico, lo que refleja una adecuación significativa por parte del profesorado. Tres factores presentaron promedios de respuesta elevados (entre 4.0 y 4.25 en una escala de 5 puntos), lo que respalda la existencia de una comunidad docente técnicamente capacitada y con una actitud favorable hacia la innovación tecnológica.

Sin embargo, también se identificaron áreas de mejora importantes, especialmente en lo referente a la aplicación didáctica del software y la necesidad de formación complementaria. Aunque los docentes utilizan TIA Portal en el aula, una parte significativa reconoce requerir apoyo técnico o asesoría adicional para convertir su uso en una herramienta pedagógica plenamente efectiva. Este hallazgo refuerza la importancia de fortalecer las estrategias institucionales de acompañamiento y capacitación continua.

En términos generales, los resultados permiten concluir que la incorporación del TIA Portal V17 en la enseñanza de la automatización industrial ha generado un impacto positivo en el desarrollo de las competencias digitales del profesorado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME-UANL). La mayoría de los docentes se considera competente en el uso de tecnologías digitales y manifiesta una disposición activa hacia la actualización profesional, evidenciando una cultura docente abierta al cambio tecnológico.

No obstante, el estudio también revela que la adaptación docente enfrenta desafíos relacionados con la integración pedagógica del software. Aunque el dominio técnico es alto, su aplicación se concentra en actividades prácticas, con menor presencia en clases teóricas o evaluaciones. Este desequilibrio subraya la necesidad de impulsar una formación integral que vincule el uso del software con estrategias didácticas y metodologías centradas en el aprendizaje activo.

En conclusión, la experiencia del profesorado de la FIME-UANL refleja un proceso de transformación educativa sostenida, impulsado por la convergencia entre tecnología, innovación y docencia. Consolidar esta transición requiere un compromiso institucional continuo, orientado a formar ingenieros capaces de enfrentar los desafíos de la Industria 4.0, guiados por docentes que integren la tecnología no solo como herramienta, sino como un medio para generar aprendizajes más críticos, dinámicos y significativos.

CC BY NC ND

REFERENCIAS

Bagheri, M. (2020). Validation of Iranian EFL Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) Scale. Tesl-Ej, 24(2), n2. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1268744.pdf

Balla, M., Haffner, O., Kučera, E., & Cigánek, J. (2023). Educational case studies: Creating a digital twin of the production line in TIA Portal, Unity, and Game4Automation framework. Sensors, 23(10), 4977. https://doi.org/10.3390/s23104977

Bee, L. (2022). PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal: Develop PLC and HMI programs using standard methods and structured approaches with TIA Portal V17. Packt Publishing Ltd.

Monroy-González, L. A. (2022). Industria 4.0 y su impacto en la educación. Uno Sapiens Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 1, 5(9), 6-10. Recuperado a partir de https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/view/8909

Rivera, F. C., Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echeverría, D. (2021). Propuesta de construcción de competencias de innovación en la formación de ingenieros en el contexto de la industria 4.0 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Formación universitaria, 14(2), 75-84. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000200075

Rojas, C., & Humberto, J. (2017). La cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su impacto en la educación superior en ingeniería en Latinoamérica y el Caribe. Universidad Antonio Nariño, Colombia. https://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/work_in_progress/WP386.pdf

Sánchez-Caballé, A., & Esteve-Mon, F. M. (2023). Análisis de las metodologías docentes con tecnologías digitales en educación superior: una revisión sistemática. RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 26(1), 181-199. https://doi.org/10.5944/ried.26.1.33964

Mejora en la Optimización de Inventarios y Producción: Prospectiva y Metodología 'Cobertura de Materiales' Integrando Tecnologías de la Información

Improvement in Inventory and Production Optimization: Prospectiveness and 'Material Coverage' Methodology Integrating Information Technologies

Martha Elia García Rebolloso [1]
Rolando Rodríguez González [2]
Eblyn Cantú Prado [3]
Ana Belén Bolaños Carbajal [4]

RESUMEN

Esta investigación abordó el desafío crítico en el área de Control de Producción de una planta manufacturera: la falta de visibilidad diaria de la cobertura de materiales (manufacturados y comprados), que generaba paros de línea recurrentes y atrasos en los embarques. El objetivo fue implementar la metodología 'Cobertura de los Materiales' para optimizar los inventarios y resolver la problemática operativa. El estudio empleó un enfoque sistemático y estructurado, combinando métodos cualitativos y técnicas cuantitativas para analizar información histórica y paros operativos durante un periodo de tres meses. La metodología se basó en la integración de Tecnologías de la Información (TIC), enlazando bases de datos de Excel (automatizadas con macros/Visual Basic del Informe Diario de Producción) con el software Power BI. Este sistema generó un pronóstico de inventarios a 30 días a nivel de parte simple. Los resultados demostraron que la nueva metodología fue funcional y efectiva, logrando una reducción evidente en los impactos sobre los métricos de producción y previniendo la suspensión brusca de la línea. Se aceptó la hipótesis inicial, concluyendo que el sistema de control automatizado optimiza la gestión de recursos y es potencialmente replicable. No obstante, se señaló que algunos aspectos del control aún requieren intervención manual.

PALABRAS CLAVES: Control de Materiales, Power BI, Control de Producción, Paro de Línea, Optimización de Inventarios, Tecnologías de la Información (TIC), Manufactura

[1] Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma Nuevo León. martha.garciarb@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0001-5863-0396
[2] Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, rrodriguezgz@uanl.edu.mx , https://orcid.org/0009-0001-1832-1991
[3] Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, eblyn.cantuprd@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0000-7376-5387
[4] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Estudiante ana.bolanoscr@uanl.edu.mx

Fecha de recepción: 12 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 30 de octubre, 2025.

ABSTRACT

This research addresses the critical challenge faced by the Production Control area of a manufacturing plant, where the lack of daily visibility regarding coverage of manufactured and purchased materials caused recurrent line stoppages and shipment delays. The objective was to implement the 'Material Coverage' methodology to solve this operational problem and optimize inventories. The investigation used a systematic and structured approach, combining qualitative methods and quantitative techniques to quantify historical material information and analyze operational stoppages over a three-month period. The methodology was based on the use of Information Technologies (IT), linking Excel databases (automatically fed via macros/Visual Basic using the Daily Production Report) to the data analysis software Power BI. This system was designed to generate a 30-day inventory forecast at the simple part level. The results showed that the new methodology was functional and effective, achieving an evident reduction in the impact on production metrics and preventing abrupt line suspension. The initial hypothesis was accepted, concluding that the implementation of this automated control system optimizes resource management and is potentially replicable. However, it was noted that some aspects of control still require manual intervention.

KEYWORDS: Material Control, Power BI, Production Control, Line Stoppage, Inventory Optimization, Information Technologies (IT), Manufacturing.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería de producción y la gestión de operaciones, la administración eficiente de los materiales constituye un factor determinante para la solidez operativa y financiera de las organizaciones. La disponibilidad oportuna de insumos, la minimización de costos y el mantenimiento de altos estándares de calidad son requisitos fundamentales en el mercado global. La investigación se centró en una problemática inherente a la cadena de suministro en una empresa manufacturera (Industrias John Deere, Planta Componentes), donde la falta de una vista diaria y detallada de la cobertura de materiales resultaba en indicadores de desempeño comprometidos, tales como paros de línea no programados y atrasos en los embarques a clientes (delincuencias). Para contrarrestar esta realidad, que afecta directamente la eficiencia (OPSx) y linealidad de la producción, se propuso la integración de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) .El estudio implementó la metodología ‘Cobertura de los Materiales’ con el objetivo principal de optimizar el control de inventarios y, consecuentemente, mejorar el desempeño en la fabricación de componentes. La solución se articuló mediante un sistema de control automatizado que vincula bases de datos de Excel (actualizadas vía macros y Visual Basic) con el software Power BI para generar un pronóstico de inventarios a 30 días.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de establecer un control riguroso y optimizado de los materiales comprados y manufacturados justifica la presente investigación, siendo este control esencial para mantener la

CC BY NC ND

integridad de los procesos de producción industrial. El problema operativo, caracterizado por la falta de visibilidad diaria del material, se manifestaba en pausas operativas de la línea (paros de línea) y el incumplimiento consecuente de las métricas de entrega. La relevancia de esta investigación reside en la aplicación práctica del método científico para la implementación de mejoras y la obtención de resultados concretos.
La justificación se estructura en los siguientes puntos:

1. Optimización y Eficiencia Operacional
Un control de inventarios efectivo es crucial para prevenir la interrupción de la producción causada por faltantes inesperados, además de evitar el exceso de material y minimizar la obsolescencia20. La implementación de la metodología 'Cobertura de los Materiales' facilita que los programadores de producción dispongan de los insumos necesarios en el momento oportuno.

2. Validación del Impacto Tecnológico (TIC)
Se justifica la necesidad de validar el uso de Power BI como un sistema funcional y efectivo para el control de inventarios. La automatización implementada mediante Power BI y la programación en Visual Basic para la actualización de la tabla de requerimientos permiten una mayor visibilidad y fundamentan la toma de decisiones informada23. La reducción en los impactos de los métricos de producción, notablemente en los paros de línea, valida la inversión en estrategias basadas en software para la gestión de recursos.

3. Mejora de la Competitividad y Cumplimiento de Objetivos
La optimización en la gestión de materiales se traduce en una mejora de la capacidad de respuesta de la empresa a los cambios en la demanda y un mejor cumplimiento como proveedor frente a las plantas hermanas. La metodología no solo soluciona un problema local, sino que establece un método potencialmente replicable en otros departamentos para asegurar el cumplimiento general del programa de producción.

Análisis de la Problemática

Para la representación visual y el análisis estructurado de las causas del problema, se utilizó el Diagrama de Ishikawa (Ilustración 1)

Ilustración 1. Diagrama de Ishikawa

CC BY NC ND

Se identificaron cuatro causas principales que contribuían al problema de paros de línea:

- Power BI de Cobertura de Materiales (Inicial): No estaba automatizado, requiriendo el ingreso manual de datos, lo que lo hacía ineficaz.
- Inconvenientes en la Línea: Originados por rechazos de material comprado o material insuficiente en inventario[30].
- Mano de Obra: Relacionado con escasa capacitación u personal insuficiente (falta de personal).
- Programadores de Producción: Falta de un método establecido de mejora y de tiempo para optimizar el control.

También se utilizó ´la metodología 'Cobertura de Materiales' se estructuró y describió utilizando el Diagrama de Tortuga (Ilustración 2).

Ilustración 2. Diagrama de Tortuga

Sus elementos se definen como:

- Entrada: Optimización del control de reporte de cobertura de material manufacturado y comprado.
- ¿Qué?: Requerimientos diarios del producto final y pronóstico de inventarios a 30 días.
- ¿Quién?: Programadores de Producción y el Máster.
- ¿Cómo?: Uso de herramientas como Excel y Power BI.
- Medición: Cuantificación de los paros de línea en planta, así como el control de la producción basándose en los métricos establecidos.

CC BY NC ND

METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque sistemático y estructurado, predominantemente aplicado, con una combinación de métodos cualitativos y técnicas cuantitativas. Se asemeja a un Estudio de Caso con componentes de Investigación-Acción, enfocándose en la implementación de mejoras específicas mediante el método científico para optimizar el control de inventarios.

El enfoque cualitativo se centró en la comprensión e interpretación del campo de estudio, mientras que el enfoque cuantitativo fue fundamental para el registro y análisis de los datos concretos que reflejaban la realidad operativa.

Los pasos metodológicos clave fueron:

1. Cuantificación Histórica: Registro y análisis de la información del material utilizado y los paros de línea ocurridos durante los tres meses previos a la implementación (enero, febrero y marzo).
2. Análisis de Comportamiento: Estudio del comportamiento del material para establecer recomendaciones de mejora en la gestión.
3. Desarrollo de la Herramienta: Implementación de la metodología ‘Cobertura de los Materiales’ para generar un pronóstico de inventarios a 30 días a nivel de parte simple.
4. Seguimiento y Validación: Monitoreo continuo de la nueva metodología para garantizar el cumplimiento del programa de producción y realizar los ajustes necesarios.

Herramienta/Estrategia Tecnológica

La solución se articuló mediante la integración de diversas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), siendo la estrategia central la implementación de la metodología ‘Cobertura de los Materiales’.

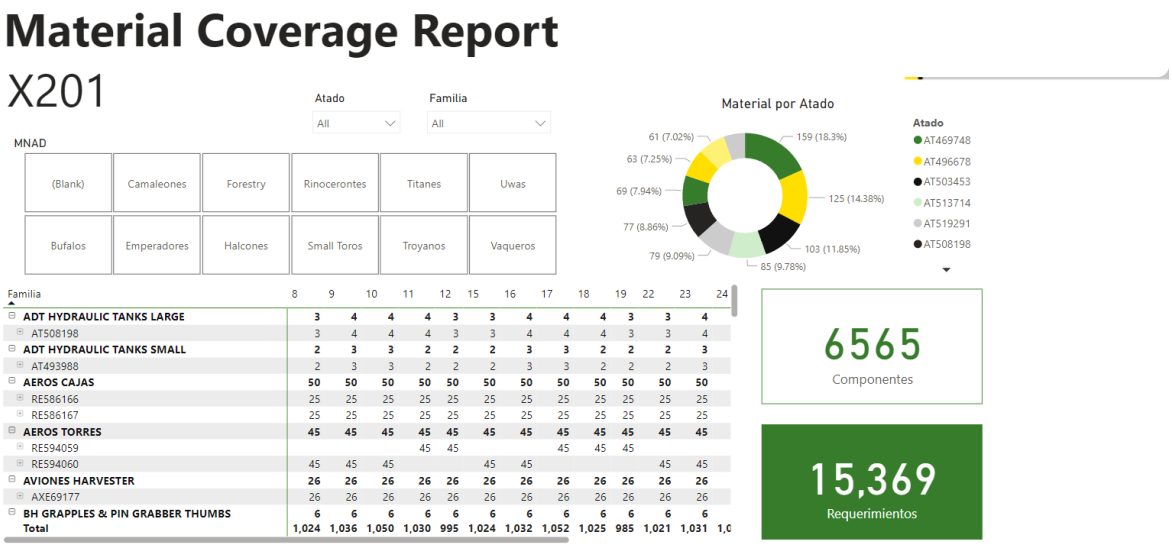


Ilustración 3. Reporte 2 “Cobertura de Materiales” en Power BI

1. Plataforma de Visualización y Análisis: Power BI el software de análisis de datos Power BI fue la plataforma elegida para la visualización comprensible del pronóstico de inventarios a 30 días. El reporte permite la toma de decisiones informada al contener tablas dinámicas que detallan atados, componentes, filtros por mini negocio y un top 10 de requerimientos, brindando una mayor visibilidad.

2. Gestión y Automatización de Datos: Excel y Visual Basic/Macros Excel se utilizó como la base de datos principal que alimenta a Power BI. Para asegurar la actualización diaria y agilizar el proceso de llenado de la tabla de requerimientos, se emplearon macros y código de Visual Basic en el Informe Diario de Producción (IDP). Esta automatización fue clave para evitar el ingreso manual de datos que previamente hacía ineficaz el control.

Tabla de comparación

Tabla 1. Herramienta Tecnológica vs. Impacto en el Rendimiento

	Herramienta Tecnológica / Estrategia	Descripción de la Aplicación	Impacto en el Rendimiento Operativo
0	Power BI	Visualización del pronóstico de inventarios a 30 días a nivel de parte simple, utilizando la metodología 'Cobertura de los Materiales'.	Permite la toma de decisiones informada y aumenta la visibilidad del inventario y requerimientos en tiempo real.
1	Excel (con Macros/Visual Basic)	Automatización del llenado de la tabla de requerimientos mediante la extracción de datos del Informe Diario de Producción (IDP).	Agiliza el proceso de llenado y asegura que Power BI tenga información actualizada, superando la ineficacia del ingreso manual.
2	Sistema Integrado (TIC)	Implementación de una metodología eficiente de control de producción.	Permitió una reducción evidente en los impactos de los métricos de producción, previniendo la suspensión abrupta de la línea.

Resultados Clave el impacto más significativo se cuantificó en la reducción de los paros de línea, que eran la manifestación principal de la falta de visibilidad de materiales.

Efectividad y Métricas

- Efectividad Comprobada: Los resultados mostraron que el método implementado es funcional y efectivo.
- Impacto en Métricas: Se observó una reducción evidente en los impactos de los métricos de producción, logrando prevenir la suspensión brusca de la línea.
- Visibilidad Mejorada: La implementación de la macro y Power BI agilizó el proceso de llenado de requerimientos, brindando una mayor visibilidad de todo el material requerido por el cliente.

Análisis Cuantitativo de Paros de Línea

El análisis cuantitativo antes y después de la implementación de la metodología 'Cobertura de los Materiales' se centró en los paros de línea y las Horas de Impacto (H.I.).

CC BY NC ND

Tabla 2. Cuantificación de Paros de Línea por Mes Fiscal (Impacto del Problema)

	Mes Fiscal Analizado	Cantidad de Paros de Línea (Material/Mala Distribución)	Horas de Impacto (H.I.)	Observación de la Problemática / Resultado
0	Enero (Pre-implementación)	8	250 H.I.	Alta afectación en mininegocios (Vaqueros, Forestry, Emperadores).
1	Febrero (Pre-implementación)	19	1368 H.I.	Periodo de mayor afectación a los métricos de Control de Producción.
2	Marzo (Pre-implementación tardía/inicio de cambio)	3	150 H.I.	Se observa un cambio notorio en los paros de línea y horas de impacto, beneficiando las métricas.
3	Abril (Post-implementación / Prueba)	3 (De 8 totales, solo 3 fueron por cobertura de material)	El total de H.I. fue 163, concentrado en 3 paros por material.	Validación de la Hipótesis: Reducción significativa de los paros de línea directamente causados por la falta de cobertura de material.

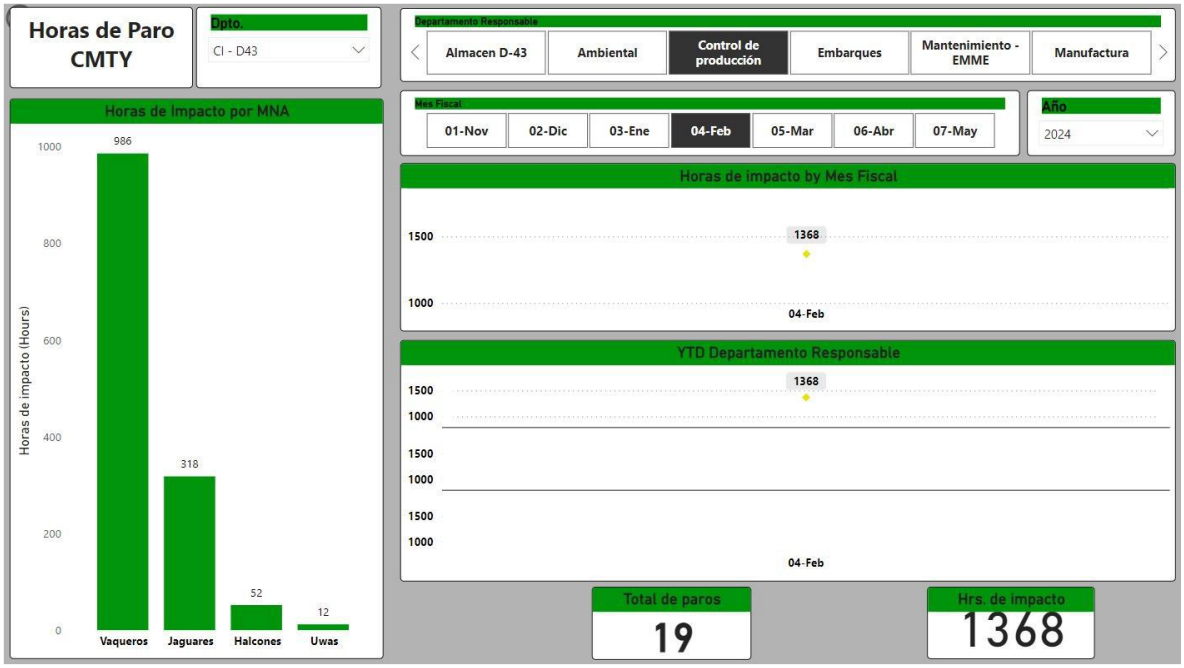


Ilustración 4. Horas de Impacto por mininegocio (febrero)

.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La implementación de la metodología 'Cobertura de los Materiales', asistida por la tecnología de Power BI y la automatización mediante macros y Visual Basic en Excel, generó resultados que validan su efectividad para mitigar el problema central identificado: la falta de visibilidad diaria de materiales que causaba paros de línea.

Análisis Cuantitativo y Comportamiento

Los datos de la fase Pre-implementación (enero a marzo) ilustraron la severidad del problema, siendo febrero el mes con mayor afectación (19 paros y 1368 H.I.). Estos resultados previos confirman que la mala distribución o falta de material estaba afectando severamente métricas cruciales como las Delincuencias y la Eficiencia (OPSx).

La Validación de la Propuesta (Post-implementación) en abril demostró su funcionalidad y eficacia82. De un total de 8 paros de línea registrados en abril, solamente 3 fueron atribuidos a falta de cobertura de material. Estos 3 paros relacionados con material sumaron 163 Horas de Impacto, lo que representa una reducción significativa en la proporción de interrupciones causadas por el control deficiente de inventarios.

Herramientas de Consistencia

La integración de herramientas tecnológicas fue crucial para el éxito. Power BI se consolidó como una herramienta esencial al proporcionar un reporte visual y comprensible del pronóstico de inventarios a 30 días, permitiendo a los programadores tomar decisiones informadas. La automatización lograda mediante macros y Visual Basic en Excel resultó ser la innovación de proceso que hizo viable el sistema, al evitar el ingreso manual de datos en la tabla de requerimientos.

Áreas que Aún Requieren Optimización

Aunque el proyecto cumplió su objetivo principal, los autores reconocen que persisten ciertas limitaciones y áreas de mejora.

Necesidad de Mayor Automatización: El sistema aún tiene aspectos del control que requieren intervención manual, lo que representa un punto débil que podría conducir a fallos en la gestión de componentes.

Falta de Funcionalidades Adicionales: Aún existen funcionalidades que podrían agregarse al Power BI, como la integración de los paros de línea causados por material faltante directamente en la plataforma.

Inspección Física: Se sugiere que las inspecciones de material en inventario sean más recurrentes, indicando que, a pesar de la precisión de los datos digitales, la verificación física sigue siendo un componente no completamente optimizado del control total.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La investigación cumplió con el objetivo general de llevar un control de todo el material utilizado en la línea de producción (comprado y manufacturado) mediante el uso de Power BI.

CC BY NC ND

Aceptación de la Hipótesis: La hipótesis inicial fue aceptada, ya que los resultados mostraron una reducción evidente en los impactos de los métricos de producción y se logró prevenir la suspensión brusca de la línea.

Efectividad del Sistema Integrado (TIC): La implementación de sistemas y metodologías eficientes de control de producción, apoyadas en la automatización de la recolección de datos y la visualización en Power BI, permitió una gestión efectiva de los recursos materiales, optimizando la productividad de la empresa.

Replicabilidad: El método implementado se considera un proyecto con el potencial de ser incorporado y replicado en los métodos ya existentes de control de producción, incluso en otros departamentos o diversas plantas.

Limitaciones y Recomendaciones

Potencialización de Herramientas de Software: Se recomienda indagar sobre cómo potencializar las herramientas que proporcionan los softwares de análisis de datos para lograr una automatización aún mayor y facilitar el proceso de la metodología.

Implementación de Funcionalidades Adicionales: Se sugiere como mejora futura agregar funcionalidades al Power BI, como un reporte de los paros de línea debido a material faltante.

Mejora en la Gestión Manual: Para subsanar la limitación de que ciertos aspectos del control requieren intervención manual, se recomienda hacer las inspecciones de material en inventario más recurrentes para evitar posibles fallos en la gestión de los componentes.

REFERENCIAS

Bolaños Carbajal, A. B. (s.f.). Mejora en el control de los materiales manufacturados y comprados para evitar un paro de línea de producción haciendo uso de Power BI [Tesis de Ingeniero en Mecatrónica]. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Chiu, W. K., & Wetherill, G. B. (1975). Quality control practices. International Journal of Production Research, 13(2), 175-182.

Deming, W. E. (1989). Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis. Díaz de Santos.

Hall, B., & Fletcher, K. (1990). Quality assurance. Batiment International, Building Research and Practice, 18(1), 61-64.

K. Palm, J. L. (2014). The challenge of integrating innovation and quality management practice. Total Quality Management & Business Excellence.

Kosturiak, J., & Gregor, M. (1995). Total production control. Production Planning & Control, 6(5), 490-499.

M.-S. HAN, J.-T. L.-J. (16 de Mayo de 1998). Performance analysis of serial production lines with quality. International Journal of Systems Science, 29(8), 939-951.

MK, O., & SC, T. (2007). Planificación y programación jerárquica de la producción en un entorno de proceso por lotes y. Revista internacional de investigación de producción.

Monden, Y. (1998). Toyota production system (3rd ed.). Engineering & Management Press.

Okamura, K., & Yamashina, H. (1979). Optimization of a mixed-model assembly line using a branch-and-bound technique. International Journal of Production Research, 17(5), 503-512.

Palm, K., Lilja, J., & Wiklund, H. (2014). The challenge of integrating innovation and quality management practice. Total Quality Management & Business Excellence.

Sampieri, R. H. (2016). Metodología de la Investigación. McGraw Hill.

Simchi-Levi, D. (2008). Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case (3rd ed.). McGraw-Hill Irwin.

Tamura, T., Okumura, T., Dhakar, T. S., & Ohno, K. (2011). Optimal production sequencing problem to minimise line stoppage time in a mixed-model assembly line. International Journal of Production Research, 49(14), 4299-4315.

Tarig, E. (1979). The effect of inequality of interstage buffer capacities and operation time variability on the efficiency of production line systems. International Journal of Production Research, 17(1), 77-89.

Tsai, K. H. (1995). An optimal sequence for a mixed-model assembly line. International Journal of Production Research, 33(7), 1885-1896.

Xiaobo, Z., & Ohno, K. (1994). A heuristic approach to solve the mixed-model assembly line sequencing problem. Computers & Industrial Engineering, 26(4), 743-752.

Xiaobo, Z., & Ohno, K. (1997). Optimal production sequence for a mixed-model assembly line. European Journal of Operational Research, 96(3), 441-450.

Xiaobo, Z., & Ohno, K. (2000). A mixed-integer programming model for the mixed-model assembly line sequencing problem. International Journal of Production Research, 38(10), 2245-2258.

Yang, C.-C. (2006). Establishment of a Quality-Management System for Service Industries. Total Quality Management & Business, 17(9), 1129-1154.